

METODIKA MERANIA VALIVÝCH ODPOROV PNEUMATÍK V PÔDNOM SKÚŠOBNOM KANÁLE

Michal Berák¹, Milan Helexa²

¹Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Katedra environmentálnej a lesníckej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene, T.G.Masaryka 24, 960 01, Zvolen, Slovenská republika, e-mail:
xberak@is.tuzvo.sk

²Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Katedra environmentálnej a lesníckej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene, T.G.Masaryka 24, 960 01, Zvolen, Slovenská republika, e-mail:
milan.helexa@tuzvo.sk

METHODICS OF MEASUREMENT OF THE TYRES ROLLING RESISTANCE IN THE SOIL BIN

Abstract: *The article tackles the problems of mobile working machines tyres rolling resistance. According to the cause of its origin, it is classified into external and internal rolling resistance. Further, the causes of origin of the tyre resistance internal component are dealt with in the article. An impact of individual parameters of the tyre construction on the magnitude of the external rolling resistance is systematically described and possible methods of its elimination are outlined. The article also describes in raw features the construction solution of the device and delineates the basic methodology of setting the most important technical specifications of the device. The end of the article is focused on description of the basic disadvantages of the stated research methodology of the tyre interaction with soil and indicates its possible future development.*

Key words: *rolling resistance, tyre, testing soil bin, drawbar pull*

ÚVOD

Doposiaľ sme sa zaoberali výskumom a meraním valivých odporov pneumatík v pôdnom skúšobnom kanále na pevnom povrchu. Samotný pôdny kanál ako aj čiastkové získané výsledky merania valivých odporov boli prezentované aj v rámci tejto predmetnej konferencie v minulých ročníkoch, napr. (Helexa et al, 2018). Tieto merania berieme ako vstupné a nevyhnutné údaje pre analýzu valivých odporov na pôdnych povrchoch v ktorých by sme následne chceli pokračovať. Bez znalosti hodnôt valivých odporov na pevnom nepoddajnom povrchu to však nie je možné (Grečenko, 1978). V súčasnosti riešime stavbu samotného telesa (nádoby) kanála v ktorej by sme radi otestovali niekoľko zemitých a piesčitých materiálov pri rôznych hodnotách ich vlhkosti. V závislosti na tlaku hustenia testovanej pneumatiky je možné za určitých podmienok dosiahnuť určité optimálne hodnoty valivých odporov. Valivý odpor tvorí hlavnú zložku stratových odporov mobilných energetických prostriedkov a spolu s preklzom hnacích kolies sa výrazne podieľa na ich

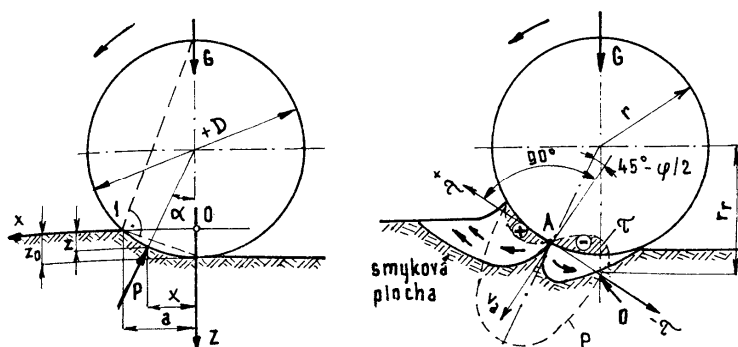
energetických stratách (Semetko et al, 1981). Preto jeho poznanie a optimálne nastavenie v závislosti od terénnych a pôdnych podmienok možno považovať za dôležité.

VALIVÉ ODPORY

Valivý odpor pneumatiky valiacej sa po pružnom podklade (pôde) tvorí zložka vnútorná F_{ri} a zložka vonkajšia F_{re} . Vnútorný odpor valenia vzniká v dôsledku hysterézných strát pri deformácii pneumatiky v stykovej ploche. Vonkajší odpor valenia pneumatiky je spôsobený vytváraním trvalej stopy. Súčasný experimentálny výskum potvrdzuje, že pri odvaľovaní kolesa po zemine sa v nej vytvárajú dve odlišné oblasti, a to:

- predná plastická, v ktorej je zemina hrnutá pred kolesom,
- spodná elastická, v ktorej je zemina posúvaná oblúkom dozadu.

Tieto oblasti vychádzajú zo spoločného bodu na obvodě kolesa, v ktorom vektor absolútnej rýchlosti v_a pohybu častíc zeminy zvierá s polomerom kolesa uhol $45^\circ - \varphi/2$ (obr.1). To je v súlade s Mohrovou teóriou medzných napätí pre zeminy, podľa ktorej šmykové roviny zvierajú so smerom väčšieho hlavného napätia uhol $45^\circ - \varphi/2$ (Bretšnajdr, 1984). Kde φ uhol vnútorného trenia zeminy.



Obr. 1 Schéma pôsobenia pneumatiky na zemine

Vzťah pre výpočet valivého odporu je možné najjednoduchšie vyjadriť na príklade valenia tuhého kolesa po mäkkej pôde. V tomto prípade celkový valivý odpor je tvorený len zložkou vonkajšou. Pre jeho výpočet podľa obrázka 1 viacerí autori uvádzajú vzťah

$$F_{re} = \frac{1}{n+1} \cdot \left(\frac{3}{3-n} \right)^{\frac{2n+2}{2n+1}} \cdot \sqrt[2n+1]{\frac{G^{2n+2}}{k \cdot b \cdot D^{n+1}}} \quad [N] \quad (1)$$

kde: D – priemer kolesa, [m]

G – zaťaženie kolesa, [N]

b – šírka kolesa, [m]

k – súčiniteľ stlačenia pôdy, $[N \cdot m^{-(n+2)}]$

n – exponent závislý na stupni plasticity, [-]

Postup výpočtu valivých odporov pri pneumatikových kolesách je podobný. Tu je však nutné uvažovať nielen vonkajšiu zložku valivého odporu F_{re} , ale aj vnútornú zložku valivého odporu F_{ri} . Pri riešení valivých odporov pneumatiky je dôležitou otázkou zistenie závislosti stredného kontaktného tlaku q_s na hustení pneumatiky. Prevažnú časť zaťaženia, pôsobiacu na koleso, prenáša stlačený vzduch, zostávajúcu prenáša kostra pláštá. Túto skutočnosť môžeme vyjadriť vzťahom

$$q_s = a_1 \cdot p + p_k \quad [Pa] \quad (2)$$

kde: a_1 – súčiniteľ závislý na tuhosti kostry pláštá a na zaťažení kolesa, [-]

p – tlak hustenia pneumatiky, [Pa]

p_k – tlak prenášaný na zeminu tuhosťou kostry, [Pa]

Veľkosť vonkajšej zložky valivého odporu pneumatiky môžeme vzhľadom na vzťah 2 vyjadriť vzťahom tvaru

$$F_{rep} = \frac{b_s}{n+1} \cdot \frac{(a_1 \cdot p + p_k)^{\frac{n+1}{n}}}{k^{\frac{1}{n}}} \quad [N] \quad (3)$$

Hodnota b_s dostáva v tomto vzťahu význam šírky vytváratej stopy a nie šírky kolesa ako je tomu vo vzťahu 1. Hodnotu vnútornej zložky valivého odporu môžeme vyjadriť vzťahom

$$F_{ri} = f_{ri} \cdot G = \frac{u}{p^v} \cdot G \quad [N] \quad (4)$$

kde: f_{ri} – súčiniteľ vnútorného valivého odporu pneumatiky, [-]

u, v – hodnoty závislé na konštrukcii pláštá, [-]

Celková hodnota valivého odporu pneumatikového kolesa je potom daná súčtom jeho vonkajšej a vnútornej zložky

$$F_v = F_{rep} + F_{ri} \quad [N] \quad (5)$$

Vo vzťahu 3 pre vyjadrenie vonkajšej zložky valivého odporu nám vystupuje ešte jedna veličina závislá na tlaku hustenia pneumatiky. Je ňou šírka stopy b_s . Tú môžeme vyjadriť nasledovným vzťahom (Grečenko, 1994)

$$b_s = \sqrt{\frac{b_k \cdot S_o}{c \cdot d_k}} = \sqrt{\frac{b_k \cdot G}{c \cdot d_k \cdot p}} \quad [m] \quad (6)$$

