

ANALIZA STABILITĂȚII UTILAJULUI MULTIFUNCȚIONAL CU SISTEM DE DEPLASARE TIP SPIDER PENTRU LUCRĂRI ÎN TERENURI ACCIDENTATE

STABILITY ANALYSIS OF THE MULTIFUNCTIONAL CONSTRUCTION MACHINERY WITH SPIDER MOVEMENT SYSTEM DESIGNED FOR CIVIL WORKS IN ACCIDENTED LAND

Gigel Florin CĂPĂȚĂNĂ¹, Nicușor DRĂGAN²
Maria Aurora POTÎRNICHE³, George Lucian NICOLAE⁴

¹Universitatea “Dunărea de Jos” Galați, Facultatea de Inginerie și Agronomie din Brăila, România, Centrul de Cercetare Mecanica Mașinilor și Echipamentelor Tehnologice - MECMET
e-mail: gcapatana@ugal.ro

²Universitatea “Dunărea de Jos” Galați, Facultatea de Inginerie și Agronomie din Brăila, România, Centrul de Cercetare Mecanica Mașinilor și Echipamentelor Tehnologice - MECMET
e-mail: nicusor.dragan@ugal.ro

³Universitatea “Dunărea de Jos” Galați, Facultatea de Inginerie și Agronomie din Brăila, România, Centrul de Cercetare Mecanica Mașinilor și Echipamentelor Tehnologice - MECMET
e-mail: aurora.potirniche@ugal.ro

⁴Universitatea “Dunărea de Jos” Galați, Facultatea de Inginerie și Agronomie din Brăila, România
e-mail: nicolaegeorge91@yahoo.it

Rezumat: *Articolul prezintă analiza stabilității statice și dinamice a utilajului tehnologic multifuncțional cu sistem de deplasare tip SPIDER, cu echipament de săpare tip cupă întoarsă. Datorită sistemului de deplasare inovator dotat cu roți motoare acționate hidrostatic precum și a picioarelor dublu articulate care pot păși, utilajul poate fi utilizat în terenuri accidentate, precum și în terenuri cu pante de înclinare foarte mari.*

Cuvinte cheie: *stabilitate statică, stabilitate dinamică, sistem de deplasare SPIDER, terenuri accidentate*

Abstract: *The article presents the analysis of the static and dynamic stability of the multifunctional technological equipment with SPIDER movement system, with digging equipment. Thanks to the innovative movement system equipped with hydrostatically operated drive wheels as well as the double articulated legs that can step, the multifunctional machinery can be used in accidented terrain, as well as in lands with very high inclination ramps.*

Keywords: *static stability, dynamic stability, SPIDER movement system, heavy/accidented terrain*

1. INTRODUCERE

Mașinile și utilajele utilizate pentru diverse lucrări edilitare, de construcții, de săpare pamânturi sau pentru alte lucrări trebuie proiectate astfel încât poziția centrului de greutate pe cele trei axe să fie bine determinată în toate condițiile și pozițiile de lucru. De asemenea, stabilitatea statică și dinamică trebuie calculată încă din faza de proiectare și evaluată experimental în perioada de probe, modele funcționale și de preserie [1].

2. UTILAJ MULTIFUNCȚIONAL CU MECANISM DE DEPLASARE SPIDER ȘI ECHIPAMENT DE SĂPARE CU CUPĂ ÎNTOARSĂ - PREZENTARE GENERALĂ

În figura 1 este prezentat utilajul multifuncțional cu mecanism de deplasare SPIDER și echipament de săpare cu cupă întoarsă, cu abilități deosebite de deplasare și lucru în terenuri grele și accidentate, modelare 3D în Autocad Inventor 2019 [6].

