

## KINETIC-DYNAMIC ANALYSIS OF THE FARM TRACTOR & TWIN-AXLE TRAILER COMBINATION IN VARIOUS MECHANICAL STATES

### ANALIZA CINETICO-DINAMICĂ ASUPRA AGREGATULUI TRACTOR AGRICOL ȘI REMORCA CU DOUĂ AXE (BIAXĂ) ÎN DIFERITE STĂRI MECANICE.

Ionel Andrei <sup>1)</sup>, Ioan Căndea <sup>2)</sup>, Nicolae Bria <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> National Research - Development Institute for Machines and Installations designed to Agriculture and Food industry

<sup>2)</sup> Transilvania University of Brasov, 29 Eroilor Blv, 500036, Brasov, ROMANIA

**Abstract:** The purpose of this paper is to determine the system of forces and moments acting upon the combination consisting of a tractor and a twin-axle trailer, which is analyzed in various mechanical states, such as: tractor-trailer combination traveling on a horizontal road, at constant speed and in accelerated and decelerated regime; tractor-trailer combination traveling up and down an inclined plane, in accelerated and decelerated regime; tractor-trailer combination traveling on a horizontal and an inclined plane, with braking on rear wheels and braking on all the wheels, for the reduction of such forces and moments in the coupling device connecting the tractor with the trailer.

**Key words:** system of forces and moments, mechanical states, coupling device.

#### 1. INTRODUCTION

The twin-axle tractor-trailer combination is achieved by means of coupling devices, which should be in agreement with the D 89/173/EEC. For the experimental investigations of such combination, theoretical studies are needed to determine the forces and moments acting upon it. These depend on a multitude of aspects, such as: horizontal road; inclined road; smooth runway; uneven runway; traveling at constant speed; traveling in accelerated and decelerated regime; braking only on rear wheels; all-wheel braking (on rear and front wheels); straight-line traveling; traveling through a curve.

The tractor-trailer combination traveling conditions determine systems of forces and moments (systems of given or active forces and systems of connecting forces and moments, or reactions), which are reduced in the coupling device connecting the tractor with the trailer, thus resulting a dual system, made up of the resultant  $\vec{R}$  and the resultant moment  $\vec{M}_O$ , which determine the coupling device behavior in the following two respects: the kinematics aspect and the dynamic aspect; both of them should meet the conditions imposed by the EU norms as regards the degrees of mobility.

The coupling device should allow the following movements: oscillation in the horizontal plane as related to the symmetry axis of the tractor-trailer combination; pitching motion; rolling motion and if these motions take place simultaneously, then the adequate coupling device would be the spherical joint (Figure 1).

**Rezumat:** Lucrarea are scopul să stabilească sistemul de forțe și momente care acționează asupra agregatului format din tractor și remorcă cu două axe, care se analizează în diferite stări mecanice ale agregatului ca: agregat în deplasare pe drum orizontal în regim de viteză constantă și în regim accelerat și decelerat; agregat în regim de coborâre și urcare pe plan înclinat în regim accelerat și decelerat; agregat în deplasare pe plan orizontal și înclinat cu frânare pe roțile posterioare și frânare pe toate roțile, pentru reducerea acestor forțe și momente în cupla de legătură dintre tractor și remorcă.

**Cuvinte cheie:** sistem de forțe și momente, stări mecanice, cuplă.

#### 1. INTRODUCERE

Agregatul tractor-remorcă cu două axe se realizează prin cuple care trebuie să se încadreze în D 89/173/ CEE, iar pentru cercetările experimentale ale acestuia sunt necesare studii teoretice care să stabilească forțele și momentele ce acționează asupra agregatului. Acestea sunt determinate de o multitudine de aspecte ca: drum orizontal; drum înclinat; cale de rulare netedă; cale de rulare denivelată; deplasare cu viteză constantă; deplasare în regim accelerat și decelerat; frânare numai pe roțile posterioare; frânare integrală (pe roțile posterioare și pe roțile anterioare): deplasare în linie dreaptă; deplasare în curbă.

