

---

# Posúdenie stability lesného kolesového traktora vybaveného hydraulickou rukou

---

## Ján Dižo, doc. Ing., PhD.\*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.  
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

## Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.  
E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

## Vadym Ishchuk, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.  
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

## Alyona Lovska, prof. Ing., Dr.Sc. Tech.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.  
E-mail: alona-lovska@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

## Filip Fidrik, Ing.

LKT s.r.o.,  
Oravická 1965/62, 028 01 Trstená.  
E-mail: fidrik@lkt

## Stability assessment of a wheeled forest tractor equipped with a hydraulic arm

**Abstract:** Wheeled forests tractors are inseparable part of a forest economy. Wheeled forests tractors serve for logging of logs in forests. Current wheeled forests tractors are usually equipped with hydraulic arms, which allow to expand the utility of such tractors. A tractor with a hydraulic arm can handle with wood logs without a need additional forest machine, which helps to reduce costs. On the other hand, it is necessary to analyse tractors abilities, which has such an additional equipment. This article is focused on assessment of stability of a wheeled forest tractor, which is equipped by such a hydraulic arm. As the hydraulic arm changes the centre of gravity of an entire tractor, mainly with the load, safe operation of the tractor needs to know limit conditions of stability under the maximal load and in the given slope inclination.

**Keywords:** stability, safety, wheeled forest tractor, hydraulic arm.

---

## ÚVOD

Technologický pokrok v oblasti techniky a strojárstva spôsobil výrazný nárast používania špeciálnych lesných traktorov (resp. vyvážačiek) na ťažbu dreva a dvorenie. V súčasnosti je dvorenie pomocou ťažobných traktorov najrozšírenejším spôsobom ťažby dreva v lesoch nielen v Európe, ale aj na celom svete. Technológie použité v týchto špeciálnych kolesových lesných traktoroch umožňujú ich použitie

v každom type terénu, ako aj v rôznych sklonoch svahov. Súčasnú potrebu zákazníkov si vyžadujú navrhnúť nový a kompaktnější model traktora, ktorý by bol schopný konkurovať iným produktom na európskom trhu.

Cieľom predkladaného článku je analýza stability traktora, ktorý bude slúžiť na ťažbu dreva v lese a ktorý je vybavený hydraulickou rukou. Analyzovaný traktor predstavuje najmenší model výrobcu traktorov

(obr. 1) a zároveň predstavuje drevorubačský traktor, ktorý patrí k najmenším traktorom v tomto odvetví na európskom trhu. Prezentované riešenie vzniklo z dôvodu potreby montáže hydraulického ramena na daný traktor ako neštandardnej výbavy.



Obr. 1. 3D model lesného kolesového traktora

Ťažbu dreva možno definovať ako preloženie guľatiny z miesta ťažby na miesto spracovania dreva alebo prepravy dreva. Pozemné pristavovanie sa najčastejšie používa pri svahoch do 40 %, ale niektoré lesné traktory sú schopné pracovať na svahoch až do 50 %.

## 1 VOĽBA HYDRAULICKEJ RUKY PRE TRAKTOR

Veľmi dôležitými konštrukčnými celkami riešenia traktora sú navijak a hydraulická ruka s drapákom. Hlavnou úlohou navijaka (obr. 2) je pristavovanie kmeňov z ťažko dostupných miest bližšie k traktoru. Dvojbubnový navijak voliteľne ovládaný pomocou diaľkového ovládača je namontovaný na zadnej časti rámu traktora a je súčasťou základného balenia traktora. Keď sú polená dostatočne blízko k traktoru, obsluha môže manipulovať s polenami pomocou hydraulického ramena (obr. 2). Táto hydraulická ruka bude namontovaná na podstavci, ktorý je umiestnený nad navijakom, pričom nesmie byť obmedzený pracovný priestor navijaka ako aj hydraulického ramena. Práve tento komponent je cieľom riešenej úlohy.