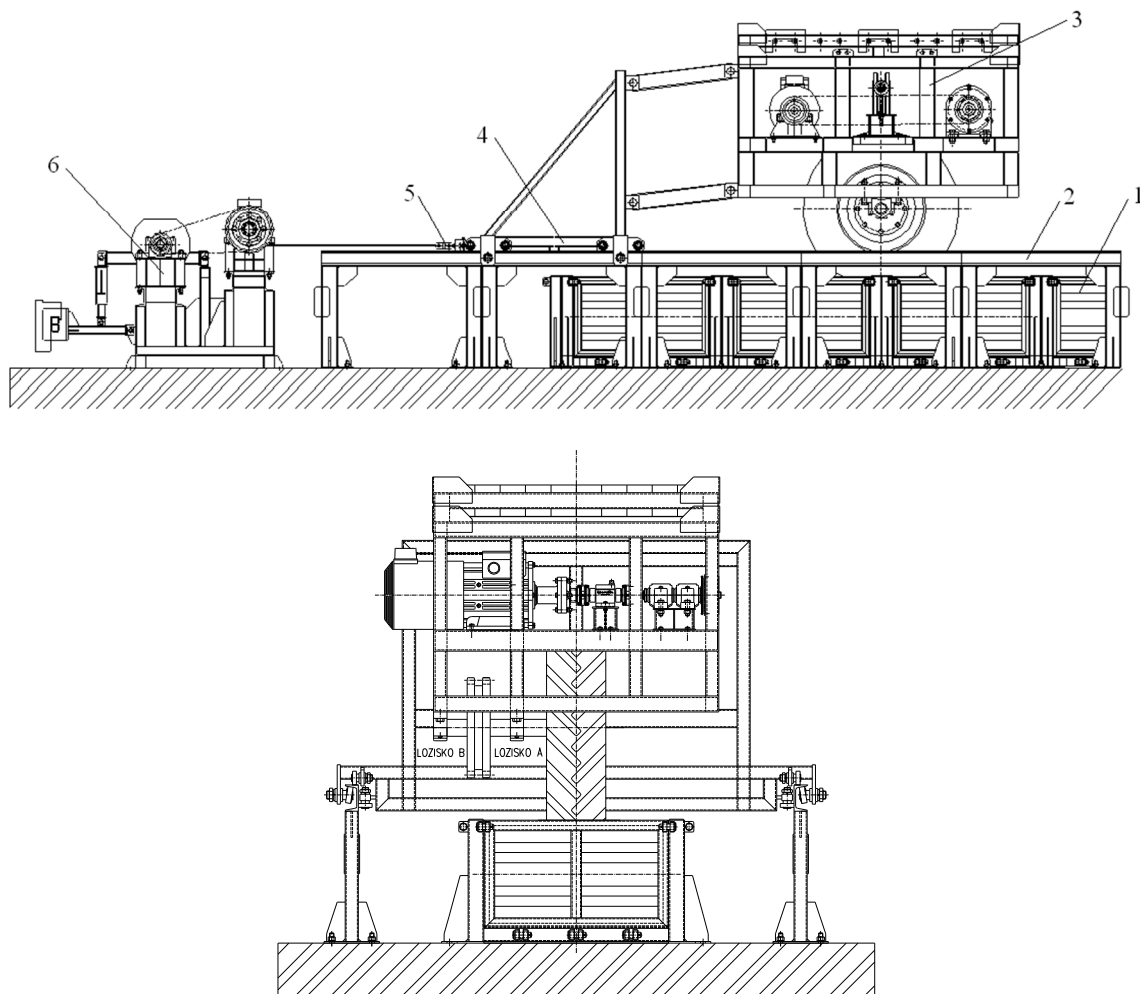
kde: b_k – katalógová šírka pneumatiky, [m]

d_k – katalógový priemer pneumatiky, [m]

c – konštanta závislá od typu pneumatiky, [-]