Condițiile în care se produce deplasarea agregatului determină sisteme de forțe și momente (sisteme de forțe date sau active și sisteme de forțe și momente de legătură sau reacțiuni) care se reduc în cupla de legătură dintre tractor și remorcă rezultând un sistem dual format din rezultanta  $\vec{R}$  și momentul resultant  $\vec{M}_O$  care determină comportarea cuplei din punctul de vedere a două aspecte: aspect cinematic; aspect dinamic, care ambele trebuie să corespundă condițiilor impuse de normele UE cu privire la gradele de mobilitate.

Cupla trebuie să permită următoarele mișcări: oscilație în plan orizontal în raport cu axa de simetrie a agregatului; mișcare de tangaj; mișcare de ruliu, iar dacă aceste mișcări ar avea loc simultan, atunci cupla de legătură adecvată este articulația sferică (fig.1).

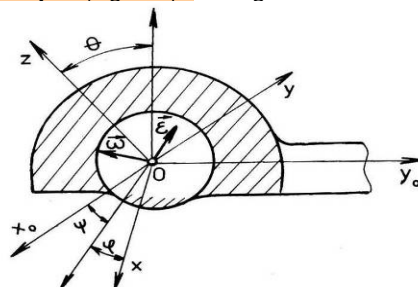


Fig. 1

**2. Tractor-trailer combination traveling at constant speed, on a level and on a slope road**

Figure 2 shows the system of forces and moments acting upon the tractor-trailer combination, when this is traveling on a level road (figure 2a) and on a slope (figure 2b).

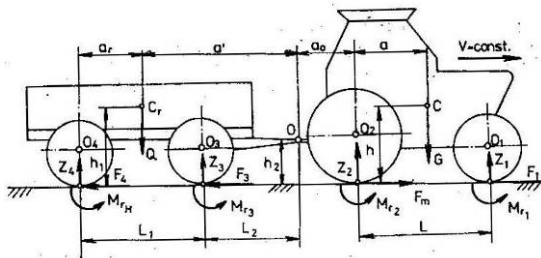


Fig. 2a

**2. Agregat tractor-remorcă în deplasare cu viteză constantă pe drum drept și în pantă**

În figura 2 se prezintă sistemul de forțe și momentele care acționează asupra agregatului la deplasarea pe drum drept (fig. 2.a) și la deplasarea pe pantă (fig. 2.b)

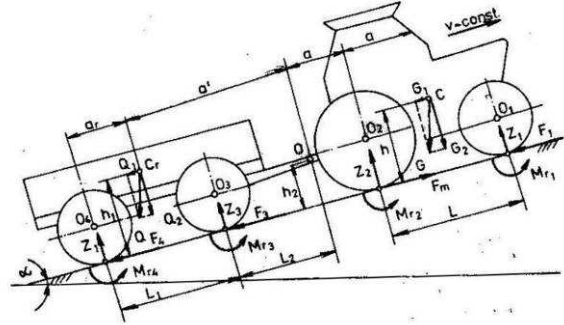


Fig. 2b

The system of forces and moments acting upon the tractor consists of the following elements:  $G$  – the tractor weight;  $G_1$  – the component of the tractor weight parallel to the inclined plane;  $G_2$  - the component of the tractor weight perpendicular to the inclined plane;  $Z_1, Z_2$  – the runway reaction forces (reactions) acting upon the tractor wheels;  $M_{r_1}, M_{r_2}$  – the rolling resistance moments (rolling friction moments) of the tractor wheels;  $F_a$  – the air resistance force;  $F_1, F_2$  – tangential reaction forces (reactions) acting upon the tractor;  $M_m$  – the driving torque transmitted to the drive wheels;  $F_m$  – the driving force developing in the process of interaction between the rolling systems and the ground, under the action of the driving torque  $M_m$ .

The system of forces and moments acting upon the trailer consists of the following elements:  $Q$  – the trailer weight;  $Q_1$  – the component of the trailer weight parallel to the inclined plane;  $Q_2$  - the component of the trailer weight perpendicular to the inclined plane;  $Z_3, Z_4$  – the runway reaction forces (reactions) acting upon the trailer wheels;  $M_{r_3}, M_{r_4}$  - the rolling resistance moments (rolling friction moments) of the trailer wheels;  $F_a^r$  - the air resistance force acting upon the trailer;  $F_3, F_4$  – the tangential reaction forces (reactions) acting upon the trailer wheels.

Asupra tractorului acționează sistemul de forțe și momente compus din următoarele elemente:  $G$ - greutatea tractorului;  $G_1$ - componenta greutății tractorului paralelă cu planul înclinat;  $G_2$ - componenta greutății tractorului perpendiculară pe planul înclinat;  $Z_1, Z_2$ - reacțiunile căii de rulare asupra roților tractorului;  $M_{r_1}, M_{r_2}$ ,- momentele de rezistență la rulare (momentele de frecare de rostogolire) ale roților tractorului;  $F_a$ - forța de rezistență a aerului;  $F_1, F_2$  – reacțiunile tangențiale asupra tractorului;  $M_m$  – momentul motor transmis roților motoare;  $F_m$  – forța motoare care se dezvoltă în procesul de interacțiune a sistemelor de rulare cu solul sub acțiunea momentului motor  $M_m$ .

Asupra remorcii acționează sistemul de forțe și momente compus din următoarele elemente:  $Q$ - greutatea remorcii;  $Q_1$ - componenta greutateii remorcii paralelă cu planul înclinat;  $Q_2$ - componenta greutateii remorcii perpendiculară pe planul înclinat;  $Z_3, Z_4$  – reacțiunile căii de rulare asupra roților remorcii;  $M_{r_3}, M_{r_4}$  - momentele de rezistență la rulare (momentele de frecare de rostogolire) ale roților remorcii;  $F_a^r$  - forța de rezistență a aerului asupra remorcii;  $F_3, F_4$  – reacțiunile tangențiale asupra roților remorcii.

**3. Tractor-trailer combination traveling on a level and a slope road, with braking on rear wheels**

Figure 3 shows the system of forces and moments acting upon the tractor-trailer combination, when this is traveling on a level road and up and down a slope, with braking on the rear wheels (Figure 3 a, b, c).

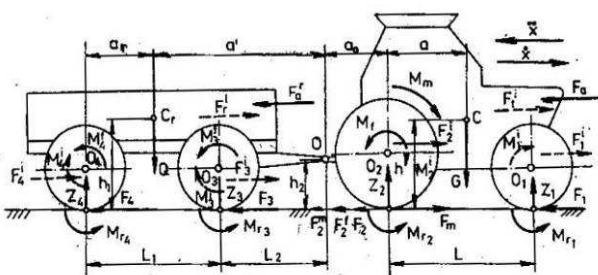


Fig. 3a

**3. Agregat tractor-remorcă în deplasare pe drum drept și în pantă cu frânare pe roțile posterioare**

În figura 3 se prezintă sistemul de forțe și momente care acționează asupra agregatului la deplasarea pe drum drept și în pantă la urcare și coborâre cu frânare pe roțile posterioare (fig. 3 a,b,c).

