

# NUMERICAL MODELING AND SIMULATION OF CUTTING VEGETABLE PRODUCTS

## MODELAREA NUMERICĂ ȘI SIMULAREA TĂIERII PRODUSELOR VEGETALE

Assist. Ph.D. Eng. Ipate G.<sup>1)</sup>, Ph.D. Stud. Eng. Ciulică L.G.<sup>2)</sup>, Prof. Ph.D. Eng. Rus F.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Politehnica University of Bucharest / Romania; <sup>2)</sup>Transylvania University Brasov / Romania  
E-mail: puiipate@yahoo.com

**Abstract:** This paper presents a method for finite element analysis of the process of cutting vegetable products, using the software ANSYS 14. Results obtained from theoretical analysis of resistance force at cutting vegetables are compared with results of experimental research made with special equipment in laboratory conditions. Theoretical research by simulation presented in this paper allows knife functionality assessment and offers the possibility of a functional optimization of the knife and also provides opportunities for constructive-functional optimization of cutting devices, by obtaining a correlation between the cutting force, knife cutting angle and mechanical properties of vegetable products.

**Keywords:** vegetables, 3D modeling, carrot, numerical simulation, cutting

### INTRODUCTION

The relationship between the mechanical properties and cellular structure of vegetal plants is of great economic interest. Producers would like to reduce losses due to cracking or breakage and food product manufacturers seek to minimize the amount of effort required in processing. The products, both raw and processed, must have textures that are pleasing to the consumer. Consequently, the role of cellular structure in determining mechanical properties of plant tissues has generated much research interest for several years (Van-Buren, 1979; Gibson and Ashby, 1988). It has been found that materials exhibit three types of mechanical response to external stresses: elastic (recoverable) deformation; visco-elastic (time-dependent, partially-recoverable deformation; and plastic (non-recoverable) deformation (Thiel and Donald, 1998).

The food cutting process used in the food industry may serve as a dividing operation of raw material and semi – finished products to pieces of specified shape and size during formation, batching and milling. Food products have various structural and mechanical properties. They perceive the cutting load in different ways. It is known, that the products to be cut are getting deformed prior to destruction. When deformation of product under the blade is plastic, but after being cut, the product is crushed, it does not restore its previous shape and loses consumer attractiveness. If the product is delicate, its destruction is taking place without plastic deformation (Ciulica, 2012).

For computational efficiency reasons most researchers in the food process simulation community use mathematical models based on linear mathematical models.. These models are incapable of providing realistic predictions of finite deformations of the tissue, because the deformations are assumed to be infinitesimal. Linearity of the material response is also assumed. Consequently, in such models the principle of superposition holds (Miller et al., 2007).

The goal of this simulation research is to model and simulate deformable non-linear materials for applications requiring real-time interaction. Therefore, food processing applications include simulation-based training, skills assessment and operation planning. A cutting simulator must predict the deformation field

**Rezumat:** Această lucrare prezintă o metodă de analiză cu elemente finite a procesului de tăiere a produselor vegetale, folosind soft-ul ANSYS 14. Rezultatele obținute cu ajutorul analizei numerice a forței de rezistență la tăierea vegetalelor sunt comparate cu rezultatele cercetării experimentale realizate cu un echipament special în condiții de laborator. Cercetarea teoretică prin simulare prezentată în lucrare permite evaluarea funcționalității cuțitului și oferă totodată posibilitatea realizării unor optimizări constructiv-funcționale ale aparatelor de tăiere pentru obținerea unei corelări între forța necesară tăierii, unghiul de tăiere a cuțitului și proprietățile mecanice ale produselor vegetale.

**Cuvinte cheie:** legume, modelare 3D, morcov, simulare numerică, tăiere

### INTRODUCERE

Relația dintre proprietățile mecanice și structura celulară a plantelor vegetale prezintă un interes economic foarte crescut. Cultivatorii doresc să reducă pierderile cauzate de crăparea sau ruperea acestora iar producătorii de produse alimentare încearcă să reducă la minimum cantitatea de energie necesară în procesul de prelucrare. Produsele, ca materie primă sau prelucrate, trebuie să prezinte o textură pe placul consumatorilor. Prin urmare, cercetarea rolului structurii celulare în determinarea proprietăților mecanice ale țesuturilor vegetale a cunoscut un interes deosebit pe parcursul ultimilor ani (Van-Buren, 1979; Gibson și Ashby, 1988). S-a constatat că materialele prezintă trei tipuri de deformare la solicitările mecanice externe: elastică (recuperabilă), viscoelastică (dependentă de timp, parțial recuperabilă) și plastică (nerecuperabilă) (Thiel and Donald, 1998).

Procesul de tăiere utilizat în industria alimentară servește ca operațiune de divizare a materiei prime și a semiproduselor finite în bucăți de forma și dimensiunea specificată necesare proceselor de formare, dozare sau mărunțire. Produsele alimentare au diverse structuri și proprietăți mecanice. Acestea percep sarcinile de tăiere în moduri diferite. Se cunoaște că produsele supuse tăierii se deformează înainte de a fi distruse. În cazul comparativ la care deformarea în fața lamei este plastică, după ce a fost tăiat, produsul este strivit, nu își refacă forma anterioară, și își pierde atractivitatea de consum. În cazul în care produsul este delicat, distrugerea sa are loc fără deformare plastică (Ciulica, 2012).

Majoritatea cercetătorilor din comunitatea simulării proceselor alimentare utilizează modele matematice liniare, din motive de eficiență a calculului. Aceste modele nu sunt capabile să ofere predicții realiste ale deformațiilor finite ale țesuturilor deoarece deformările se presupun a fi infinitesimale. Este asumată, de asemenea, liniaritatea răspunsului materialului. Prin urmare, în astfel de modele este reținut principiul suprapunerii (Miller și alții, 2007).

Scopul acestei cercetări este de a modela și simula deformarea neliniară a materialelor pentru aplicații care necesită interacțiuni în timp real. Operațiile de procesare a alimentelor includ pentru acest scop formarea profesională, evaluarea competențelor și de planificare a activităților cu ajutorul simulării. Un simulator al procesului de tăiere trebuie să precizie domeniul

within the sample, so that it can be displayed to the user, and the internal forces (stresses), so that reaction forces acting on cutting tools can be computed and conveyed to the user in real-time.



Fig. 1 - Aspects from the experimental research / Aspecte de la cercetarea experimentală

de deformare în cadrul eșantionului, astfel încât să poată fi afișat utilizatorilor, și al forțelor interne (tensiunilor), astfel încât forțele de reacție care acționează pe instrumentele de tăiere să poată fi calculate și transmise în timp real.

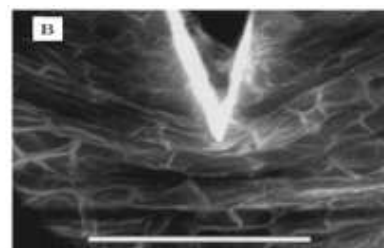


Fig. 2 - A scalpel blade is through carrots / Lama cuțitului în morcov (Thiel și Donald, 1998)

## MATERIAL AND METHOD

For the determination of cutting carrot resistance was used a special stand created by Zwick/Roell. Mechanical tests were performed with the aid of the instrument shown in Fig. 1. The cutting of tested products was performed using the simple edged knives, whose sharpening angle was 15°, 30° and 45° (fig. 1), and the knife blade thickness was 1.4 mm. For each of the three knives were performed ten cuts, and the tested material had the similar diameters on the cutting area. This was necessary to obtain optimal results. The degradation of the cell wall of material is illustrated in Fig. 2 (Thiel and Donald, 1998).

Assuming that the cutting action is continuous we can develop a continuous model of cutting conditions. Orthogonal cutting assumes that the cutting edge of the tool is set in a position that is perpendicular to the direction of relative work or tool motion. This allows us to deal with forces that act only in one plane.

## MATERIAL ȘI METODĂ

Pentru determinarea forței de rezistență la tăiere a morcovilor a fost utilizat un stand creat de Zwick/Roell. Experimentele au fost realizate cu ajutorul echipamentului prezentat în Fig. 1. Tăierea produselor testate s-a efectuat prin utilizarea unor cuțite cu muchie simplă al căror unghi de ascuțire a fost de 15°, 30° și 45° (fig. 1), iar grosimea lamei de cuțit a fost de 1,4 mm. Pentru fiecare dintre cele trei cuțite s-au realizat zece tăieri, iar materialul a avut diametre similare în zona de tăiere. Acest lucru a fost necesar pentru obținerea unor rezultate optime. Degradarea peretelui celular al materialului este ilustrată în Fig. 2 (Thiel și Donald, 1998).

Presupunând că acțiunea de tăiere este continuă, putem dezvolta un model continuu a condițiilor de tăiere. Tăierea ortogonală presupune că marginea de tăiere a instrumentului este situată într-o poziție perpendiculară pe direcția mișcare a uneltei. Acest lucru ne permite să facem ipoteza că forțele acționează numai într-un singur plan.