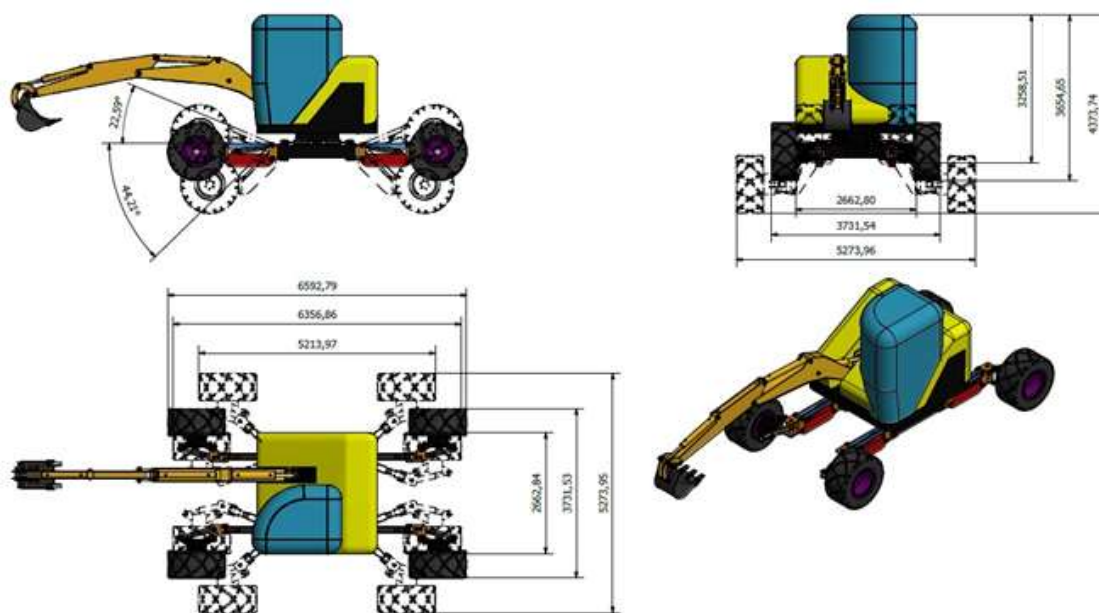


Fig. 1 Utilaj multifuncțional cu mecanism de deplasare SPIDER
(cu echipament de săpare cupă întoarsă)

Principalele caracteristici tehnice sunt:

- ▶ putere motor - $P=115$ kW;
- ▶ masă operațională - $m=11340$ kg;
- ▶ lungime - $L=2240$ mm;
- ▶ lățime - $l=1250$ mm;
- ▶ roți motoare - $N=4$;
- ▶ debit nominal pompe - $Q=340$ l/min.

În figura 2 este prezentată diagrama de săpare pentru echipamentul de tip excavator cu cupă întoarsă montat pe platforma cu sistem de deplasare de tip SPIDER.

Platforma este echipată cu un motor Deutz TCD 4.1 în 4 cilindri, cu o putere nominală de 115 kW (2300 rpm) și cuplul maxim de 610 Nm (1600 rpm). Consumul specific este de 208

Analiza stabilității utilajului multifuncțional cu sistem de deplasare tip Spider pentru lucrări în terenuri accidentate

g/kWh și masa totală a motorului este de 400 kg. Opțional, platforma poate fi echipată cu motor Deutz TCD 6.1 în 6 cilindri, cu puterea de 211 kW (la 2200 rpm) și cuplul maxim de 1000 Nm (1450 rpm), cu consumul specific de 198 g/kWh.

Figura 3 prezintă principalele caracteristici dimensionale ale celor două motoare Deutz care pot echipa platforma utilajului.