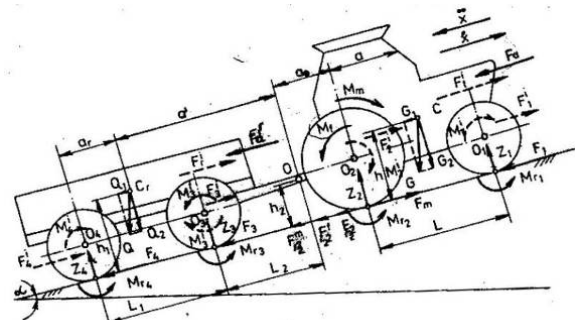


Fig. 3b

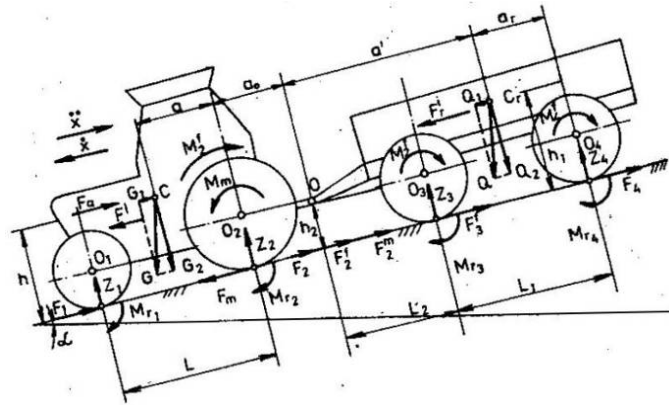


Fig. 3

As a rule, the forces and moments specified in paragraph 2 act upon the tractor-trailer combination. Besides these dynamic quantities, the following ones act, too:  $F_1^i, F_2^i$  and  $F_3^i, F_4^i$  - the inertia forces acting upon the tractor wheels and on the trailer wheels;  $M_1^i, M_2^i$  and  $M_3^i, M_4^i$  - the moments of the inertia forces acting upon the tractor wheels and the trailer wheels;  $M_f$  - the braking moment applied to the tractor rear wheels;  $M_3^f, M_4^f$  - the moments of the braking forces applied to the trailer wheels;  $F_t^i$  - the inertia force fictitiously applied to the tractor;  $F_r^i$  - the inertia force fictitiously applied to the trailer.

În general, asupra agregatului tractor-remorcă acționează forțele și momentele care s-au precizat în paragraful 2. Pe lângă aceste mărimi dinamice mai acționează următoarele:  $F_1^i, F_2^i$  și  $F_3^i, F_4^i$  - forțele de inerție care acționează asupra roților tractorului și asupra roților remorcii;  $M_1^i, M_2^i$  și  $M_3^i, M_4^i$  - momentele forțelor de inerție care acționează asupra roților tractorului și asupra roților remorcii;  $M_f$  - momentul de frânare care se aplică roților posterioare ale tractorului;  $M_3^f, M_4^f$  - momentele forțelor de frânare care se aplică roților remorcilor;  $F_t^i$  - forța de inerție fictiv aplicată asupra tractorului;  $F_r^i$  - forța de inerție fictiv aplicată asupra remorcii.

**4. Tractor-trailer combination traveling on a level and a slope road, with integral braking**

Figure 4 shows the system of forces and moments acting upon the tractor-trailer combination, when this is traveling on a level road and up and down a slope, with integral braking (Figure 4 a, b, c).

**4. Agregat tractor-remorcă în deplasare pe drum drept și în pantă cu frânare integrală**

În figura 4 se prezintă sistemul de forțe și momente care acționează asupra agregatului la deplasarea pe drum drept și în pantă la urcare și coborâre cu frânare integrală (fig. 4. a,b,c)