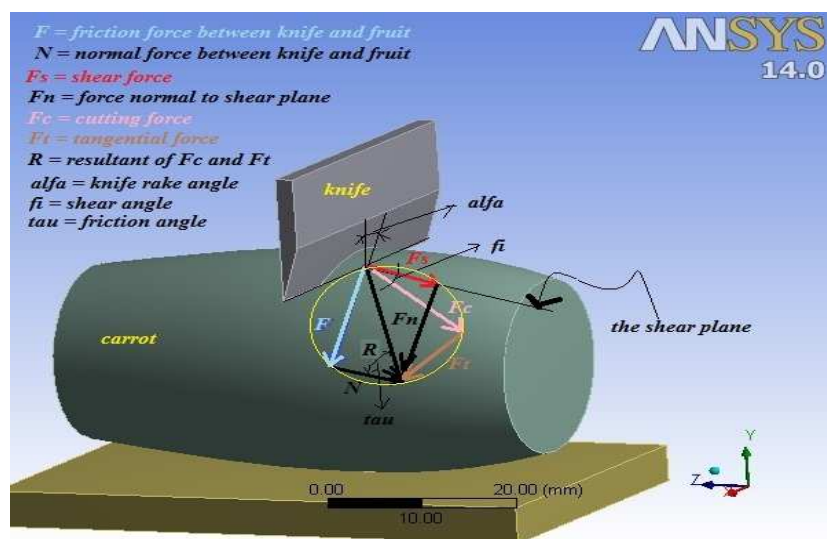
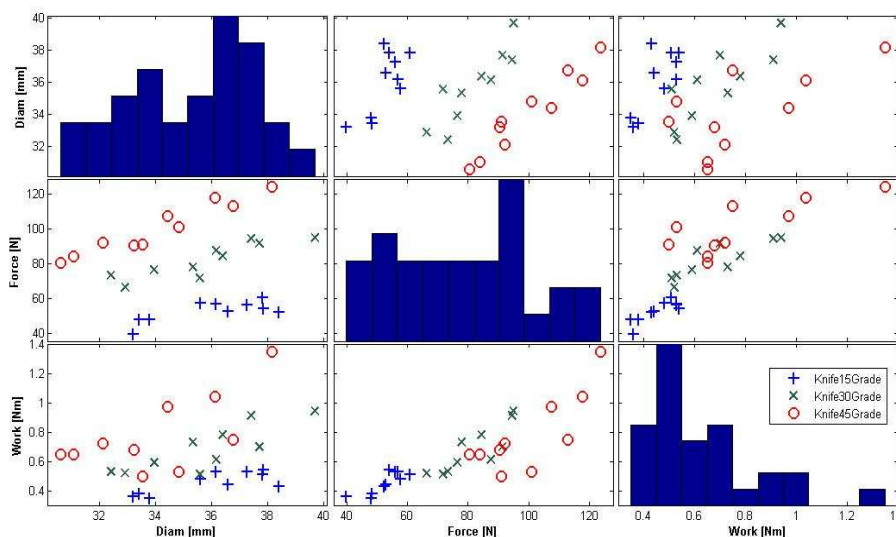


Fig. 3 - Merchant's Force Circle of cutting / Cercul forțelor de tăiere elaborat de Merchant

Merchant's Force Circle is a method for calculating the various forces involved in the cutting process. The procedure to construct a Merchants force circle diagram is pictured in figure 3. For processing the experimental data were used statistical and mathematical techniques, as following: the statistical models analysis; algorithm of statistical data conditioning; the development of a distribution model. So it was considered necessary to develop an application in MATLAB environment, which allows the distribution for data sets of experimental variables (presented in fig. 4).

O metodă de calcul a forțelor implicate în procesul de tăiere este Cercul Merchant al forțelor. Procedura de construcție a diagramei Merchant a cercului forțelor este ilustrată în figura 3. Pentru prelucrarea datelor experimentale au fost utilizate tehnici matematice și statistice, după cum urmează: modele de analiză statistică; algoritmul de condiționare a datelor statistice, dezvoltarea unui model de distribuție. Deci, s-a considerat necesar să se dezvolte o aplicație în mediul MATLAB, care permite determinarea distribuțiilor seturilor de date a variabilelor experimentale (prezentate în fig. 4).



**Fig. 4 - Results delivered by operating with the program Matlab: distributions of cutting diameter, resistance force of cutting and mechanical work for the three types of knives / Rezultate obținute prin operarea cu programul Matlab: distribuția diametrului de tăiere, rezistenței la tăiere și lucrului mecanic efectuat, pentru cele trei tipuri de cuțite**

### FINITE ELEMENT SIMULATION

A basic idea of finite element method is to divide the structural body into small and geometrically simple bodies, called *elements*, so that equilibrium equations of each element can be written, and all the equilibrium equations are solved simultaneously. The elements are assumed to be connected by *nodes* located on the elements' edges and vertices.