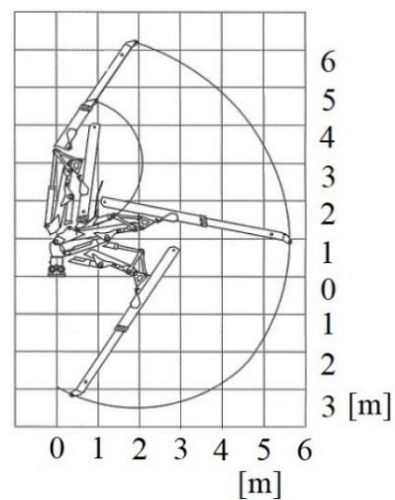
Hydraulické ramená lesných traktorov sú väčšinou umiestnené v zadnej časti rámu traktora. Takáto koncepcia umožňuje využiteľnosť traktorov najmä v ťažko dostupnom teréne a za zlých poveternostných podmienok. Vyriešený lesný traktor je určený na použitie pri prebierke a predčasnej ťažbe dreva a na jednoduchšie vysádzanie vyvrátených stromov a iných drevných drevín.

Hydraulická ruka je na traktore umiestnená pomocou prispôbeného podstavca, ktorý je umiestnený nad navijakom. Hydraulická ruka je na podstavci upevnená desiatimi skrutkami s valcovou hlavou a s vnútorným šesťhranom. Keďže hydraulická ruka je

neštandardnou výbavou traktora, je potrebné navrhnuť takú podstavcovú konštrukciu, ktorú je možné jednoducho a časovo nenáročne namontovať a demontovať.



Obr. 2. Zvolená hydraulická ruka pre kolesový traktor



Obr. 3. Pracovný rozsah zvolenej hydraulického ramena

Koncepcie ide o štvorkolesový kĺbový traktor s pohonom všetkých kolies. Riadiaci systém traktora obsahuje dva hydromotory a vertikálne čapy. Takýto systém zaisťuje veľmi dobrú manérovosť a schopnosť pracovať v ťažkých stúpaniach svahov. Traktor je poháňaný štvorvalcovým štvortaktným dieslovým motorom, ktorý je chladený kvapalinou a prepĺňaný turbodúchadlom. Motor spĺňa všetky platné limity z hľadiska emisných predpisov výfukových plynov pre zabezpečenie ekologickej prevádzky.

Výber hydraulického ramena vychádza z dvoch pojmov. Na jednej strane bolo vykonané kritériálne hodnotenie rôznych dostupných produktov a na druhej strane boli zohľadnené požiadavky výrobcu traktora. Obrázok 3 zobrazuje pracovný rozsah zvolenej hydraulického ramena.

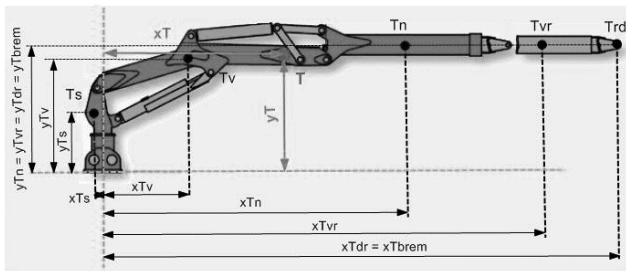
## 2 POSÚDENIE STABILITY TRAKTORA

Práce v neprístupných terénoch, v ktorých pracujú traktory, sú často ovplyvnené nebezpečnými situáciami pri premiestňovaní týchto strojov. Stabilita

stroja je limitujúcim ukazovateľom, ktorý obmedzuje použitie pracovného stroja v nebezpečných terénoch.

## 2.1 Výpočet ťažiska

Pre výpočet ťažiska hydraulického ramena, ktorá je vybavená drapákom a rotátorom bez záťaže, je potrebné poznať  $x$ -ové a  $y$ -ové súradnice ťažísk všetkých komponentov, z ktorých sa hydromanipulátor skladá. Na obr. 4 sú znázornené súradnice týchto komponentov. Modrou farbou je znázornená poloha ťažiska hydraulického ramena s jej súradnicami voči súradnicovému systému, ktorý je znázornený žltou osou  $x$  a  $y$ . Všetky hodnoty týchto súradníc sú uvedené v tab. 1.