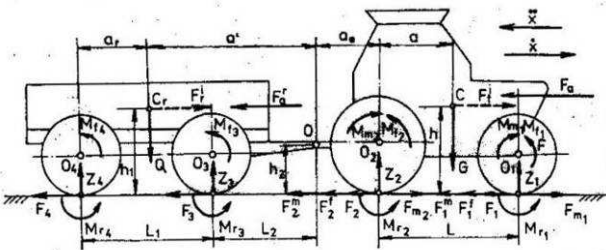


Fig. 4a

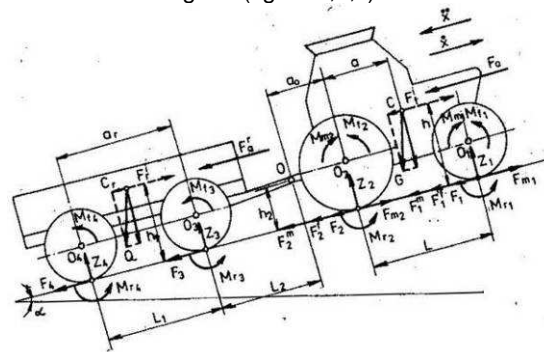


Fig. 4b

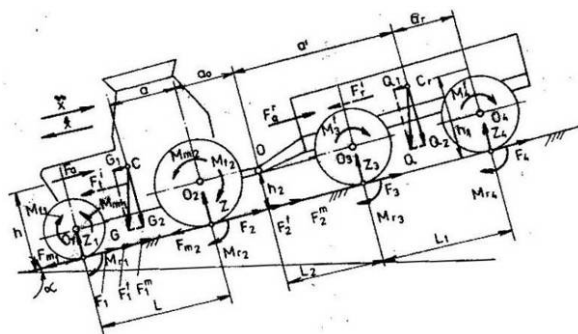


Fig. 4c

As a rule, the forces and moments specified in paragraphs 2 and 3 act upon the tractor-trailer combination. Besides these dynamic quantities, the following ones act, too:  $F_{m_1}, F_{m_2}$  - the driving forces developing in the process of interaction between the rolling system and the ground, under the action of the driving torques  $M_{m_1}, M_{m_2}$  referring to the front and rear drive wheels;  $M_{F_1}, M_{F_2}$  - the braking moments applied to the tractor front and rear wheels;  $M_{F_3}, M_{F_4}$  - the braking moments applied to the trailer wheels;  $F_1^f, F_2^f, F_3^f, F_4^f$  the braking forces on the wheels of the tractor and the trailer;  $F_1^m, F_2^m$  - the resistance force in the engine, reduced at the front and rear wheels, resulting only in case of braking without declutching.

## 5. CONCLUSIONS

The twin-axle tractor-trailer transport combination, in various versions, is frequently used for the transportation of a wide range of materials in solid, liquid and gaseous states or in bulk, generally characterized by various physical-mechanical properties.

The researches on the coupling device connecting the tractor and the twin-axle trailer, which should observe the EU norms, require thorough kinetic-dynamic analyses, in order to determine the systems of active forces and moments and reactions acting upon the twin-axle tractor-trailer combination.

The systems of forces and moments have been determined according to the mechanical states of the tractor-trailer combination, such as: traveling on a level road, an inclined road, at constant speed and in accelerated and decelerated movement.

The theoretical study demonstrates that, under the traveling conditions of the twin-axle tractor-trailer combination, the system of the active forces and the system of the reaction forces (reactions) come down to a mechanical entity made up of the resultants of the forces  $\vec{R}$  and  $\vec{R}'$  and the resultants of the moments  $\vec{M}_O$  and  $\vec{M}'_O$  ( $\vec{R}, \vec{M}_O$  - the torsor of the active forces and  $\vec{R}', \vec{M}'_O$  - the torsor of the reactions).

The kinetic-dynamic analysis demonstrates that a coupling device should be interposed between the tractor and the twin-axle trailer, to simultaneously allow three degrees of mobility ( $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ ) or, in particular, two degrees of mobility ( $\omega_x, \omega_y$ ), or one degree of mobility ( $\omega_x$ ).

The kinetic-dynamic study leads to the conclusion that, to meet the imposed kinematic conditions, a coupling device should be carried out by means of a cylindrical joint, a spherical joint, or a quasi-cylindrical-spherical joint, which, as a matter of fact, is the most practical one.