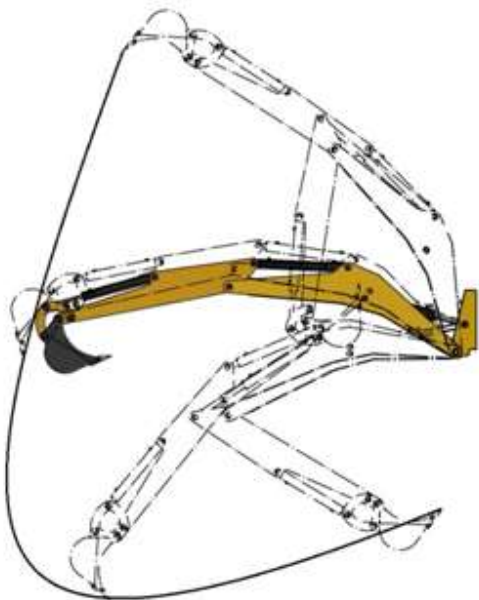


Fig. 2 Cinematica echipamentului de săpare cu pă întoarsă pentru utilajul SPIDER

Fiecare roată este echipată individual cu un motor hidraulic lent cu carcasă rotativă Black Bruin model B240 cu o cilindree de 630 cm³, cuplu maxim de 1000 Nm la o presiune de 100 bar, putere maximă de 35 kW și turație nominală 240 rpm. De asemenea, această soluție de antrenare are capacitatea de a modifica cilindreea la 315 cm³, astfel obținând o putere mai mică de 21 kW la 360 rpm.

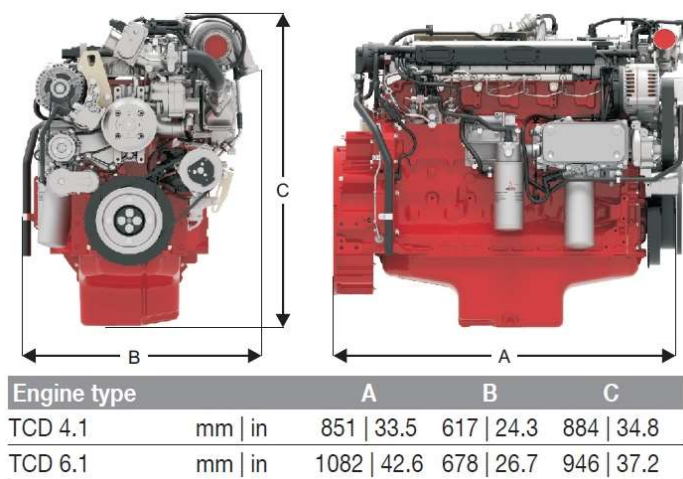


Fig. 3 Motoare Deutz utilizabile pe platforma SPIDER

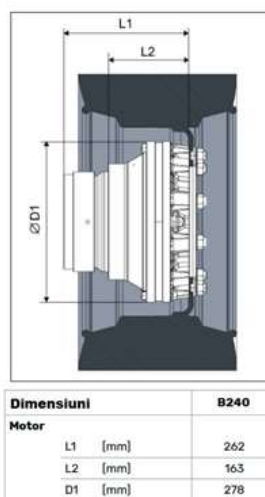


Fig. 4 Motor hidrostatic Black Bruin

Figura 4 prezintă principalele caracteristici dimensionale (gabarit, montaj) ale motorului hidrostatic.

3. ANALIZA STABILITĂȚII STATICE LONGITUDINALE A UTILAJULUI CU MECANISM DE DEPLASARE SPIDER

În figura 5 este prezentată schema principală de calcul a reacțiunilor statice ale utilajului pe plan orizontal, în poziția cu centrul de greutate la înălțimea minimă (ampatament aproape de maxim) și brațele strânse (ecartament minim).