Obr. 4. Súradnice pre jednotlivé komponenty zvolenej hydraulického ramena

Tab. 1. Súradnice jednotlivých komponentov zvolenej hydraulického ramena – číselné hodnoty

Ťažisko	súradnica $x$	Hodnota [mm]	súradnica $y$	Hodnota [mm]
$T_s$	$x_{Tv}$	30,5	$y_{Tv}$	460
$T_v$	$x_{Tv}$	1190	$y_{Tv}$	1161,5
$T_n$	$x_{Tn}$	3430	$y_{Tn}$	1400
$T_{vr}$	$x_{Tvr}$	5020	$útvár$	1400
$T_{dr}$	$x_{Tdr}$	5620	$y_{Tdr}$	1400

Pre výpočet súradnice ťažiska  $x_T$  v smere  $x$  hydraulického ramena je potrebné dosadiť hodnoty do vzorca (11):

$$x_T = \frac{x_{Ts} \cdot m_s + x_{Tv} \cdot m_v + x_{Tn} \cdot m_n}{m_r} + \frac{x_{Tvr} \cdot m_{vr} + x_{Tdr} \cdot m_{dr}}{m_r} \quad (1)$$

kde  $x_{Ti}$  [mm] sú súradnice ťažísk jednotlivých komponentov v smere  $x$ ,

$m_i$  [kg] sú hmotnosti jednotlivých komponentov,

$x_T$  [mm] je hodnota súradnice ťažiska hydraulického ramena v smere  $x$ .

Pre výpočet súradnice ťažiska  $y_T$  v smere  $y$  hydraulického ramena je potrebné dosadiť hodnoty do vzorca (12):

$$y_T = \frac{y_{Ts} \cdot m_s + y_{Tv} \cdot m_v + y_{Tn} \cdot m_n}{m_r} + \frac{y_{Tvr} \cdot m_{vr} + y_{Tdr} \cdot m_{dr}}{m_r} \quad (2)$$

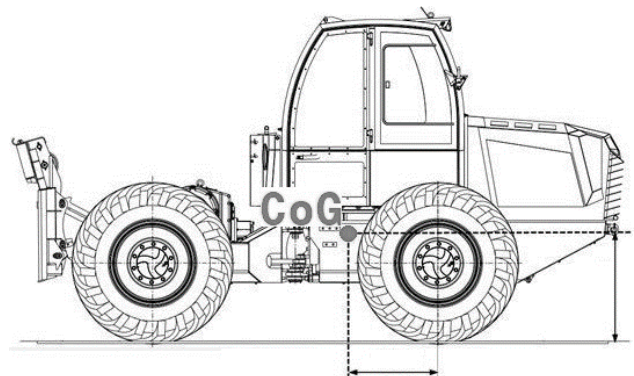
kde  $y_{Ti}$  [mm] sú súradnice ťažísk v smere  $y$  jednotlivých komponentov,

$m_i$  [kg] sú hmotnosti jednotlivých komponentov,

$y_T$  [mm] je hodnota súradnice ťažiska hydraulického ramena v smere  $y$ .

## 2.2 Výpočet stability

Výpočet stability traktora závisí od vzájomnej polohy sklonu svahu a traktora. Tieto polohy sú v nasledujúcich kapitolách analyzované aj s podrobnými výpočtami maximálnych uhlov sklonu. Pre výpočet jednotlivých polôh stability je potrebné poznať polohu ťažiska hydraulického ramena, polohu ťažiska bremena, ktoré sa nachádza na konci vystretého ramena, polohu ťažiska hydraulického ramena, ťažiska navrhnutého podstavca a polohy ťažiska traktora (obr. 5). Pri riešení jednotlivých polôh stability je potrebné poznať jednotlivé zaťaženia uvedené v tab. 2.



Obr. 5. Poloha ťažiska traktora

Tab. 2. Hodnoty zaťaženia pre analýzu stability

	Hmotnosť [kg]	Zaťaženie [N]
<b>Traktor</b>	$m_T = 5500$	$G_T = 53955$
<b>Hydraulické rameno</b>	$m_R = 940$	$G_R = 9221$
<b>Základ. platňa</b>	$m_P = 330$	$G_P = 3238$
<b>Bremeno</b>	$m_B = 850$	$G_B = 8340$
<b>Celkovo</b>	$m_{tot} = 7620$	$G_{tot} = 15110$

Pri riešení stability je potrebné vedieť, že používanie hydraulického ramena počas jazdy traktora je prísne zakázané. Manipulácia s hydraulickým manipulátorom je povolená len pri stojacom traktore. Pri riešení jednotlivých stabilitných polôh sa uvažuje, že traktor nie je ohnutý, t. j. traktor je v rovnej polohe.