Vegetable cutting is a large deformation process that involves severe plastic deformation of the material in a very tiny zone, incorporating many material phenomena such as material rupture, sticking and sliding friction and strain localization. Such conditions make the simulation of this process a challenging task. The challenge of early works was to find an appropriate algorithm to model the material separation at the tip of the cutting tool. The initial works were mostly based on a Lagrangian viewpoint in which the FE mesh is attached to the material and moves with it in space. To simulate cleavage, the knife was moved into the piece along a previously defined "parting line" and the mesh nodes in front of the tool tip were split in two when a separation criterion is satisfied.

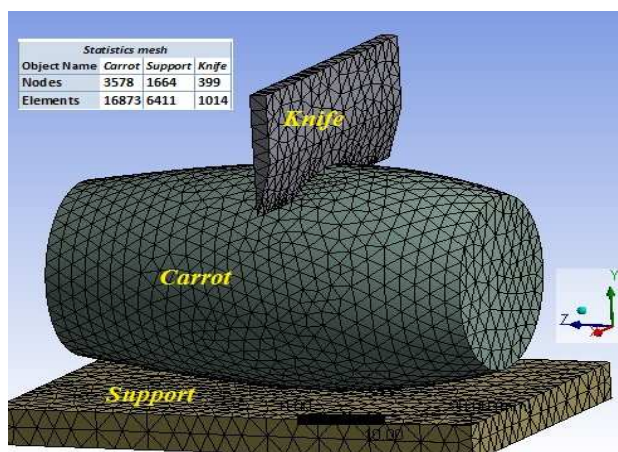
In other words, the complexities of Finite Element Method (FEM) simulation will grow significantly when the dynamic nature of cutting process is included in the simulation. Fig. 5 shows the configuration of the simulated cutting process.

### SIMULAREA CU ELEMENT FINIT

Ideea de bază a metodei cu element finit este împărțirea structurii corpului în mici corpuri cu geometrie simplă, numite elemente, astfel încât să poată fi scrisă ecuația de echilibru a fiecărui element, iar toate ecuațiile de echilibru să fie rezolvate simultan. Se presupune că elementele sunt conectate prin noduri localizate pe muchii și vârfuri.

Tăierea vegetalelor este un proces cu deformații mari care implică deformații plastice severe ale materialului într-o zonă restrânsă, și încorporează multe fenomene semnificative, cum ar fi, ruperea materialului, lipirea și frecarea de alunecare sau localizarea eforturilor. Aceste condiții fac simularea acestui proces o sarcină dificilă. Problema primelor lucrări din domeniu a fost de a găsi un algoritm adecvat pentru modelarea separării materialului la vârful cuțitului. Majoritatea lucrărilor s-au bazat pe un punct de vedere Lagrangian în care rețeaua de elemente finite este atașată și se mișcă împreună cu materialul în spațiu. Pentru a simula despăcarea, cuțitul se mișcă în probă dealungul unei "linii de despărțire" definite în prealabil, iar nodurile rețelei din fața uneltei de tăiere sunt despărțite în două atunci când criteriul de separare este îndeplinit.

Cu alte cuvinte, complexitatea simulărilor cu metoda elementului finit (FEM) va crește în mod semnificativ atunci când natura dinamică a procesului de tăiere este inclusă în simulare. Fig. 5 arată configurația procesului de tăiere simulat.



**Fig. 5 - Configuration of the simulated cutting process (Statistics mesh) / Configurația procesului de tăiere simulat (Statistica rețelei)**

## MODELING AND SIMULATION

We propose an efficient numerical algorithm for computing deformations of soft tissues (such as the vegetable products), with applications to real-time cutting simulation. The algorithm is based on the finite element method using the Lagrangian formulation, where stresses and strains are measured with respect to the original configuration. We used an *implicit method* because the response at the current time step depends not only on the historical information but also the current information; iterations are needed in a single time step. The algorithm is capable of handling both geometric and material non-linearities. In order to analyze the system, the general form of dynamic equilibrium equation is:

$$[M]\{\ddot{D}\} + [C]\{\dot{D}\} + [K]\{D\} = \{F\} \quad , \quad (1)$$

where  $\{D\}$  is the nodal displacements vector,  $\{F\}$  is the nodal external forces vector,  $[M]$  is called the *mass matrix*,  $[C]$  is called the *damping matrix*, and  $[K]$  is the *stiffness matrix*. Stability analysis of the algorithm suggests that due to much lower stiffness of soft tissues than that of typical engineering materials, it is possible that integration time steps be a few orders of magnitude larger than that typically used in engineering simulations. "Transient Structural" module solves the above equation using the following algorithm:

$$\dot{D}_{n+1} = \dot{D}_n + \Delta t[\gamma \ddot{D}_{n+1} + (1-\gamma) \ddot{D}_n] \quad , \quad (2)$$

$$D_{n+1} = D_n + \Delta t \dot{D}_n + \frac{1}{2} \Delta t^2 [2\beta \ddot{D}_{n+1} + (1-2\beta) \ddot{D}_n] \quad , \quad (3)$$

The parameters  $\gamma$  and  $\beta$  are chosen to control characteristics of the algorithm such as accuracy, numerical stability, etc. Numerical examples confirm the accuracy and efficiency of the proposed LED algorithm.

The material and cutting parameters are selected to represent realistic cutting process conditions. These parameters are selected in a way to be able to compare the simulation results with the experimental model, and they were displayed in table 1.

## MODELAREA ȘI SIMULAREA

Noi propunem un algoritm eficient de calcul numeric pentru deformarea țesuturilor moi (cum ar fi produsele vegetale), cu aplicații la simularea tăierii în timp real. Algoritmul se bazează pe metoda elementului finit folosind formularea Lagrangiană, pentru cazul în care eforturile și deformațiile sunt măsurate în raport cu configurația originală. Am folosit o *metodă implicită*, deoarece răspunsul la pasul de timp curent depinde nu doar informațiile istorice, dar, de asemenea, de informațiile curente; iterațiile sunt necesare într-un singur pas de timp. Algoritmul este capabil să manipuleze neliniaritățile materialului sau geometrice. Pentru analiza sistemului, forma generală a ecuației de echilibru dinamic este:

unde  $\{D\}$  este vectorul deplasărilor nodale,  $\{F\}$  este vectorul forțelor externe nodale,  $[M]$  este matricea maselor,  $[C]$  este matricea de amortizare, și  $[K]$  este matricea de rigiditate. Analiza de stabilitate a algoritmului sugerează că, datorită rigidității mult mai mici a țesuturilor moi decât cea a materialelor tipice ingineresti, este posibil ca pașii timpului de integrare să fie de câteva ordine de mărime mai mare decât cel folosit de obicei în simulările ingineresti. Modulul "Transient Structural" rezolvă ecuația de mai sus folosind următorul algoritm:

Parametrii  $\gamma$  și  $\beta$  sunt aleși pentru a controla caracteristicile algoritmului, cum ar fi corectitudinea, stabilitatea numerică, etc. Exemplele numerice confirmă acuratețea și eficiența algoritmului LED propus.

Parametrii materialelor și de tăiere sunt aleși să reprezinte condițiile procesului de tăiere cât mai realist. Acești parametri sunt selectați într-un mod care să permită comparația rezultatelor simulării cu modelul experimental, și sunt afixați în tabelul 1.

Table 1 / Tabelul 1

Object name / Obiect	Material / Material	Density / Densitate [kg m <sup>-3</sup> ]	Young's Modulus / Mod. Young [MPa]	Poisson's Ratio / Coef. Poisson [ ]	Bulk Modulus / Mod. volumetric [MPa]	Shear Modulus / Mod. de forfecare [MPa]
Carrot	Carrot	1140	1.35 / 1,35	0.29 / 0,29	1.0714 / 1,0714	0.52326 / 0,52326
Knife Support	Steel	7850	2.e+0.05 / 2,e+0,05	0.3 / 0,3	1.66e+0.05 / 1,66e+0,05	76923

The knife is idealized as a relatively rigid body with a very large elastic modulus and a sharpening angle of 15° with a curvature at the corner representing the radius of curvature at the cutting edge. In this simulation, a corner radius of 0.25 mm is considered for the tool.

The carrot sample is a truncated ellipsoid with maximum radius of 15.5 mm and a length of 52 mm. This geometry of the workpiece is chosen to be able to simulate an orthogonal cutting configuration. Tool and workpiece are modeled as deformable bodies and contact elements are inserted at the interface of both to represent the contact between them.

These elements prevent penetration and transmit the forces between surfaces. A velocity model dependent on friction is applied to represent the sliding and sticking of the chip on the tool rake face.

With the advance of the tool tip into the workpiece in the course of cutting process, the elements at the vicinity

Cuțitul este idealizat ca un corp relativ rigid, cu un modul de elasticitate foarte mare și un unghi ascuțit de 15°, cu o curbă de colț ce reprezintă raza de curbă a muchiei de tăiere. În această simulare, a fost luată în considerare o rază de curbă de 0,25 mm a muchiei cuțitului.