MERACIE ZARIADENIE

Predmetné meracie zariadenie je z časti znázornené na obrázku 2. Pri meraní valivých odporov je prirodzene v dôsledku odľahčenia konštrukcie nosného rámu 3 kolesa demontovaný pohonný mechanizmus kolesa. Brzdové zariadenie 6 v tomto prípade slúži len na navíjanie a posun nosného rámu kolesa 3 po skúšanej pôde. Samotná ťahová sila je tu meraná prostredníctvom snímača ťahovej sily firmy HBM S9M menovitej veľkosti 10 kN. Záznam signálu z tohto snímača sa realizuje prostredníctvom meracieho záznamníka tiež firmy HBM Quantum X MX 840 A.



Obr. 2 Pôdny skúšobný kanál

1. Teleso pôdneho kanála (rám), 2. Bočné vedenie, 3. Nosný rám kolesa, 4. Vodiaci rám, 5. Snímač ťahovej sily, 6. Brzdné a navíjacie zariadenie

Ťahová sila registrovaná snímačom sily S9M však nezodpovedá skutočnej hodnote valivého odporu. Pri ťahaní kolesa nám súčasne pôsobia aj odporové sily, ktoré musíme pri vyhodnocovaní výsledkov zohľadniť. Predovšetkým tu pôsobí odporová sila vo vedení vodiaceho rámu 4 F_w a sila F_{mt} spôsobená trením v ložiskách uloženia kolesa na nosnom ráme 3. Výsledná meraná sila je teda daná

$$F_c = F_v + F_{vv} + F_{mt} \quad [N] \quad (7)$$

kde: F_v – valivý odpor pneumatiky, [N]

F_{vv} – odporová síla vo vedení vodiaceho rámu, [N]

F_{mt} – odporová síla daná ložiskovým trením, [N]

Odporovú silu vo vedení vodiaceho rámu 4 sme zmerali pred samotným meraním valivých odporov tým spôsobom, že sme demontovali nosný rám kolesa 3 od vodiaceho rámu, a tento sme voľne ťahali navijakom brzdného zariadenia 6. Výsledná hľadaná hodnota valivého odporu sledovanej pneumatiky teda bude vzhľadom na vzťah 7

$$F_v = F_c - F_{vv} - F_{mt} \quad [N] \quad (8)$$

Vyjadrenie odporovej sily danej trením v ložiskách je pomerne problematické vzhľadom na skutočnosť, že nemáme možnosť merania radiálnych síl zaťažujúcich ložiská uloženia kolesa s pneumatikou. Z tohto pohľadu ide len o ich výpočtový odhad. Máme však zato, že veľkosť týchto síl pri dobrom mazaní ložísk a odstránení tesnení ložiskových domcov je nízka. Silu danú trecím odporom ložísk môžeme z trecieho momentu vyjadriť nasledovne

$$F_{mt} = \frac{M_{mt}}{R} \quad [N] \quad (9)$$

kde: M_{mt} – trecí moment v ložiskách, [N.m]

R – valivý polomer kolesa, [m]

Pričom hodnotu samotného trecieho momentu v ložiskách môžeme vyjadriť vzťahom

$$M_{mt} = \mu \cdot P \cdot \frac{d}{2} \quad [N \cdot m] \quad (10)$$

kde: μ – súčiniteľ trenia v ložiskách, [-]

P – ekvivalentné zaťaženie ložiska, [N]

d – priemer hriadeľa v mieste uloženia ložiska, [m]

Presnú hodnotu súčiniteľa trenia „ μ “ v ložiskách môžeme tiež len odhadnúť na základe literárnych podkladov. Hodnotu ekvivalentného zaťaženia ložísk uloženia kolesa môžeme určiť podľa vzťahu

$$P = F_R + Y \cdot F_a \quad [N] \quad (11)$$

kde: F_R – radiálne zaťaženie ložiska, [N]

F_a – axiálne zaťaženie ložiska, [N]