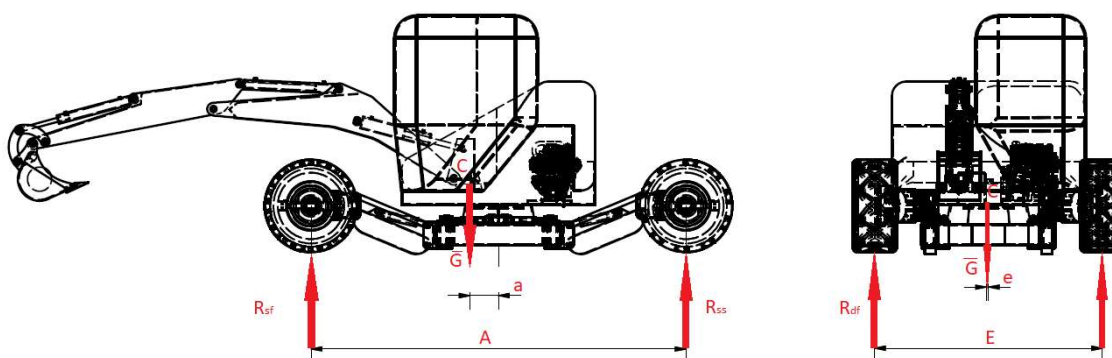


Fig. 5 Schema utilajului cu echipament cupă întoarsă - schema încărcărilor și reacțiunilor

Notațiile sunt după cum urmează:

- C - centrul de greutate;
- A - ampatament;
- E - ecartament;
- G - greutatea utilajului;
- R_{sf} - reacțiunea pe roata stânga față;
- R_{df} - reacțiunea pe roata dreapta față;
- R_{ss} - reacțiunea pe roata stânga spate;
- R_{ds} - reacțiunea pe roata dreapta spate.

Pentru analiza stabilității în plan vertical longitudinal se consideră schema de calcul din figura 6, cu următoarele ipoteze de calcul (configurația cea mai defavorabilă pentru stabilitatea longitudinală):

- centrul de greutate al utilajului la înălțimea maximă (ampatament A minim);
- brațul echipamentului de săpare extins la lungimea maximă;
- cupa încărcată cu sarcina maximă;
- roțile blocate (în regim dinamic se blochează brusc, astfel încât reacțiunile tangențiale T_{PF} și T_{PS} sunt maxime, decelerația și cuplul dinamic de răsturnare sunt maxime).

Caracteristici dimensionale și inerțiale:

- A = 4689 mm;
- a = 391 mm;
- h_G = 1767 mm;
- G = 111236 N.

Analiza stabilității utilajului multifuncțional cu sistem de deplasare tip Spider
pentru lucrări în terenuri accidentate

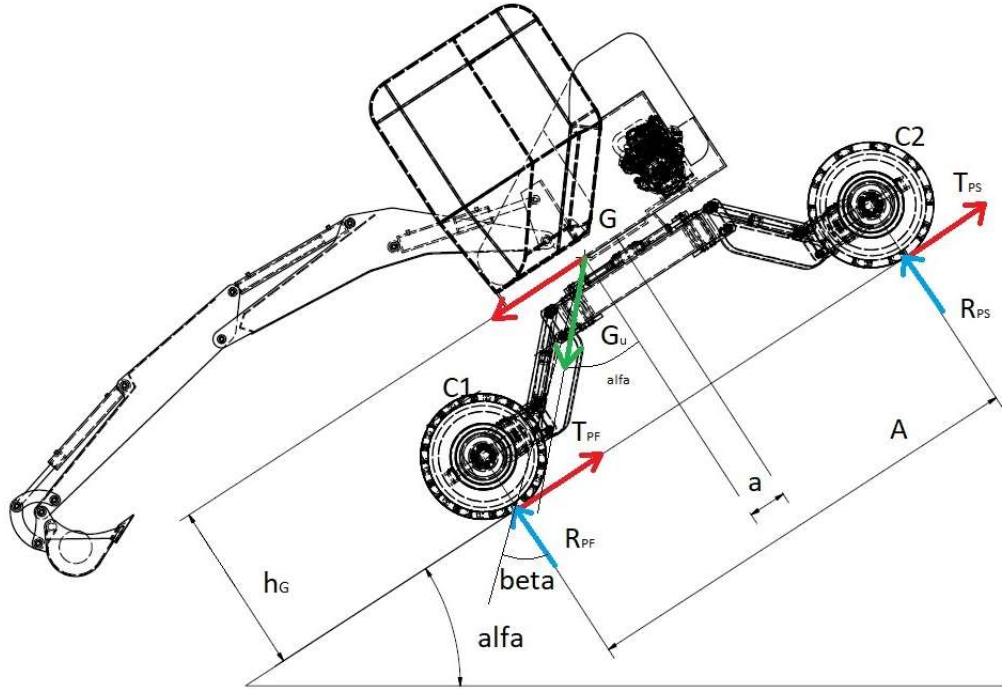


Fig. 6 Schema de calcul a echilibrului longitudinal al utilajului cu material în cupă pe plan înclinat

