

RESEARCHES ON THE USE OF FINITE ELEMENT METHOD TO OPTIMIZE THE WHEEL TYRES EXPLOITATION FOR AGRICULTURAL VEHICLES

CERCETARI PRIVIND UTILIZAREA METODEI ELEMENTELOR FINITE PENTRU OPTIMIZAREA EXPLOATĂRII PNEURILOR VEHICULELOR AGRICOLE

Assoc. Prof. PhD. Eng. Biriş S.Şt.¹⁾, Assoc.Prof. PhD. Eng Savin L.⁴⁾, PhD. Stud. Eng. Ungureanu N.¹⁾, Assoc. Prof. PhD. Eng. Maican E.¹⁾, PhD. Eng. Vlăduţ V.²⁾, PhD. Eng. Ganea I.²⁾, PhD. Eng. Caba I.L.³⁾

¹⁾P.U. Bucharest / Romania; ²⁾INMA Bucharest / Romania; ³⁾USAMVB Timișoara / Romania; ⁴⁾University of Novi Sad / Serbia
Tel: 0744756832; E-mail: biris.sorinstefan@gmail.com

Abstract: This paper presents an analytical model using finite elements method, allowing the study of the interaction between agricultural tractor tyres and the rolling track, the distribution of stresses and strains in different types of rolling tracks (agricultural land, agricultural exploitation land and public land), and in tyres, for various inflation pressure values. A 3D model of the real tyre has been achieved, for which were defined the parameters characterising the elastic behaviour of rubber tyre. Results and conclusions obtained from this study are useful in the identification of optimal operating parameters for tyres driving wheels of agricultural vehicles.

Keywords: rolling track, finite element method, tyre pressure, tyre, soil, tractor

INTRODUCTION

The tyre is an important constitutive element of agricultural vehicles, due to its multiple functions: it ensures proper adhesion to the rolling track, safety and resistance to high-speed movement, attenuates the shocks caused by uneven rolling tracks, takes the loads distributed on wheels, contributes to the comfort of passengers or operators.

Proper exploitation of wheel tyres of agricultural vehicles is difficult and depends of many factors. Low pressures generate an exaggerated flexion of tyre cage, resulting in tyre heating and premature tyre wear, and also in increasing the rolling resistance.

Too large pressures cause the decrease of tyre adhesion, irregular and faster wear, especially for driving wheels.

In Europe, most agricultural vehicles must move on different types of rolling tracks: stubble, ploughed land, operation roads, or public roads. To move easily on public roads, with minimum fuel consumption, tyre air pressure should be as large as possible, while the contact area between tyres and rolling tracks must be as small as possible. Thus, the pressure exerted by the tyre on the rolling track is larger, stresses and strains transmitted to the rolling track are greater, thus giving the possibility to negatively affecting the degree of compaction given by agricultural vehicles.

Tyre inflation pressure influences not only the shape of the contact surface between tyre and soil, but also the distribution of stresses in the soil (Fig.1) and thus, the phenomena of soil compaction.

Also, tyre inflation pressure has a significant influence on the rolling and adhesion characteristics of the wheels, being a decisive factor on the fuel consumption required for the movement of agricultural vehicles.

Figure 2 presents the manner in which tyre deforms depending on tyre inflation pressure.

Thus, for larger tyre inflation pressure (Fig. 2.a), the contact surface with the rolling track is smaller (Fig.3), the rolling resistance is smaller but wheel adhesion is significantly diminished, and the compaction of rolling tracks is higher.

Rezumat: În lucrare se prezintă un model analitic utilizând metoda elementelor finite, pentru studiul interacțiunii dintre pneurile tractoarelor agricole și calea de rulare, distribuția tensiunilor și deformațiilor în diverse căi de rulare (sol agricol, sol agricol în exploatare, teren public) și în pneuri, pentru diferite valori ale presiunii din pneu. A fost realizat un model 3D al pneului real, pentru care au fost definiți parametrii care caracterizează comportamentul elastic al pneului de cauciuc. Rezultatele și concluziile acestei lucrări sunt utile în identificarea parametrilor optimi de lucru pentru roțile motoare ale pneurilor vehiculelor agricole.

Cuvinte cheie: cale de rulare, metoda elementelor finite, presiune din pneu, pneu, sol, tractor

INTRODUCERE

Pneul este un element component important al vehiculelor agricole, având multiple funcții: asigură aderența cu calea de rulare, siguranța și rezistența la mișcarea cu viteză mare, atenuează șocurile produse de căile de rulare neuniforme, preia încărcările distribuite pe roți; contribuie la confortul pasagerilor sau al operatorilor.

Exploatarea adecvată a roților pe pneuri care echipează vehiculele agricole este dificilă și depinde de numeroși factori. Presiunile scăzute din pneu produc încovoierea exagerată a carcasei, în urma căreia pneul se încinge și se uzează prematur, iar rezistența la rulare crește.

Presiunile prea mari din pneu duc la scăderea aderenței pneului, uzură neuniformă și rapidă, în special în cazul roților motoare.

În Europa, majoritatea vehiculelor agricole trebuie să se deplaseze pe diverse tipuri de căi de rulare: miriște, sol arat, drumuri tehnologice sau drumuri publice. Pentru deplasarea cu ușurință pe drumurile publice, cu consum minim de combustibil, presiunea din pneu trebuie să fie cât mai mare posibil, iar suprafața de contact dintre pneu și calea de rulare trebuie să fie cât mai mică. Astfel, presiunea aplicată de pneu pe calea de rulare este mai mare, iar tensiunile și deformațiile transmise în calea de rulare sunt mai mari, influențând negativ compactarea produsă de vehiculele agricole.

Presiunea din pneu influențează atât forma suprafeței de contact dintre pneu și sol, cât și distribuția tensiunilor în sol (Fig.1) și astfel, fenomenul de compactare a solului.

Presiunea din pneu are o influență deosebită asupra caracteristicilor de rulare și aderență ale roții, fiind un factor decisiv asupra consumului de combustibil necesar deplasării vehiculelor agricole.

În Figura 2 este prezentat modul de deformație a pneului în funcție de presiunea din pneu.

Se poate observa că, dacă presiunea din pneu este ridicată (Fig. 2.a), suprafața de contact cu calea de rulare este mai mică (Fig.3), rezistența la rulare este de asemenea mai mică, aderența roții este redusă semnificativ, iar calea de rulare este compactată mai mult.

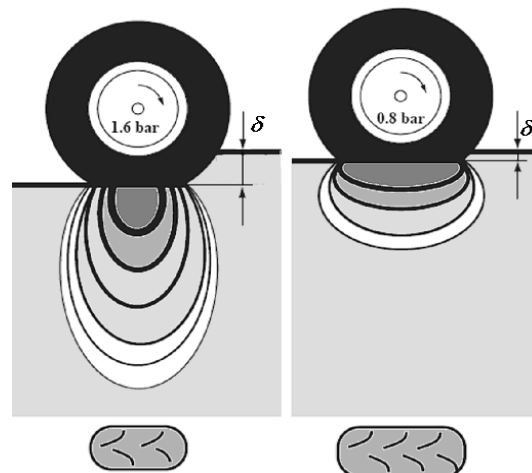


Fig. 1 - Influence of tyre inflation pressure on the shape of the contact surface and on soil stress distribution /
Influența presiunii din pneu asupra formei petei de contact și asupra distribuției tensiunilor din sol



Fig. 2 - Influence of tyre inflation pressure on tyre deformation (Munro, 2008) / [8]
Influența presiunii din pneu asupra modului de deformare a pneului

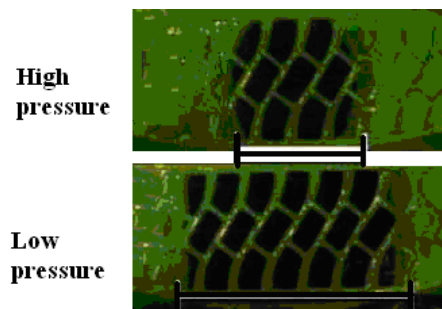


Fig. 3 - Influence of tyre inflation pressure on contact area with the rolling track (Munro, 2008) / [8]
Influența presiunii din pneu asupra petei de contact cu calea de rulare

Figure 2.b presents the case of a tyre with proper inflation pressure, while Figure 2.c shows tyre deformation when tyre inflation pressure is too low. In this case, contact surface with the rolling track is too large (Fig.3), resulting in high adhesion, smaller pressure in the contact area and increased rolling resistance, leading to an increased energy consumption required for the movement of agricultural vehicles.

Tyre deformation under the action of an external load (weight per wheel) is presented in Figure 4.

According to Hedekel's equation, tyre deformation is given by the relationship [4]:

$$f = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot p_i \cdot \sqrt{R \cdot r}} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

where: F – vertical load acting on the wheel, [N]; p_i – air pressure inside the tyre, [MPa]; R – free radius of the wheel, [mm]; r – radius of tyre running path in cross section, [mm].

Figure 5 illustrates the influence of tyre inflation pressure on its wear, respectively on tyre endurance.

În Figura 2.b este prezentat cazul în care presiunea din pneu este corect aleasă, iar în Figura 2.c este prezentată deformarea pneului când presiunea din acesta este prea mică. În ultima situație, suprafața de contact cu calea de rulare este prea mare (Fig.3), aderența ridicată, presiunea mică în suprafața de contact și rezistența la rulare crescută având ca urmare creșterea consumului de energie necesar pentru deplasarea vehiculelor agricole.

Deformația pneului sub acțiunea unei încărcări exterioare (greutate pe roată) este prezentată în Figura 4.

Conform ecuației lui Hedekel, deformația pneului este dată de relația [4]:

în care: F – sarcina verticală pe roată, [N]; p_i – presiunea din pneu, [MPa]; R – raza liberă a roții, [mm]; r – raza căii de rulare a pneului în secțiune transversală, [mm].

Figura 5 prezintă influența presiunii din pneu asupra uzurii acestuia, respectiv rezistența la oboseală a pneului.

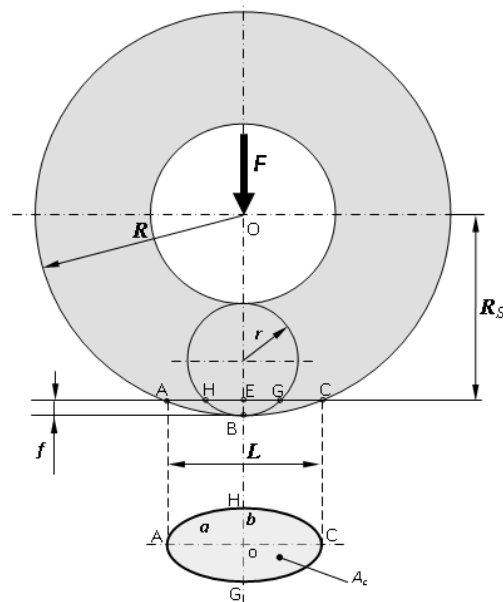


Fig. 4 - Tyre deformation under the action of an external load / [4]
Deformația pneului sub acțiunea unei sarcini exterioare

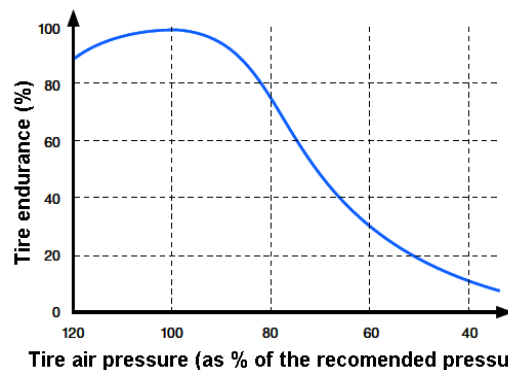


Fig. 5 - Influence of tyre air pressure on tyre endurance [8]
Influența presiunii aerului din pneu asupra durabilității acestuia

With the great development of computers and numerical computation programs, came a natural opportunity to use these tools for the modelling of these phenomena by means of Finite Element Method (FEM). Thus, this paper presents an analytical model using finite elements method, allowing the study of the interaction between agricultural tractor tyres and the rolling track, the distribution of stresses and strains in different types of rolling tracks (agricultural land, agricultural exploitation land and public land), and in tyres, for various tyre pressure values.

MATERIAL AND METHOD

The analysis was developed for the tyre of the rear wheel of the 65 HP Romanian tractors U-650, whose main characteristics are given in Table 1. The analyzed tyre is symbolised as 14-38 R35. The tyre is made of rubber, which is generally considered to be a non-linear, incompressible or nearly incompressible, hyper-elastic material, which often experiences very large deformations upon loading.

The element selected for analyzing the rubber material was HYPER185, used in conjunction with the two-term Mooney-Rivlin material model (Mohseninmanesh, 2007). ANSYS v12.1 program was used for the analysis of 3D model, respectively Quick Field Students v5.6 was used to analyze the plane model of tyres section in „plane strain” mode.

Odată cu dezvoltarea computerelor și a programelor de calcul numeric, a apărut oportunitatea utilizării acestor instrumente pentru modelarea prin Metoda Elementelor Finite (MEF). Astfel, această lucrare prezintă un model analitic utilizând metoda elementelor finite, care permite studiul interacțiunii dintre pneurile tractoarelor agricole și calea de rulare, distribuția tensiunilor și a deformațiilor în diverse tipuri de căi de rulare (sol agricol, sol agricol în exploatare, drumuri publice), și în pneuri, pentru diferite valori ale presiunii din pneu.

MATERIAL ȘI METODĂ

Analiza a fost realizată pentru pneul roții spate a tractorului românesc de 65 CP, U-650, ale cărui principale caracteristici sunt date în Tabelul 1. Pneul analizat este simbolizat 14-38 R35. Pneul este din cauciuc, care în general este considerat a fi un material neliniar, incompresibil sau aproape incompresibil, hiper-elastic, care, dacă este încărcat, se deformează foarte mult.

Elementul selectat pentru analiza materialului de cauciuc este HYPER185, utilizat în tandem cu modelul polinomial Mooney-Rivlin (Mohseninmanesh, 2007). Pentru analiza modelului 3D s-a utilizat programul ANSYS v12.1, iar pentru analiza modelului plan al secțiunii pneului în modul „deformații plane” s-a utilizat Quick Field Students v 5.6.

Table 1 / Tabelul 1

Main characteristics of U-650 tractor / Caracteristici principale ale tractorului U-650

Tractor / Tractor	Soil interaction part / Organ de interacțiune cu solul	Wheel track, Ecartament [mm]	Weight / Masa		Contact patch width / Lățime pată de contact [mm]
			Total / Totală	per axle / pe axă	
U-650 (65 HP)	Front tyre / Pneu față	1600	3380	1170	180
	Rear tyre / Pneu spate			2210	367

Figure 6 illustrates 3D physical model for rear tyre of the 65 HP tractors, developed by means of Solid Works program, which takes into consideration all the details on tyre sizes. This geometrical model was imported in ANSYS v12.1, thus obtaining the meshed model of FEM analysis (Fig.7), consisting in three dimensional finite elements for both tyre and rim, as well as for the rigid surface of the rolling track.

In the contact area was developed a finer and more precise meshing, using a higher number of finite elements having smaller sizes.

For an easier analysis it was also developed a plane, symmetric model of the tyre in frontal plane, using Quick Field Students v 5.6 program (Fig.8), for which tyre air pressure and the load on the wheel were taken into account.

În Figura 6 este prezentat modelul fizic 3D pentru pneul spate al tractorului de 65 CP, realizat în programul Solid Works, care consideră toate detaliile privind dimensiunile pneului. Modelul geometric a fost importat în ANSYS v12.1, obținând astfel modelul discretizat pentru analiza prin MEF (Fig.7), constând în elemente finite tridimensionale pentru pneu și jantă, dar și pentru suprafața rigidă a căii de rulare.

Pentru suprafața de rulare s-a realizat o rețea de elemente mai fină și mai precisă, utilizând un număr mai mare de elemente finite de dimensiuni mai mici.

Pentru simplificarea analizei a fost realizat și un model plan, simetric al pneului în plan frontal, utilizând Quick Field Students v 5.6 (Fig.8), ținând seama de presiunea din pneu și de sarcina pe roată.



Fig. 6 - Tyre model / Modelul fizic al pneului

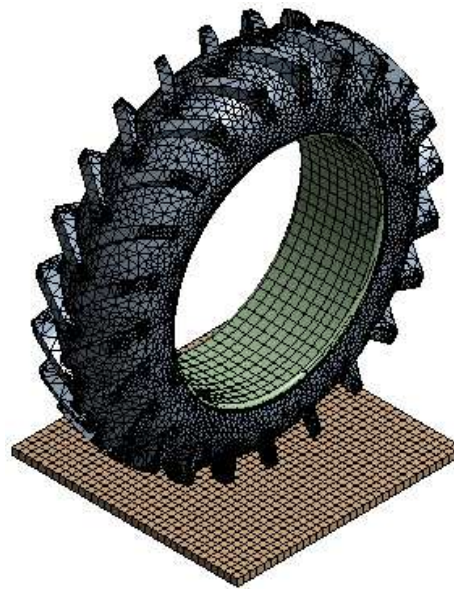


Fig. 7 - Meshed 3D model / Modelul 3D discretizat

The empirical model of calculus for the contact area with the soil for agricultural tyres proposed by Komandi is given as [7, 8]:

Modelul de calcul empiric pentru suprafața de contact dintre sol și pneul agricol, propus de Komandi, are forma [7, 8]:

$$A_{soil} = c \cdot F^{0.7} \cdot \sqrt{\frac{b}{D}} \cdot p_i^{-0.45} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2)$$

where c – constant; F – wheel load, [N]; b – tyre width, [mm]; D – tyre diameter, [mm]; p_i – inflation pressure, [MPa].

Constant c for different substrates has following values (Komandi, 1990): $c=0.3-0.32$ for rather bearing soil, $c=0.36-0.38$ for sandy field, and $c=0.42-0.44$ for loose sand.

în care: c – constantă; F – sarcina pe roată, [N]; b – lățimea pneului, [mm]; D – diametrul pneului, [mm]; p_i – presiunea din pneu, [MPa].

Valorile constantei c variază în funcție de tipul substratului (Komandi, 1990): $c=0,3-0,32$ pentru sol bătătorit, $c=0,36-0,38$ pentru sol nisipos, $c=0,42-0,44$ pentru sol nisipos afânat.

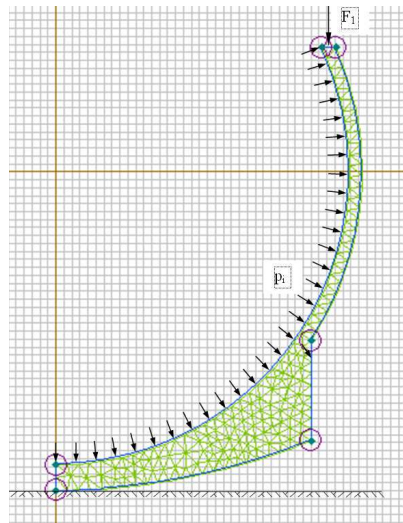


Fig. 8 - Meshed tire 2D model / Modelul 2D discretizat

RESULTS AND DISCUSSION

Taking into account Figure 4 and equation (1) it results the influence of tyre inflation pressure on the dimensional characteristics of the wheels (Fig.9).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Ținând seama de Figura 4 și de ecuația (1) se obține influența presiunii din pneu asupra caracteristicilor dimensionale ale roților (Fig.9).

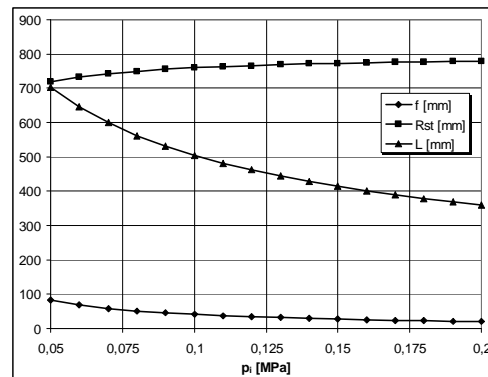


Fig. 9 - Influence of tyre pressure on the dimensional characteristics of the wheels / Influența presiunii din pneu asupra caracteristicilor dimensionale ale roții

Figure 10 illustrates the influence of 14-38 R35 tyre inflation pressure on the contact area between wheel and rolling track, based on equation (2), for different types of rolling tracks.

În Figura 10 se prezintă influența presiunii din pneu 14-38 R35 asupra suprafeței de contact dintre roată și calea de rulare, conform ecuației (2), pentru diverse căi de rulare.

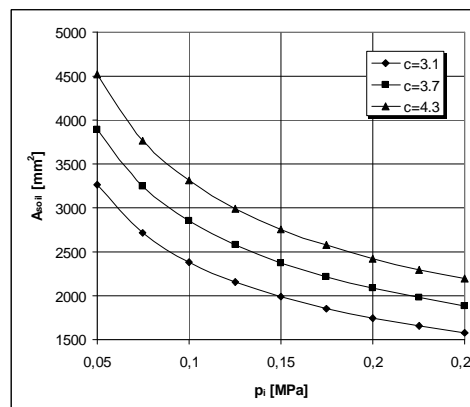
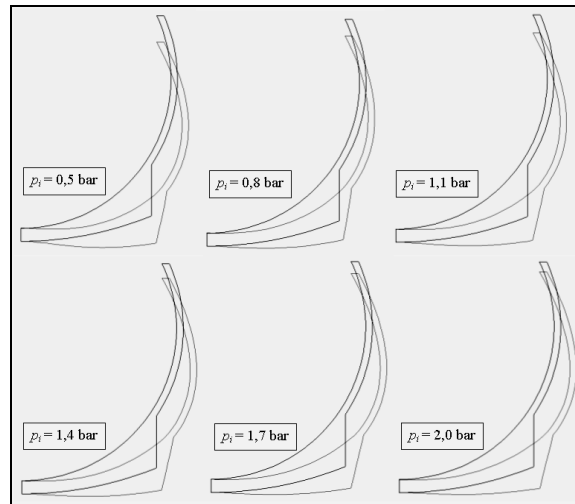


Fig. 10 - Influence of tyre inflation pressure and of nature of rolling track on the surface of contact area / Influența presiunii din pneu și a naturii căii de rulare asupra ariei petei de contact

Figure 11 presents the modelling results of tyre inflation pressure on how tyre deforms, according to the physical model shown in Figure 8.

Figura 11 prezintă rezultatele obținute prin modelarea influenței presiunii din pneu asupra deformației pneului, conform modelului fizic prezentat în Figura 8.



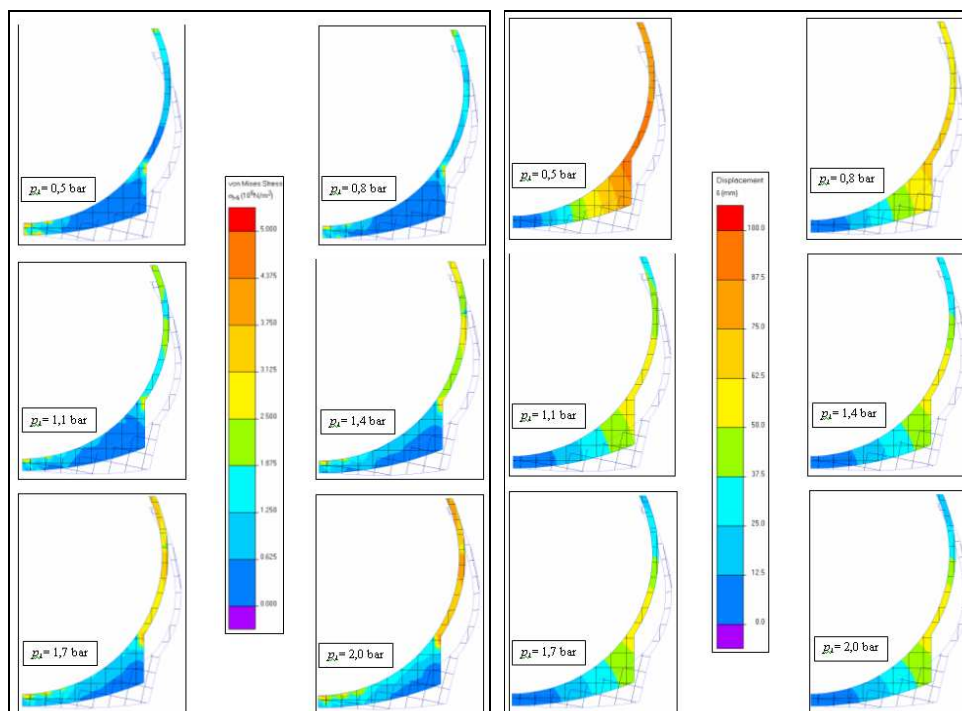
**Fig. 11 - Influence of tyre pressure on tyre deformation /
Influența presiunii din pneu asupra modului de deformare a pneului**

Figure 12 shows the distribution of equivalent stresses by Von Mises criterion in the tyre, in the contact patch with the rolling track. Also it is traced the tyre outline after the strain, due to the application of the external load. It is noticed that the highest values of equivalent stresses are found in the joint area of the lug with tyre cage.

În Figura 12 este prezentată distribuția tensiunilor echivalente conform criteriului Von Mises în pneu, în pata de contact cu calea de rulare. De asemenea, este trasat conturul pneului după deformația produsă la aplicarea unei sarcini exterioare. Se observă că valorile maxime ale tensiunilor echivalente se găsesc în zona îmbinării dintre nervuri și carcasa pneului.

Figure 13 shows the distribution of total displacement in the tyre for the same section. Highest displacements arise in the mean area of tyre carcass. Figure 14 shows the graphical variation of equivalent stresses on the outline and the graphical variation of total displacements on the outline of the analyzed axis-symmetric model.

Figura 13 prezintă distribuția deplasării totale pentru aceeași secțiune a pneului. Deplasările maxime apar în suprafața medie a carcasa pneului. În Figura 14 se prezintă variația grafică a tensiunilor echivalente pe contur și variația grafică a deplasărilor totale pe conturul modelului axi-simetric analizat.



**Fig. 12 - Distribution of equivalent stresses in the tyre /
Distribuția tensiunilor echivalente în pneu**

**Fig. 13 - Distribution of total displacements in the tyre /
Distribuția deplasărilor totale în pneu**

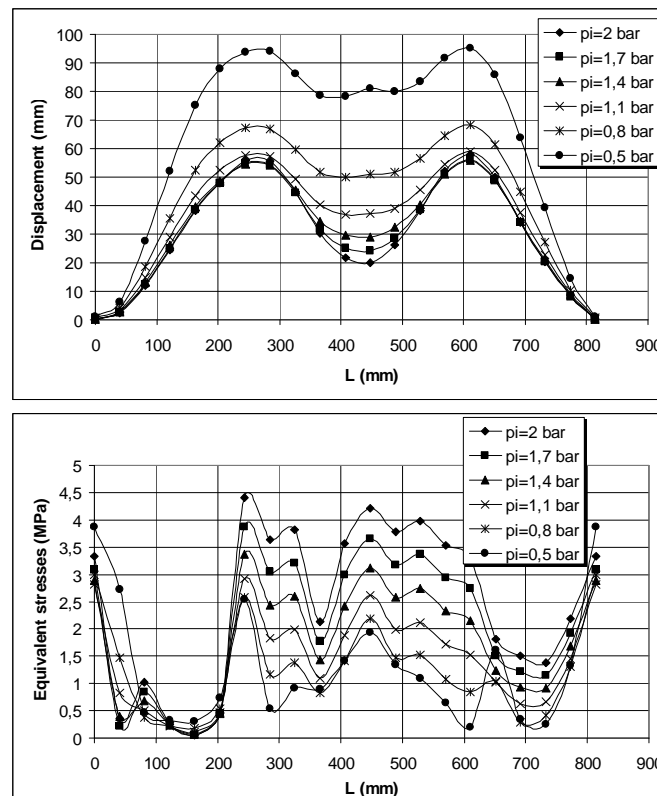


Fig. 14 - Graphical variation of equivalent stresses and total displacements for the analyzed plane outline, for various values of tyre inflation pressure /
 Variația grafică a tensiunilor echivalente și a deplasărilor totale pentru conturul analizat, pentru diferite presiuni ale aerului din pneu

CONCLUSIONS

The followings were concluded from the study:

- The Finite Element Method is the most advanced mathematical tool used for the complex study of the interaction between the rolling bodies of land vehicles and the rolling track.
- Highest difficulty was encountered in the modelling of nonlinear hyper-elastic behaviour of tyre material - rubber, which included the cord angles in each layer, respectively the analysis of stress and strain distribution.
- Tire air pressure has an important influence on the equivalent stress distribution in soil. Soil stresses increase at higher tire pressure.
- The present study allows to highlight some areas of the analyzed tyre in which stresses are higher, as well as the fact that the mean area of tyre carcass is subjected to the highest strains. This also leads to the highest danger of tire wear during depressurisation.

Acknowledgement

This work was supported by POSDRU based on POSDRU/89/1.5/S/62557 financing program.

REFERENCES

- [1]. Biris S.St., Maican E., Ungureanu N., Murad E., (2011) - *Study regarding the optimization of wheel tires for agricultural vehicles*, Proceedings of the 11th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, Istanbul, Turcia, 21-23 September, pg. 245-249;
- [2]. Burke A., Olatunbosun O.A. (1997) - *New techniques in tyre modal analysis using MSC/NASTRAN*. Int. J. Vehicle Design. Vol. 18(2), 203-212;

CONCLUZII

Din acest studiu au rezultat următoarele concluzii:

- Metoda Elementelor Finite reprezintă cel mai avansat instrument matematic utilizat pentru studiul complex al interacțiunii dintre organele de rulare ale vehiculelor agricole și calea de rulare.
- Cea mai mare dificultate a fost întâmpinată la modelarea comportamentului nelinier hiper-elastic al pneului din cauciuc, care conține fire textile în fiecare strat, respectiv analiza distribuției tensiunilor și a deformațiilor.
- Presiunea din pneu are o importanță deosebită asupra distribuției tensiunilor echivalente în sol. Tensiunile în sol cresc cu creșterea presiunii din pneu.
- Acest studiu evidențiază anumite zone ale pneului analizat, în care tensiunile sunt mai mari, precum și faptul că suprafața medie a carcasa pneului este supusă celor mai mari deformații. Astfel apare cel mai mare risc de uzură a pneului prin depresurizare.