Y – výpočtový koeficient ložiska, [-]

Vzhľadom nato, že axiálne sily majú charakter len náhodnej zložky, pri výpočte berieme $F_a = 0$ N. Potom pre ekvivalentné zaťaženie ložiska platí $P = F_R$. Radiálnu silu F_R zaťažujúcu ložiská si vieme

vypočítat na základe známeho zvislého zaťaženia kolesa a rozmerovej situácie uloženia nosného hriadeľa kolesa. Pre trecí moment potom platí

$$M_{mt} = \mu \cdot F_R \cdot \frac{d}{2} \quad [N \cdot m] \quad (12)$$

Pre treciu silu v ložiskách potom platí po dosadení do vzťahu 9

$$F_{mt} = \frac{M_{mt}}{R} = \frac{\mu \cdot d \cdot F_R}{2 \cdot R} \quad [N] \quad (13)$$

ZÁVER

Myslíme si, že uvedený metodický postup umožňuje stanoviť veličiny potrebné pre určenie optimálneho tlaku hustenia pneumatík mobilných pracovných strojov vzhľadom na ich zaťaženie a rozličné pôdne podmienky. Metodický postup môže byť tiež vhodným prostriedkom slúžiacim k výberu správnej veľkosti a typu pneumatiky ako aj k voľbe optimálnych hodnôt tlakov hustenia pneumatík pre rôzne pôdne pomery. Jeho určitou nevýhodou je pomerne vysoká prácnosť a požiadavka používania špecifických experimentálnych zariadení.

Ako najväčší problém realizovaného pôdneho skúšobného kanála sa javí spôsob kultivácie pôdy a tím zabezpečenia dobrej opakovateľnosti merania. V návrhu sa plánoval použiť záhradný kultivátor na kyprenie pôdy a na jej zhutnenie (utlačenie) sa plánovala použiť vibračná doska. Tieto zariadenia sa však vo svojom pôvodnom konštrukčnom a výkonovom vyhotovení pravdepodobne nebudú dať použiť a bude nutná ich dodatočná úprava. Problémom je tiež zmena vlhkosti pôdy, ktorá postupne schne, čo spôsobuje výrazné zmeny jej mechanických vlastností. To si vyžaduje aby skúšky pneumatík v skúšobnom kanály prebiehali čo možno najrýchlejšie. Pri sledovaných interakčných procesoch je tiež dôležité zabezpečiť správny popis a zatriedenie použitej pôdy. K tomuto účelu v budúcnosti plánujeme vybaviť laboratórium potrebným vybavením umožňujúcim vykonávať popis základných fyzikálno-mechanických vlastností pôd v súlade s platnými STN.

LITERATÚRA

- [1] BRETŠNAJDR, Josef. Stroje pro zemní práce. Brno: ES VAAZ, 1984, s.78-99.
- [2] GREČENKO, Alexandr. Měření tahových vlastností terénních vozidel – Měřené veličiny. In: Zemědělská technika, 24 (LI), 1978, č.11, s.643-660.
- [3] GREČENKO, Alexandr. Vlastnosti terénních vozidel. Praha: ES VŠZ, 1994, 118s. ISBN 80-213-0190-2

- [4] HELEXA, Milan.; KOVÁČ, Ján.; KUČERA, Marián. Metodika merania valivých odporov pneumatík na pevnom povrchu. In: Zborník príspevkov 44. medzinárodnej vedeckej konferencie kateder dopravných, manipulačných, stavebných a zemědělských strojů, Kurdějov, 11. – 12. Septembra 2018, VUT Brno – Fakulta strojního inženýrství, 2018, s.109-115. ISBN 978-80-214-5644-0
- [5] SEMETKO, Jozef. et al. Traktory a automobily 3. Bratislava/Praha: Príroda/SZN, 1981, 453s.

Podakovanie

Publikácia vznikla za finančnej podpory projektu Vedeckej grantovej agentúry MŠVVŠ SR VEGA 1/0642/18 – „Analýza vplyvu konštrukčných častí lesníckych mechanizmov v lesnom prostredí z hľadiska energetického a ekologického“.