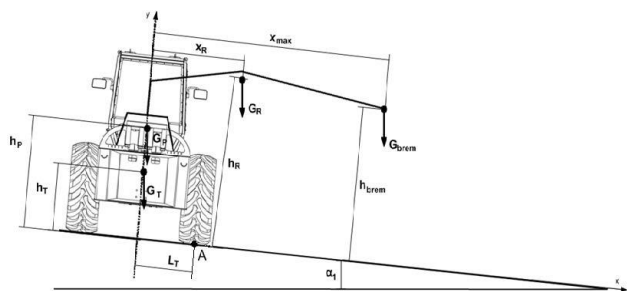
### 2.3 Poloha traktora rovnobežná s obrysom a poloha hydraulické ruky dole svahom

Táto poloha (pozícia č. 1) nastáva pri práci v lese, kedy je traktor umiestnený priečne na svahu svahu a hydraulická ruka smeruje dolu svahom, s maximálnym možným zaťažením daným výrobcom. Táto situácia je znázornená na obr. 6.

Riešenie stability sa vykonáva cez momentovú rovnicu do bodu A, pričom sa skúma maximálny uhol  $\alpha_1$ , ktorý udáva medzný stav, kedy sa traktor s naloženou hydraulickou rukou neprevráti. Pre riešenie je potrebné poznať vzdialenosti ťažísk od podložky a osi traktora, ktoré sú vypočítané v tab. 3. Hoci je používanie hydromanipulátora počas jazdy zakázané, pri prípadnom rozbehu dochádza k zrýchleniu  $a_{max} = 1,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , čo spôsobuje dynamický efekt. V tejto polohe však toto zrýchlenie neovplyvňuje dosiahnuté výsledky.

Tab. 3. Hodnoty vzdialeností ťažiska od povrchu a nápravy traktora

Parameter	Hodnota [m]
$x_{max}$	5,620
$x_R$	2,652
$L_T$	1,250
$h_T$	1,050
$h_P$	1,340
$h_R$	2,490
$h_B$	2,270



Obr. 6. Stabilita - pozícia č. 1

$$\begin{aligned}
 & -G_T \cdot \cos \alpha_1 \cdot L_T + G_T \cdot \sin \alpha_1 \cdot h_T - G_P \cdot \cos \alpha_1 \cdot L_T + \\
 & G_T \cdot \sin \alpha_1 \cdot h_P + G_R \cdot \cos \alpha_1 \cdot (x_R - L_T) + \\
 & + G_R \cdot \sin \alpha_1 \cdot h_R + G_B \cdot \cos \alpha_1 \cdot (x_{max} - L_T) + \\
 & + G_B \cdot \sin \alpha_1 \cdot h_B = 0 \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \cos \alpha_1 \cdot [-G_T \cdot L_T - G_P \cdot L_T + G_R \cdot (x_R - L_T) + \\
 & + G_B \cdot (x_{max} - L_T)] + \sin \alpha_1 \cdot [G_T \cdot h_T + G_P \cdot h_P + \\
 & + G_R \cdot h_R + G_B \cdot h_B] = 0 \quad (4)
 \end{aligned}$$

Po zadání daných hodnôt platí:

$$-22131 \cdot \cos \alpha_1 + 102887 \cdot \sin \alpha_1 = 0$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{22131}{102887} \Rightarrow \alpha_1 = 12.15^\circ \quad (5)$$

kde  $\alpha_1$  [°] je medzný uhol,

$G_x$  [N] sú jednotlivé zaťaženia,

$h_x$  [m] sú kolmé vzdialenosti ťažísk od základne,

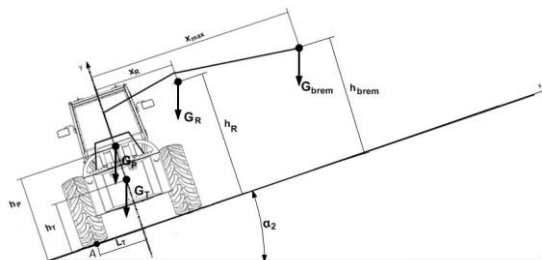
$L_T$  [m] je polovica dĺžky šírky traktora.

Výsledný medzný uhol dosiahol hodnotu  $\alpha_1 = 12,15^\circ$ , pri práci traktora vo väčšom sklone môže dôjsť k prevráteniu traktora.

### 2.4 Poloha traktora rovnobežná s obrysom a poloha hydraulické ruky na svahu do svahu

Táto poloha (pozícia č. 2) nastáva pri práci v lese, kedy je traktor umiestnený priečne na svahu a hydraulická ruka smeruje do svahu, s maximálnym možným zaťažením daným výrobcom. Táto situácia je znázornená na obr.

Riešenie stability sa vykonáva cez momentovú rovnicu do bodu A, pričom sa skúma maximálny uhol  $\alpha_2$ , ktorý udáva medzný stav, kedy sa traktor s naloženou hydraulickou rukou neprevráti. Používanie samotného hydromanipulátora je počas jazdy zakázané, pri prípadnom rozbehu však dochádza k zrýchleniu  $a_{max} = 1,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , čo spôsobuje dynamický efekt. Toto zrýchlenie nemá vplyv na výpočet stability v polohe č. 2.



Obr. 7. Stabilita - pozícia č. 2

$$\begin{aligned}
 & G_T \cdot \cos \alpha_2 \cdot L_T - G_T \cdot \sin \alpha_2 \cdot h_T + \\
 & + G_P \cdot \cos \alpha_2 \cdot L_T - G_P \cdot \sin \alpha_2 \cdot h_P + \\
 & + G_R \cdot \cos \alpha_2 \cdot (x_R + L_T) + G_R \cdot \sin \alpha_2 \cdot h_R + \\
 & + G_B \cdot \cos \alpha_2 \cdot (x_{max} + L_T) - G_B \cdot \sin \alpha_2 \cdot h_B = 0 \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \cos \alpha_2 \cdot [G_T \cdot L_T + G_P \cdot L_T + G_R \cdot (x_R + L_T) + \\
 & + G_B \cdot (x_{max} + L_T)] + \sin \alpha_2 \cdot [-G_T \cdot h_T - G_P \cdot h_P - \\
 & - G_R \cdot h_R - G_B \cdot h_B] = 0 \quad (7)
 \end{aligned}$$

Po zadání daných hodnôt platí:

$$136850 \cdot \cos \alpha_2 - 102887 \cdot \sin \alpha_2 = 0$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{136850}{102887} \Rightarrow \alpha_2 = 53.11^\circ \quad (8)$$

kde  $\alpha_2$  [°] je medzný uhol.

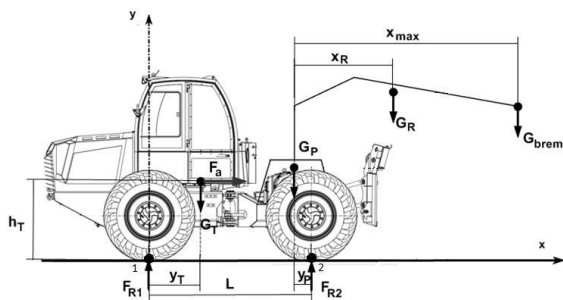


Výsledný medzný uhol dosiahol hodnotu  $\alpha_2 = 53,11^\circ$ , pri práci traktora vo väčšom sklone môže dôjsť k prevráteniu traktora.

## 2.5 Výpočet nápravových zaťažení

Pri riešení zaťaženia jednotlivých náprav traktora je stroj umiestnený na rovine, pričom hydraulická ruka je maximálne vysunutá a s maximálnym možným zaťažením. Vertikálne sily pôsobiace na jednotlivé nápravy nesmú presiahnuť maximálne prípustné statické zaťaženie nápravy určené výrobcom. Pre nápravy používané na traktore platí toto:

- maximálne statické zaťaženie prednej nápravy  $F_{PN} = 125 \text{ kN}$ ,
- maximálne statické zaťaženie zadnej nápravy  $F_{ZN} = 125 \text{ kN}$ .



Obr. 8. Zaťaženia jednotlivých náprav traktora na rovine

Reakcia  $F_{R1}$  pôsobí na prednú nápravu a reakcia  $F_{R2}$  na zadnú nápravu. Tento stav je znázornený na obr. 8. Používanie hydromanipulátora je počas jazdy zakázané, pri prípadnom rozbehu však môže dôjsť k zrýchleniu  $a_{max} = 1,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , čo spôsobí dynamický efekt. Toto zrýchlenie spôsobuje zotrvačnú silu  $F_a$ , ktorá je znázornená na obr. 8 sivou farbou a je orientovaná v opačnom smere ako pôsobiace zrýchlenie.