Proba de morcov este un elipsoid trunchiat cu rază maximă de 15,5 mm și o lungime de 52 mm. Această geometrie a probei este aleasă pentru putea fi simulată tăierea într-o configurație ortogonală. Instrumentul de tăiere și proba sunt modelate ca obiecte deformabile, iar la interfața acestora sunt introduse elemente de contact pentru a reprezenta contactul dintre ele.

Aceste elemente previn penetrarea și transmit forțele între suprafețele corpurilor. Pentru a reprezenta alunecarea sau lipirea fragmentelor pe fețele uneltei este aplicat un model al vitezei dependente de frecare.

Odată cu avansul cuțitului în piesa de prelucrat în cursul tăierii, elementele din apropierea vârfului sunt strivite și

of the tool tip are stretched and severely distorted because the tool penetrates into them. This creates major convergence problem, and, if not prevented, the solution aborts prematurely.

## RESULTS

Following the experimental measurements it can be seen that the cutting resistance force is directly proportional with the value of the sharpening angle of the cutting knife. As the cutting edge is sharper, the cutting resistance force is lower. An interesting phenomenon in machining cutter is the change of actual shear angle due to the tool motion in the feed direction. The shear angle is a function of the cutting ratio. As the knife vibrates, the cutting ratio varies and the thickness of the chip material varies too.

Fig. 6 shows the contour plots of predicted equivalent elastic strain: overview (left) XY; slice plane (right). At larger shear angles, a thicker chip is produced whereas for smaller shear angles, the chip becomes thinner.

Variation of shear plane angle during cutting is discussed in earlier works. Wu (1986) formulated the oscillation of shear plane angle and developed a comprehensive dynamic cutting force model by taking into account the equilibrium of forces in the primary and secondary plastic deformation zones.

puternic distorsionate, deoarece instrumentul pătrunde în ele. Acest lucru creează probleme majore de convergență, și, în cazul în care nu este prevenit, soluția va fi abandonată prematur.

## REZULTATE

În urma măsurătorilor experimentale se poate observa că rezistența la tăiere este direct proporțională cu valoarea unghiului de ascuțire a cuțitului. Cu cât muchia de tăiere este mai ascuțită, rezistența la tăiere este mai mică. Un fenomen interesant în prelucrarea prin tăiere este schimbarea unghiului de forfecare real datorită mișcării uneltei în direcția de avans. Unghiul de forfecare este o funcție a raportului de tăiere. După cum vibrează cuțitul, variază atât raportul de tăiere, cât și grosimea fragmentelor de material.

Fig. 6 arată conturul deformației echivalente elastice estimate: imagine de ansamblu (stg.); plan de tăiere XY (drt.). La unghiuri mai mari de forfecare, sunt produse fragmente mai groase, în timp ce la unghiuri mai mici, fragmentele devin mai subțiri.

Variația unghiului plan de forfecare în timpul tăierii este discutat în lucrări anterioare. Wu (1986) a formulat oscilația unghiului plan de forfecare și a dezvoltat un model dinamic al forței de tăiere ținând cont de echilibrul de forțe în zonele primare și secundare de deformare plastică.

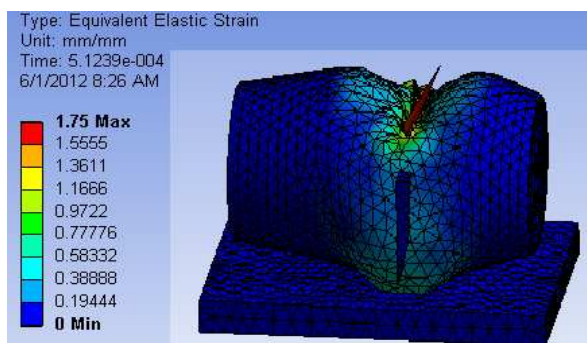


Fig. 6 - Contour plots of predicted equivalent elastic strain: overview (left.); slice plane XY (right); / Conturul estimat al deformației elastice echivalente: vedere de ansamblu (stg.); plan de tăiere XY (drt)

Fig. 7 shows the distribution of the normal elastic strain along OX axis in time domain of a cutting simulation under the width of cut of 1.4 mm and cutting velocity of 100 mm/min. In this figure, two dominant peaks are observed; the first one at 0.248 mm/mm and the second one at 0.314 mm/mm. However, the real world is much more complicated than what a critical strain or stress criterion can predict.