## 6. REFERENCES / BIBLIOGRAFIE

- [1]. Bodea, C. M. (2008): „Studii teoretice și experimentale asupra cuplelor dintre tractor și semiremorci”, teză de doctorat. (“Theoretical and Experimental Studies on Coupling Devices between Tractors and Semi-Trailers” – doctorate thesis).
- [2]. Cândea, I. et al. (1998, 2001, 2003): „Mecanică - statică, cinematică, dinamică”, („Mechanics – Static, Kinematic, Dynamic”), Editura didactică și pedagogică, Editura Transilvania, Brașov.
- [3]. Ciupercă, R. (2009): „Trenuri de rulare autodirecționale” („Self-Steering Running Gears”), Editura Terra Nostra.

În general, asupra agregatului tractor-remorcă acționează forțele și momentele care s-au precizat în paragraful 2 și 3. Pe lângă aceste mărimi dinamice mai acționează următoarele:  $F_{m_1}, F_{m_2}$  - forțele motoare care se dezvoltă în procesul de interacțiune a sistemului de rulare cu solul sub acțiunea momentelor motoare  $M_{m_1}, M_{m_2}$  cu referire la roțile motoare anterioare și posterioare;  $M_{F_1}, M_{F_2}$  - momentele de frânare care se aplică roților anterioare și posterioare ale tractorului;  $M_{F_3}, M_{F_4}$  - momentele de frânare care se aplică roților remorcii;  $F_1^f, F_2^f, F_3^f, F_4^f$  - forțele de frânare la roțile tractorului și remorcii;  $F_1^m, F_2^m$  - forța de rezistență din motor redusă la roțile anterioare și posterioare rezultate numai în cazul frânării fără debraiere.

## 5. CONCLUZII

Agregatul de transport tractor-remorcă cu două axe în diferite variante constructive este frecvent utilizat pentru transportul unei game variate de materiale aflate în stări solide, lichide, gazoase sau în vrac, în general caracterizate prin proprietăți fizico-mecanice diferite.

Cercetările asupra cuplei de legătură dintre tractor și remorcă cu două axe care trebuie să îndeplinească normele prevăzute de U.E presupun analize profunde din punct de vedere cinetico-dinamic, cu scopul de stabilirea sistemelor de forțe și momente active și reacțiuni care acționează asupra agregatului tractor-remorcă cu două axe.

Sistemele de forțe și momente s-au determinat în dependență cu stările mecanice în care se află agregatul ca deplasările pe drum drept, drum înclinat în mișcare de regim (viteză constantă) și în mișcare accelerată și decelerată.

Studiul teoretic demonstrează că în condițiile de deplasare a agregatului tractor-remorcă cu două axe, sistemul forțelor active și sistemul reacțiunilor se reduce la o entitate mecanică formată din rezultatele forțelor  $\vec{R}$  și  $\vec{R}'$  și rezultatele momentelor  $\vec{M}_O$  și  $\vec{M}'_O$  ( $\vec{R}, \vec{M}_O$  - torsorul forțelor active și  $\vec{R}', \vec{M}'_O$  - torsorul reacțiunilor).

Analiza cinetico-dinamică demonstrează că între tractor și remorcă cu două axe trebuie să fie intercalată o cuplă care să permită simultan trei grade de mobilitate ( $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ ) sau în particular, două grade de mobilitate ( $\omega_x, \omega_y$ ), un grad de mobilitate ( $\omega_x$ ).

Studiul cinetico-dinamic conduce la concluzia că o cuplă care să îndeplinească condițiile cinematice impuse trebuie să fie realizată printr-o articulație cilindrică, articulație sferică sau articulație cvasilindrosferică care, de fapt este cea mai practică.

- [4]. Năstăsoiu, S. et al. (1983): „Tractoare” (Tractors), Editura didactică și pedagogică, București;
- [5]. Nedelcu, A. (2008): „Sisteme de suspensie la remorcile agricole” (Suspension Systems at Farm Trailers), Editura Terra Nostra;
- [6]. Popa, L. (2008): „Sisteme de frânare la remorcile agricole” (Braking Systems at Farm Trailers), Editura Terra Nostra;
- [7]. Tecușan, N., Ionescu, F. (1995): „Tractoare și automobile” (Tractors and Automobiles), Editura Miron, Timișoara.