Zaťaženie zadnej nápravy dané reakciou  $F_{R2}$  je dané momentovou rovnicou k bodu 1:

$$G_T \cdot y_T + G_P \cdot (L - y_P) - F_{R2} \cdot L_T + G_R \cdot (L + x_R - y_P) + G_B \cdot (x_{max} + L_T - y_P) + m_{total} \cdot a_{max} \cdot h_T = 0 \quad (9)$$

$$F_{R2} = \frac{G_T \cdot y_T + G_P \cdot (L - y_P)}{L} + \frac{G_R \cdot (L + x_R - y_P) + G_B \cdot (L + x_{max} - y_P)}{L} + \frac{m_{total} \cdot a_{max} \cdot h_T}{L} \quad (10)$$

Po zadaní daných hodnôt platí:

$$F_{R2} = \frac{181225}{2.5} \doteq 72490 \text{ N} \quad (11)$$

Zaťaženie prednej nápravy dané reakciou  $F_{R1}$  je dané momentovou rovnicou k bodu 2:

$$-G_T \cdot (L - y_T) + F_{R1} \cdot L - G_P \cdot y_P + G_R \cdot (-y_T + x_R) + G_B \cdot (x_{max} - y_P) + m_{total} \cdot a_{max} \cdot h_T = 0, \quad (12)$$

$$F_{R1} = \frac{G_T \cdot (L - y_T) + G_P \cdot y_P - G_R \cdot (x_R - y_P)}{L} + \frac{-G_B \cdot (x_{max} - y_P) + m_{total} \cdot a_{max} \cdot h_T}{L} \quad (13)$$

Po zadaní daných hodnôt dostaneme:

$$F_{R1} = \frac{25660}{2.5} \doteq 10264 \text{ N} \quad (14)$$

Hodnota vertikálnej sily na prednej náprave je  $F_{R1} = 102648 \text{ N}$ , čo spĺňa podmienku stanovenú výrobcom ( $F_{PN} = 125 \text{ kN}$ ). Hodnota zvislej sily na zadnú nápravu je  $F_{R2} = 72490 \text{ N}$ , čo zároveň spĺňa podmienku stanovenú výrobcom ( $F_{ZN} = 125 \text{ kN}$ ).

## ZÁVER

Cieľom tohto príspevku bolo analyzovať podmienky stability lesného traktora. Analýzy vychádzajú z určenia polohy ťažiska. Následne boli analyzované dve polohy traktora na svahu. Výpočty ukázali, že traktor má lepšiu stabilitu pre polohu č. 2. Táto skutočnosť je daná tým, že v polohe č. 1 dochádza k väčšiemu momentu prepravovaných kmeňov dreva, ktoré prevrátia traktor. V polohe č. 2 vedú drevené polená k momentu stability. Nakoniec sa vypočítalo zaťaženie oboch náprav. Analýza ukázala, že zadná náprava je viac zaťažená ako predná. Je to spôsobené tým, že drevná guľatina sa prepravuje v zadnej časti traktora. Preto je zaťaženie zadnej nápravy väčšie.

## Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektu KEGA 031ŽU-4/2023: „Rozvoj kľúčových kompetencií absolventa študijného programu Vozidlá a motory.“

## LITERATÚRA

- [1] FIDRIK, F. (2019): *Návrh podstavca pre uchytanie hydraulického manipulátora na zadnom ráme základného lesného stroja LKT 60*. Diplomová práca, ev. č. 28230920182005, Žilinská univerzita v Žiline.
- [2] KAŠPÁREK, J. - ŠKOPÁN, M. - SEDLÁČEK, M. (2018): *Proceedings of the 22nd International Scientific on Conference "Transport Means"*, Trsalis-Trakai, Lithuania, pp. 537-541.
- [3] KAŠPÁREK, J. - ŠKOPÁN, M. - JONÁK, M. - POKORNÝ, P. (2016): *Proceedings of the 20th International Scientific on Conference "Transport Means"*, Juodkrante, Lithuania, pp. 751-755.