Fig. 7 arată distribuția deformației elastice normale pe direcția axei OX în domeniul timp, pentru simularea tăierii pe o lățimea de tăiere de 1,4 mm și viteza de tăiere de 100 mm/min. În această figură, două vârfuri dominante sunt observate, prima de 0,248 mm/mm, iar al doilea de 0,314 mm/mm. În orice caz, lumea reală este mult mai complicată decât ceea ce un criteriu critic de tensiune sau deformație pot prezice.

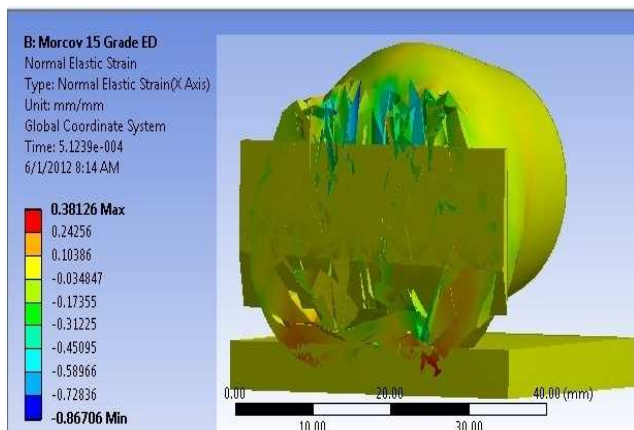


Fig. 7 - Contour of normal elastic strain distribution / Conturul distribuției deformației elastice normale

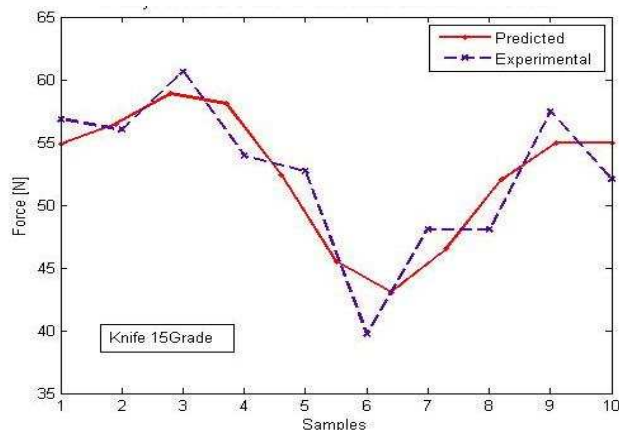


Fig. 8 - Cutting force comparison for Knife with angle of 15° / Comparația forței de tăiere pentru cuțitul cu unghiul de 15°

Figure 8 shows the comparison chart cutting resistance force for the knife with the blade angle of 15°. If we compare the magnitudes of cutting force, measured in experiments, we see the same relative values as if values estimated by simulation. For small and moderate plasticity, the damage effect of cutting process is often negligible.

This can lead to conclusion that software Ansys 14 is able to predicted the relative values in cutting force with good accuracy.

## CONCLUSIONS

Mathematical modelling and computer simulation have proved tremendously successful in engineering applications. Computational mechanics has enabled technological developments in every area of our lives. One of the greatest challenges for engineers is to extend the success of computational mechanics to all areas of traditional engineering.

In this paper the using of Finite Element Method FEM which was implemented in commercially available software package Ansys 14, was presented. The simulations were focused on carrot cutting in order to obtain a comprehensive model which realistically predicts the effects of various cutting parameters on process stability. The results were compared with experimentally measured data. In the present theory, we have shown that good results can be obtained.

## Acknowledgement

This paper is supported by the Sectoral Operational Programme Human Resources Development (SOP HRD), financed from the European Social Fund and by the Romanian Government under the contract number POS-DRU: ID 59321