Ecuatiile de echilibru ale utilajului sunt:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_X = 0 : T_{PF} + T_{PS} - G_u \sin \alpha = 0 \\ \sum F_Y = 0 : R_{PF} + R_{PS} - G_u \cos \alpha = 0 \\ \sum M_A = 0 : R_{PS} \cdot A - G_u \cos \alpha \left(\frac{A}{2} - a \right) + G_u \sin \alpha \cdot h_G = 0 \\ \sum M_B = 0 : -R_{PF} \cdot A + G_u \cos \alpha \left(\frac{A}{2} + a \right) + G_u \sin \alpha \cdot h_G = 0 \\ T_{PF} \leq \mu \cdot R_{PF} \Rightarrow T_{PF} + T_{PS} \leq \mu \cdot (R_{PF} + R_{PS}) \\ T_{PS} \leq \mu \cdot R_{PS} \Rightarrow \end{array} \right. \quad (1)$$

Reacțiunile totale pe cele două punți sunt [2], [3]:

$$R_{PS} = \frac{G_u}{A} \left[\left(\frac{A}{2} - a \right) \cos \alpha - h_G \sin \alpha \right] \quad (2)$$

$$R_{PF} = \frac{G_u}{A} \left[\left(\frac{A}{2} + a \right) \cos \alpha + h_G \sin \alpha \right] \quad (3)$$

Condițiile de verificare:

$$\begin{array}{l} R_{PS} + R_{PF} = G_u \cos \alpha \\ T_{PF} + T_{PS} = G_u \sin \alpha \end{array} \quad (4)$$

Condiția ca utilajul să nu alunece pe planul înclinat:

$$G_u \sin \alpha \leq \mu G_u \cos \alpha \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha \leq \mu \quad (5)$$

Unghiul maxim al pantei pe care îl poate urca utilajul:

$$\alpha_{\max} = \operatorname{arctg}(\mu) \quad (6)$$

Condiția ca utilajul să nu se răstoarne (suportul greutatei să treacă printre punctele de reazem):

$$\begin{aligned} \beta > \alpha &\Rightarrow \operatorname{tg} \beta > \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow \frac{\frac{A}{2} - a}{h_G} > \operatorname{tg} \alpha \\ \alpha &< \operatorname{arctg} \frac{A - 2a}{2 \cdot h_G} \\ \alpha_{\max} &= \operatorname{arctg} \frac{A - 2a}{2 \cdot h_G} \end{aligned} \quad (7)$$

Calculul rezervei de stabilitate (în regim static) se face luând în considerare momentul de răsturnare (al componentei greutatei paralelă cu planul înclinat) și momentul de restabilire (al componentei greutatei perpendiculară pe planul înclinat):

$$M_{rast} = M_A(G_u \cdot \sin \alpha) = G_u \cdot \sin \alpha \cdot h_G \quad (8)$$

$$M_{rest} = M_A(G_u \cdot \cos \alpha) = G_u \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{A}{2} - a \right) \quad (9)$$

Rezerva de stabilitate statică a utilajului în plan longitudinal:

$$R_{stab} = 1 - \frac{M_{rast}}{M_{rest}} = 1 - \frac{G_u \cdot \sin \alpha \cdot h_G}{G_u \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{A}{2} - a \right)} = 1 - \frac{h_G}{\frac{A}{2} - a} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (10)$$