Acknowledgement

Această lucrare este susținută prin POSDRU prin programul de finanțare POSDRU/89/1.5/S/62557.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Biris S.St., Maican E., Ungureanu N., Murad E., (2011) - *Studiu privind optimizarea optimizarea roților cu pneu pentru vehicule agricole*, Lucrările celui de-al 11-lea Congres Internațional de mecanizare și Energie în Agricultură, Istanbul, Turcia, 21-23 Septembrie, pp. 245-249;
- [2]. Burke A., Olatunbosun O.A. (1997) – *Tehnici noi în analiza modală a pneului utilizând MSC/NASTRAN*. Int. J. Vehicle Design. Vol. 18(2), 203-212;

[3]. Duni E., Monfrino G., Saponaro R., Caudano M., Urbinati F. (2003) - *Numerical simulation of full vehicle dynamic behaviour based on the interaction between ABAQUS / Standard and explicit codes*, ABAQUS User's Conference, 1-19;

[4]. Gill W.R., Vandenberg G.E. (1968) - *Soil Dynamics in Tillage and Traction*, U.S.A. Department of Agriculture, Handbook 316, USA, Washington D.C.;

[5]. Kading K. (2006) - *Multibody Dynamic Simulation of Off-Road Vehicles for Load Prediction, Stability, Safety, and Performance*, ASABE Meeting Presentation, Paper Number: 061181, Portland, Oregon, 9-12 July, 1-10;

[6]. Mohseninmanesh A., Ward S.M., Gilchrist M.D. (2008) - *Stress analysis of a multi-laminated tractor tyre using non-linear 3D finite element analysis*, Material and Design. 30 (2009), Elsevier, 1124-1132;

[7]. Mohseninmanesh A., Ward S.M. (2007) - *Tractor tyre-road and tyre-soil interactions model using ANSYS*, Biosystems Engineering Research Review, Univ. College Dublin, 33-137;

[8]. Munro R., MacCulloch F. (2008) - *Tire Pressure Control on Timber Haulage Vehicles*, Some observations on a trial in Highland, Scotland;

[9]. Wertz K., Grisso R., Von Bargen K. (1990) - *A Survey of Ag Tractor Ballasting and Tire Configurations – Part II*. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 6(5), 542-547;

[10]. Xia K. (2010) - *Finite element modelling of tire / terrain interaction: Application to predicting soil compaction and tire mobility*, Journal of Terramechanics, 1-11;

[11]. Zoz F. (2007) - *The Cause of Powerhop*. ASABE Meeting Presentation. Paper Number: 071110, Minnesota, 1-17;

[12]. *** (2008) - *Tire Pressure Monitoring and Inflation*. American Trucking Associations.

[3]. Duni E., Monfrino G., Saponaro R., Caudano M., Urbinati F. (2003) – *Simularea numerică a comportării dinamice a vehiculului pe baza utilizării interacțiunii dintre ABAQUS / Standard și a codurilor explicite*, Conferința Utilizatorilor ABAQUS, 1-19;

[4]. Gill W.R., Vandenberg G.E. (1968) – *Dinamica solului în prelucrare și tracțiune*. U.S.A. Departamentul de Agricultură, Manual 316, SUA, Washington D.C.;

[5]. Kading K. (2006) – *Simularea dinamică multiplă a vehiculelor de teren pentru predicția încărcării, Stabilitate, Siguranță și Performanță*, Prezentată la întâlnirea ASABE, Lucrarea nr.: 061181, Portland, Oregon, 9-12 Iulie, 1-10;

[6]. Mohseninmanesh A., Ward S.M., Gilchrist M.D. (2008) – *Analiza tensiunilor pentru un pneu multilaminat de tractor folosind elemente de analiză neliniară 3D*, Materiale și Design. 30 (2009), Elsevier, 1124-1132;

[7]. Mohseninmanesh A., Ward S.M. (2007) – *Model pneu-șosea și pneu-sol utilizând ANSYS*, Sinteza de cercetare în Ingineria Biosistemelor, Univ. Collegiu Dublin, 33-137;

[8]. Munro R., MacCulloch F. (2008) – *Reglarea presiunii din pneurile vehiculelor pentru transportul lemnului*, Unele observații asupra procesului în Highland, Scoția;

[9]. Wertz K., Grisso R., Von Bargen K. (1990) – *Studiul tractorului balastier și al configurației pneului – Partea II*. Inginerie Aplicată în Agricultură, Vol. 6(5), 542-547;

[10]. Xia K. (2010) – *Modelarea interacțiunii pneu / teren utilizând metoda elementelor finite: Aplicație pentru estimarea compactării solului și a mobilității pneului*. Journalul Teramecanicii, 1-11;

[11]. Zoz F., (2007) – *Cauzele cabrării*. Prezentată la întâlnirea ASABE, Lucrarea Nr.: 071110, Minnesota, 1-17;

[12]. *** (2008) – *Monitorizarea presiunii și umflării pneului*, Asociațiile Americane de Transport Mărfuri.