## REFERENCES

- [1]. Atkins, T. (2009) - *The Science and Engineering of Cutting*, Elsevier;
- [2]. Ciulică, L.G., Rus, F. (2012) - *Experiments regarding the determination of the optimum cutting angle using a single edged knife*, Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Series II, Vol. 5 (54) No. 1;
- [3]. Danielson, K.T., et al. (2000) – *Parallel computation of meshless methods for explicit dynamic analysis*, Int. J. Numer. Meth. Engng., 47, pg. 1323-1341;
- [4]. Gibson, L.J., Ashby, M.F. (1988) - *Cellular solids : structure and properties*, Oxford, Pergamon Press;
- [5]. Mahnama, M., Movahhedy, M.R. (2012) - *Application of FEM simulation of chip formation to stability analysis in orthogonal cutting process*, J Manuf Process, doi:10.1016/j.jmapro.2011.12.007;
- [6]. Martin-Belloso, O. (2011) - *Advances in fresh – cut fruits and vegetables processing*, CRC Press, New York;
- [7]. Miller, K., Joldes, G., Lance, D., Wittek, A. (2007) - *Total Lagrangian explicit dynamics finite element algorithm for computing soft tissue deformation*, Commun. Numer. Meth. Engng., 23, pg.121–134;
- [8]. Thiel, B. L., Donald, A. M. (1998) - *In situ Mechanical Testing of Fully Hydrated Carrots (Daucus carota) in the Environmental SEM*, Annals of Botany, 82, pg. 727-733;
- [9]. Van-Buren, J.P. (1979) - *The chemistry of texture in fruits and vegetables*, Journal of Text. Studies, 10, pg.1-23;
- [10]. Wu, D.W. (1986) - *Governing equation of the shear angle oscillation in dynamic orthogonal cutting*, Trans ASME J. Eng. Ind.,108, pg. 281–7.

În figura 8 graficul indică forța de rezistență la tăiere, pentru cuțitul cu unghiul lamei de 15°. Dacă vom compara magnitudinile forței de tăiere, măsurate în experimente, putem vedea aceleași valori relative, ca și în cazul valorilor estimate prin simulare. Pentru plasticități mici și moderate, efectul vătămărilor procesului de tăiere este adesea neglijabil.

Acest lucru poate conduce la concluzia că software-ul ANSYS 14, este capabil să estimeze valorile relative ale forței de tăiere cu o precizie bună.

## CONCLUZII

Modelarea matematică și simularea pe calculator s-au dovedit a avea foarte mult succes în aplicațiile ingineresti. Mecanica numerică a permis dezvoltarea tehnologică în aproape fiecare domeniu al vieții noastre. Una dintre cele mai mari provocări pentru ingineri este aceea de a extinde succesul mecanicii numerice în toate domeniile ingineriei tradiționale.

În această lucrare a fost prezentată utilizarea metodei elementului finit FEM, care a fost implementată cu pachetul software disponibil comercial ANSYS 14. Simulările s-au axat pe tăierea morcovilor, în scopul de a obține un model cuprinzător, care poate estima în mod real efectele diversilor parametri de tăiere asupra stabilității procesului. Rezultatele au fost comparate cu datele măsurate experimental. În teoria de față, noi am arătat că pot fi obținute rezultate de calitate.

## Recunoastere

Lucrarea este finanțată de către Fondul Social European și Guvernul României în cadrul Programului Sectorial Operațional de Dezvoltare a Resurselor Umane sub contractul numărul POS-DRU: ID 59321.

## BIBLIOGRAFIE

- [1]. Atkins, T. (2009) - *Știința și Ingineria Tăierii*, Elsevier;
- [2]. Ciulică, L.G., Rus, F. (2012) - *Experimente cu privire la stabilirea unghiului de tăiere optim utilizând un cuțit cu un singur tăiș*, Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Series II, Vol. 5 (54) No. 1;
- [3]. Danielson, K.T., et al. (2000) – *Metode de calcul paralel al rețelelor pentru analiza dinamică explicită*, Int. J. Numer. Meth. Engng., 47, p. 1323-1341;
- [4]. Gibson, L.J., Ashby, M.F. (1988) - *Solide celulare: structură și proprietăți*, Oxford, Pergamon Press;
- [5]. Mahnama, M., Movahhedy, M.R. (2012) - *Aplicarea FEM în simularea formării așchiilor pentru analiza stabilității procesului de așchiere ortogonală*, J Manuf Process, doi:10.1016/j.jmapro.2011.12.007;
- [6]. Martin-Belloso, O. (2011) - *Progrese în tăierea fructelor proaspete și prelucrarea legumelor*, CRC Press, New York;
- [7]. Miller, K., Joldes, G., Lance, D., Wittek, A. (2007) - *Algoritmul Lagrangian total explicit dinamic de calcul cu element finit a deformării țesuturilor moi*, Commun. Numer. Meth. Engng., 23, p.121–134;
- [8]. Thiel, B. L., Donald A. M. (1998) - *Testarea mecanică in situ a morcovilor integral hidratați (Daucus carota), în mediu SEM*, Annals of Botany, 82, p. 727-733;
- [9]. Van-Buren, J.P. (1979) - *Chimia texturii la fructe și legume*, Journal of Text. Studies, 10, p.1-23;
- [10]. Wu, D.W. (1986) - *Ecuția de reglare a oscilației unghiului de forfecare în dinamica tăierii ortogonale*, Trans ASME J. Eng. Ind.,108, p. 281–7.