Pentru utilajul cu mecanism de deplasare SPIDER considerat și un coeficient de frecare de alunecare $\mu=0.65$ (echivalent tipului de pneuri cu cramioane, pentru terenuri grele), panta maximă (pentru care utilajul nu alunecă) este:

$$\alpha_{\max} = \operatorname{arctg}(0.65) = 33^\circ$$

Reacțiunile normale pe fiecare dintre cele două punți sunt:

$$\begin{aligned} R_{PS} &= \frac{111236}{4689,14} \left[\left(\frac{4689,14}{2} - 391,35 \right) \cdot 0,83670568 - 1767,43 \cdot 0,544639035 \right] = 16024[N] \\ R_{PF} &= \frac{111236}{4689,14} \left[\left(\frac{4689,14}{2} + 391,35 \right) \cdot 0,83670568 + 1767,43 \cdot 0,544639035 \right] = 77266[N] \end{aligned}$$

Analiza stabilității utilajului multifuncțional cu sistem de deplasare tip Spider
pentru lucrări în terenuri accidentate

Calculul rezervei de stabilitate (în regim static):

$$M_{rast} = 111236 \cdot 0,544639035 \cdot 1767,43 = 1070766436 \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$
$$M_{rest} = 111236 \cdot 0,544639035 \cdot \left(\frac{4689,14}{2} - 391,35 \right) = 118332404,6 \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$
$$R_{stab} = 0,09512$$

4. STABILITATEA DINAMICĂ LONGITUDINALĂ A UTILAJULUI CU MECANISM DE DEPLASARE SPIDER

Problemele de stabilitate longitudinală în regim dinamic pot apărea în două situații [4], [5]:

- La urcare când se accelerează cu a_u ;
- La coborâre când se decelerează cu a_c .

În ambele cazuri, pentru calculul momentului de răsturnare și a rezervei de stabilitate, la componenta greutatei paralelă cu planul înclinat se adaugă forța de inerție:

$$F_i = m \cdot a_u = \frac{G}{g} \cdot a_u \quad (11)$$

sau:

$$F_i = m \cdot a_c = \frac{G}{g} \cdot a_c \quad (12)$$

5. CONCLUZII

Din analiza stabilității statice a utilajului rezultă:

- unghiul maxim al pantei pe care se poate deplasa (în regim stabilizat) depinde de coeficientul de alunecare (aderență) a roților pe teren;
- stabilitatea la răsturnarea în plan vertical-longitudinal este critică pentru configurația în care centrul de greutate este la înălțimea maximă, cu atât mai mult cu cât, în această poziție, și ampatamentul este minim;
- momentul de răsturnare este maxim pentru cazul în care cupa este încărcată cu sarcina maximă iar distanța de la centrul de greutate al acesteia la axa verticală a platformei rotitoare este maximă (brațul echipamentului de săpare este întins la maximum);
- pentru exemplul de calcul considerat (în care elementele dimensionale și inerțiale au fost determinate din analiza cinematică efectuată în Autocad Inventor 2019), rezerva de stabilitate este de circa 9,51%.

Din analiza relațiilor de calcul (11) și (12) ale forțelor de inerție care apar la accelerarea/frânarea utilajului pe plan înclinat, rezultă că stabilitatea în regim dinamic (și deci și rezerva de stabilitate dinamică) depinde semnificativ de parametrul cinematic accelerație al mișcării.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Șt. Mihăilescu, P.P. Bratu, V. Goran, Șt.G. Aramă**, *Mașini de construcții vol. 1+2+3*, Editura Tehnică, București, 1984-1986
- [2] **M. Rădoi, E. Deciu**, *Mecanica*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
- [3] **G. Axinti, N. Drăgan**, *Mecanica teoretică. Elemente de mecanică analitică*, Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați, Facultatea de Inginerie din Brăila, 1994
- [4] **O. Bologa, N. Hauk**, *Mecanisme – teoria mecanismelor și dinamica mașinilor. Volumul 1. Teoria mecanismelor*, Editura Ceprohart, Brăila, 1999
- [5] **O. Bologa, N. Hauk**, *Mecanisme – teoria mecanismelor și dinamica mașinilor. Volumul 2. Dinamica mașinilor*, Editura Ceprohart, Brăila, 1999
- [6] <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor>