

## OCENA WPŁYWU ZMIAN CIŚNIENIA WEWNĄTRZ OPON NA ICH WŁAŚCIWOŚCI TRAKCYJNE NA WYBRANYM PODŁOŻU LEŚNYM\*

*Anna Cudzik, Włodzimierz Białczyk, Jarosław Czarnecki, Marek Brennenstul  
Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości trakcyjnych opon na gruntowej drodze leśnej. Do badań użyto radialne opony rolnicze o rozmiarze 11.2R24 oraz 300-70R20. Celem pracy była ocena wpływu zmian ciśnienia powietrza we wnętrzu badanych opon na uzyskiwane przez nie siły i sprawności trakcyjne. Badania przeprowadzono dla dwóch poziomów ciśnienia: 0,14 MPa oraz 0,07 MPa. Dodatkowym parametrem zmiennym podczas prowadzenia badań trakcyjnych było obciążenie pionowe koła. Eksperyment badawczy przeprowadzono z wykorzystaniem mobilnego stanowiska do badań trakcyjnych. Przeprowadzone badania wykazały, że wyższe wartości sił trakcyjnych analizowane opony uzyskały przy ciśnieniu 0,14 MPa. Nie stwierdzono istotnego wpływu ciśnienia powietrza wewnątrz opon na ich sprawność trakcyjną. Wykazano istotny wpływ rozmiaru opony oraz wielkości obciążenia kół na uzyskiwane wartości sił i sprawności trakcyjnych.

**Słowa kluczowe:** opona, ciśnienie powietrza, siła trakcyjna, sprawność trakcyjna

### Wprowadzenie

Pojazdy rolnicze i leśne znajdują zastosowanie w wielu różnorodnych pracach. W przypadku leśnictwa w głównej mierze wykorzystywane są one w procesie zrywki i transportu drewna, który realizowany jest zarówno po bezdrożach, drogach gruntowych jak i drogach o nawierzchni utwardzonej. Wśród użytkowników sprzętu rolniczego i leśnego zagadnienia dotyczących trakcji czy też sprawności układów przeniesienia napędu jeszcze nie znajdują właściwego zainteresowania. Faktem jest, że duże korzyści w zakresie poprawy właściwości trakcyjnych można uzyskać poprzez optymalizację parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych pojazdów takich jak: prędkość jazdy, poślizg kół, szerokość i średnicę osadzenia ogumienia, a także ciśnienie powietrza w oponie. W literaturze przedmiotu znaleźć można wiele prac poświęconych analizie wpływu zmian ciśnienia po-

---

\* Praca zrealizowana została w ramach projektu badawczego nr N N313 146938

wietrza w oponach głównie na zmianę właściwości podłoża, w mniejszym jednak zakresie na właściwości trakcyjne pojazdu. Większość z tych opracowań dotyczy opon pracujących na glebie użytkowanej rolniczo, głównie pozbawionej okrywy roślinnej lub na ściernisku. Badania prowadzone przez Bailey'a i in. [1996] oraz Lancas'a i in. [1996] oraz Abu-Hamdeh'a [2003] wykazały, że zbyt wysokie ciśnienie powietrza w ogumieniu skutkuje wzrostem gęstości i zwięzłości gleby zarówno w koleinie jak i jej otoczeniu. Keller i Arvidson [2004] oraz Pytko i in. [2006] wykazali, że zwiększanie ciśnienia powietrza w oponach może przyczynić się nawet do 50% wzrostu wartości naprężeń stycznych i normalnych w glebie. Wpływem ciśnienia powietrza w oponach na ich właściwości trakcyjne również zajmowało się wielu naukowców. Burt i in. [1983], Wulfsohn i in. [1988] oraz Bashford i in. [1992] w swoich badaniach wykazali, że obniżenie ciśnienia powietrza w oponach skutkuje wzrostem zarówno siły jak i sprawności trakcyjnej. Jun i in. [2004] wykazali, że zwiększenie ciśnienia powietrza w oponie ze 100 do 240 kPa skutkuje spadkiem siły trakcyjnej o 19% a sprawności trakcyjnej o 8,5%. Autorzy zaobserwowali ponadto, że po zwiększeniu obciążenia pionowego różnice wynikające ze zmiany ciśnienia powietrza ulegają zmniejszeniu. Z kolei Xu i in. [1991] wykazali, że ciśnienie powietrza w ogumieniu wpływa istotnie jedynie na wartości siły uciążu, natomiast nie stwierdzono wpływu na sprawność trakcyjną. Zoz i Turner [1994] badali wpływ ciśnienia powietrza w oponie na wartości siły uciążu i sprawności trakcyjnej różnych opon na odmiennych podłożach. Wykazali, że w większości przypadków (na podłożach o dużej odkształcalności) wzrost ciśnienia powietrza powodował pogorszenie właściwości trakcyjnych. Podobne wyniki uzyskali Lee i Kim [1997] w swoich badaniach prowadzonych na uprawionej glebie oraz na ściernisku. Na betonie natomiast stwierdzono wzrost wartości siły i sprawności trakcyjnej wraz ze wzrostem ciśnienia powietrza w oponie. Ciśnienie powietrza w ogumieniu jest parametrem, który może mieć wpływ na właściwości trakcyjne koła. Parametr ten może być w pewnych granicach zmieniany przez użytkownika pojazdu, w związku z czym uzasadnione jest podjęcie badań nad wpływem zmian ciśnienia na właściwości trakcyjne koła.

## **Cel, warunki i metodyka badań**

Celem pracy było określenie wpływu zmian ciśnienia pompowania opon na ich właściwości trakcyjne na gruntowej drodze leśnej. Analizie poddano siły trakcyjne i sprawności trakcyjne uzyskiwane przez badane opony przy dwóch wartościach ciśnienia w ich wnętrzu, a mianowicie 0,14 MPa i 0,07 MPa dla trzech różnych wartości obciążenia koła.

Badania przeprowadzono na drodze leśnej usytuowanej na terenie Leśnictwa Chrząstawa Wielka w drzewostanie sosnowym II klasy wieku. Jest to droga gruntowa naturalna nieulepszona, pełniąca funkcję drogi wewnętrznej i charakteryzująca się niewielką intensywnością jej użytkowania. Droga utworzona została na podłożu o składzie granulometrycznym piasku słabo gliniastego na piasku luźnym. Wierzchnia warstwa badanego odcinka drogi pokryta była igliwem sosnowym. Wilgotność badanego podłoża kształtowała się na poziomie 7% obj., natomiast jego zwięzłość na głębokości 0,05 m wynosiła 2,7 MPa.

Analizę właściwości trakcyjnych przeprowadzono dla następujących opon rolniczych: 11.2R24 oraz 300-70R20. Ich główne parametry zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry badanych opon

Table 1. Parameters of the investigated tyres

Oznaczenie opony	Typ bieżnika	Średnica zewnętrzna [mm]	Średnica osadzenia [mm]	Szerokość [mm]	Maksymalne obciążenie [kg]	Maksymalne ciśnienie powietrza [MPa]
11.2R24	Klasyczny	1060	610	285	1250	0,240
300-70R20	Klasyczny	928	508	300	1400	0,250

Źródło: opracowanie własne

Obie opony posiadały konstrukcję radialną charakteryzującą się dużą sztywnością bieżnika oraz znaczną elastycznością części bocznych. Różnice między badanymi oponami dotyczą głównie ich wymiarów. Badania prowadzono przy dwóch poziomach ciśnienia powietrza w oponach: 0,14 i 0,07 MPa. Ciśnienie 0,07 MPa jest minimalną, dopuszczalną przez producenta, wartością uniemożliwiającą obrót opony względem tarczy koła a zarazem zalecaną przy pracach polowych z racji mniej intensywnego ugniatania gleby. Po zwiększeniu tej wartości o 100% uzyskano ciśnienie stosowane powszechnie przy pracach transportowych. W trakcie badań stosowano trzy poziomy obciążenia koła mieszczące się w zakresie obciążeń katalogowych i wynoszące: 4620 N, 5320 N oraz 6060 N. Przyjęta najniższa wartość obciążenia koła eliminowała ryzyko wystąpienia chwilowego nadmiernego poślizgu, skutkiem czego mogło być zatrzymanie się stanowiska podczas pomiaru. Założono, że kolejne wartości obciążenia będą wyższe od obciążenia początkowego o 15 i 30%.

W celu określenia stanu badanego podłoża podczas badań trakcyjnych wykonano pomiar jego wilgotności oraz zwięzłości. Parametry te mierzono penetrolggerem firmy Eijkelkamp wyposażonym w sondę do pomiaru wilgotności o dokładności do 1% obj. Do pomiaru zwięzłości zastosowano stożek o kącie 60° i polu podstawy 0,0001 m<sup>2</sup>. Prędkość zagłębiania stożka wynosiła 0,02 m·s<sup>-1</sup> a dokładność pomiaru zwięzłości 1 kPa.

Badania właściwości trakcyjnych opon wykonano z wykorzystaniem mobilnego stanowiska zagrągowanego z ciągnikiem MF 235. Koło z badanymi oponami wykonywało ruch obrotowy dzięki napędowi przekazywanemu na wał od WOM ciągnika za pośrednictwem przekładni redukującej. Obracające się koło powodowało przemieszczanie się całego stanowiska oraz ciągnika. W stanowisku zamontowano siłomierz indukcyjny umożliwiający pomiar siły uciągu  $P_U$  oraz siły oporów przetaczania  $P_f$  z dokładnością do 1 N. Na kole badanym i kole dodatkowym (tzw. piątym) zamontowano enkodery obrotowe, które służyły do pomiaru kątów obrotu kół (drogi rzeczywistej  $s_{rz}$  oraz drogi teoretycznej  $s_t$ ) i w efekcie wyznaczenia poślizgu badanego koła  $\delta$ . Pomiary wszystkich wielkości wykonywano w pięciu powtórzeniach i rejestrowano na przenośnym komputerze. Na podstawie uzyskanych wyników z aparatury pomiarowej zgodnie z zależnościami 1,2 i 3 obliczono poślizg  $\delta$ , siłę trakcyjną  $P_T$  oraz sprawność trakcyjną  $\eta$ .

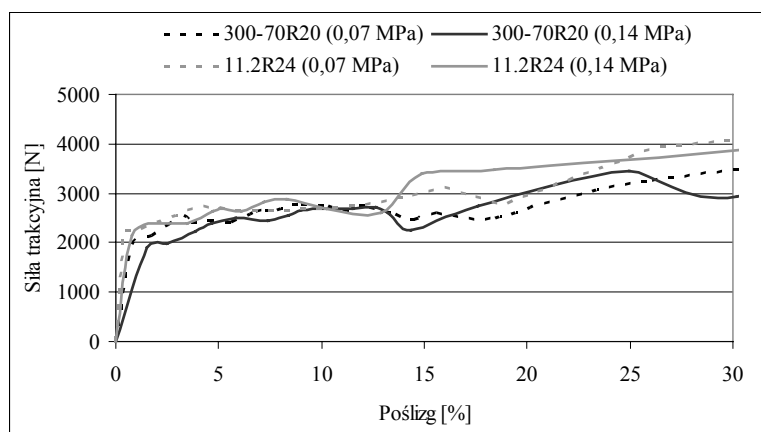
$$\delta = \left(1 - \frac{s_{rz}}{s_t}\right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

$$P_T = P_u + P_f \quad [\text{N}] \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_U}{P_T} \cdot (100 - \delta) \quad [\%] \quad (3)$$

## Wyniki badań i ich analiza

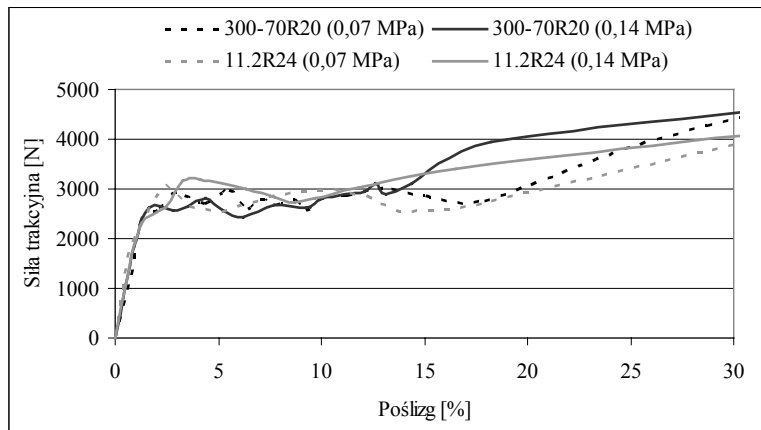
Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przebiegi sił trakcyjnych opon 300-70R20 oraz 11.2R24 uzyskanych przy ciśnieniu powietrza równym 0,14 oraz 0,07 MPa na gruntowej drodze leśnej dla dwóch skrajnych wielkości obciążenia koła (4620 i 6060 N). Analizując prezentowane rysunki zauważyć można, że charakter krzywych dla poślizgu z zakresu 0–13% jest porównywalny, podobnie jak i uzyskiwane wartości. Przy poślizgu od 13 do 25% zaczyna być widoczne zróżnicowanie zarówno pomiędzy oponami jak i wartościami ciśnienia w ich wnętrzu. Wyższe wartości sił uzyskiwały opony przy ciśnieniu 0,14 MPa. Przy obciążeniu 4620 N dla omawianego przedziału poślizgu wyższe wartości sił trakcyjnych uzyskiwała opona 11.2R24, natomiast przy obciążeniu 6060 N opona 300-70R20, prawdopodobnie z racji jej większej szerokości.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Przebiegi sił trakcyjnych badanych opon w funkcji poślizgu, przy dwóch poziomach ciśnienia powietrza i obciążeniu pionowym koła 4620 N

Fig. 1. The course of traction powers of the investigated tyres as a function of skidding at two levels of air pressure and the vertical load of a wheel of 4620 N

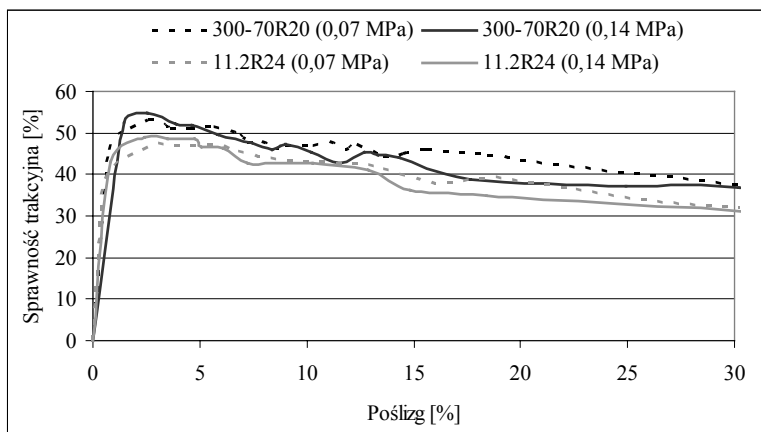


Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Przebiegi sił trakcyjnych badanych opon w funkcji poślizgu, przy dwóch poziomach ciśnienia powietrza i obciążeniu pionowym koła 6060 N

Fig. 2. The course of traction powers of the investigated tyres as a function of skidding at two levels of air pressure and the vertical load of a wheel of 6060 N

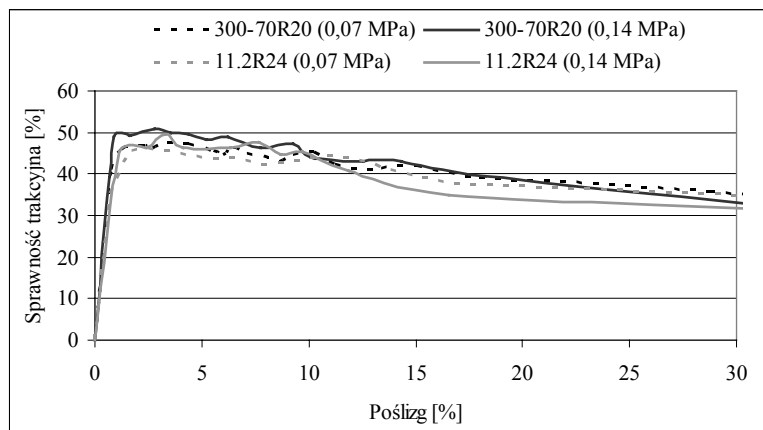
Na rysunkach 3 i 4 zilustrowano przebiegi sprawności trakcyjnych opon w funkcji poślizgu przy dwóch poziomach ciśnienia powietrza dla dwóch wartości obciążenia 4320 i 6060 N.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Przebiegi sprawności trakcyjnych badanych opon w funkcji poślizgu, przy dwóch poziomach ciśnienia powietrza i obciążeniu pionowym koła 4620 N

Fig. 3. Courses of traction efficiencies of the investigated tyres as a function of skidding at two levels of air pressure and the vertical load of a wheel of 4620 N



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Przebiegi sprawności trakcyjnych badanych opon w funkcji poślizgu, przy dwóch poziomach ciśnienia powietrza i obciążeniu pionowym koła 6060 N  
 Fig. 4. Courses of traction efficiencies of the investigated tyres as a function of skidding at two levels of air pressure and the vertical load of a wheel of 6060 N

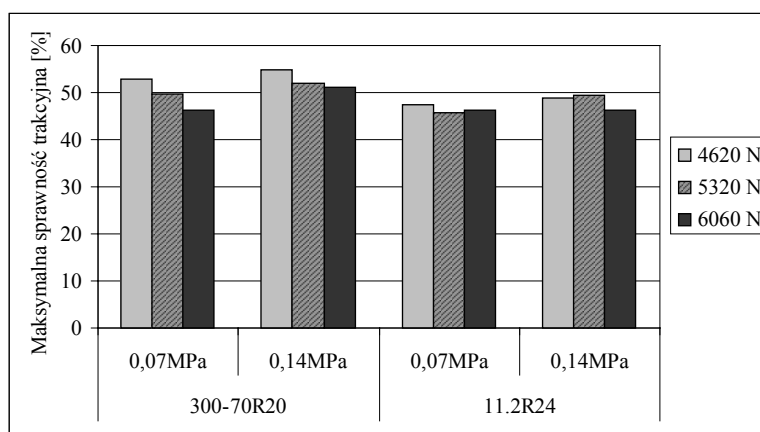
Sprawność badanych opon wartości maksymalne na poziomie 46 – 54% uzyskiwała przy poślizgu poniżej 5%. Analizując prezentowane wykresy zauważyć można, że dla obu przedstawionych poziomów obciążeń nieznacznie wyższą sprawnością charakteryzowała się opona 300-70R20. Dla niewielkich wartości poślizgu (0–10%) nieco wyższe wartości sprawności uzyskiwały opony przy ciśnieniu na poziomie 0,14 MPa. Przy większym poślizgu wyższą sprawność uzyskiwały opony z obniżonym ciśnieniem.

Przy niewielkich wartościach poślizgu badane opony generują siłę trakcyjną głównie w wyniku tarcia, stąd w przypadku opon radialnych zmiana ciśnienia z 0,14 do 0,07 MPa nie powoduje znaczących zmian w uzyskiwanych siłach i sprawnościach trakcyjnych. Wzrost wartości sił trakcyjnych opon przy ciśnieniu 0,14 MPa przy większym poślizgu (powyżej 13%) jest efektem zagłębiania się występów bieżnika w podłożu i generowaniem siły trakcyjnej nie tylko w wyniku tarcia ale również ścinania. Spadek sprawności trakcyjnej w warunkach wzrastającego poślizgu kół jest dodatkowo efektem wzrostu deformacji pionowej podłoża.

Na rysunku 5 przedstawiono zestawienie maksymalnych wartości sprawności trakcyjnych badanych opon dla analizowanych wartości ciśnienia powietrza i przyjętych obciążeń prostopadłych koła. Z prezentowanego wykresu wynika, że wyższe wartości sprawności trakcyjnej, niezależnie od poziomu ciśnienia, uzyskiwała opona 300-70R20.

Analizując dane przedstawione na powyższym rysunku można zauważyć, że opona 300-70R20 uzyskiwała nieco wyższe wartości sprawności trakcyjnej przy ciśnieniu 0,14 MPa niż przy 0,07 MPa. Dociążanie tej opony niezależnie od wartości ciśnienia powietrza skutkowało zawsze spadkami sprawności trakcyjnej. W przypadku opony 11.2R24 nie stwierdzono jednoznacznego wpływu zmian obciążenia na wartości maksymalne

sprawności trakcyjnej. Przy obciążeniu 4620 i 5320 N wyższe wartości sprawności trakcyjnej opona 11.2R24 uzyskiwała przy ciśnieniu 0,14 MPa. Przy obciążeniu równym 6060 N dla obu wartości ciśnienia opona ta uzyskiwała maksymalną sprawność trakcyjną na poziomie 46%. Różnice w wartościach sprawności trakcyjnej uzyskiwanych przez opony przy obu analizowanych poziomach ciśnienia powietrza wynosiły od 0 do 5%. Wskazuje to, że obniżenie powietrza poniżej 0,14 MPa nie przynosi korzyści w postaci wzrostu sprawności.



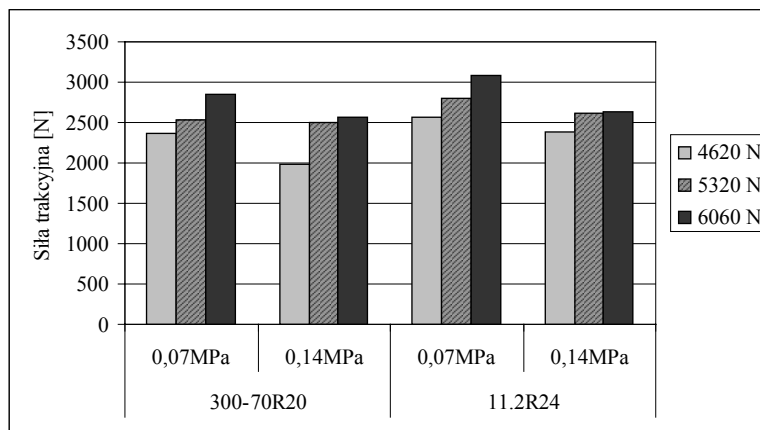
Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Wartości maksymalnych sprawności trakcyjnych wyznaczonych dla badanych opon, przy dwóch poziomach ciśnienia powietrza, dla trzech analizowanych wartości obciążenia pionowego koła

Fig. 5. Values of the maximum traction efficiencies determined for the investigated tyres at two levels of air pressure for three analysed values of the vertical load of a wheel

Na rysunku 6 przedstawiono wartości sił trakcyjnych badanych opon uzyskanych przy poślizgu mniejszym od 5% i odpowiadających maksymalnym sprawnościom. Z prezentowanego rysunku wynika, że na ogół wyższe wartości sił trakcyjnych uzyskiwała opona 11.2R24. Można również zauważyć, że obniżenie ciśnienia z 0,14 do 0,07 MPa dla obu badanych opon skutkowało wzrostem siły trakcyjnej nawet o 18% (przy obciążeniu równym 6060 N). Przyczyną wzrostu siły trakcyjnej przy niższym poziomie ciśnienia jest zwiększenie powierzchni kontaktu opony z podłożem oraz wzrostem siły oporów przetażania.

Uzyskane wyniki poddano wieloczynnikowej analizie wariancji na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . Analiza wykazała, że przyjęte do badań wartości ciśnienia pompowania opon wpływają istotnie na wartości uzyskiwanych sił trakcyjnych, natomiast nie potwierdzono istotności wpływu tego czynnika na wartości sprawności trakcyjnych analizowanych opon. Zarówno rozmiar opony, jak i stosowane obciążenia pionowe koła miały istotny wpływ na wartości sił i sprawności trakcyjnych. Wyniki przeprowadzonej analizy zestawiono w tabeli 2.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 6. Wartości sił trakcyjnych odpowiadających maksymalnej sprawności badanych opon, przy dwóch poziomach ciśnienia powietrza, dla trzech analizowanych wartości obciążenia prostopadłego koła

Fig. 6. Values of traction powers corresponding to the maximum efficiency of the investigated tyres at two levels of air pressure for three analysed values of the perpendicular load of a wheel

Tabela 2. Wyniki analizy statystycznej

Table 2. Statistic analysis results

Czynnik	Wartości p	
	Sprawność trakcyjna	Siła trakcyjna
Ciśnienie powietrza	0,631499	0,017058
Rozmiar opony	0,022847	0,0341480
Obciążenie pionowe	0,000006	0,008688

Źródło: opracowanie własne

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy uzyskanych wyników sformułowano następujące wnioski:

1. Na analizowanej drodze leśnej wyższe wartości sił trakcyjnych badane opony uzyskiwały na ogół przy ciśnieniu pompowania równym 0,14 MPa. Stwierdzono, że wartości siły trakcyjnej odpowiadające maksymalnej sprawności trakcyjnej były wyższe przy ciśnieniu 0,07 MPa.
2. Nie stwierdzono istotnego wpływu zmian ciśnienia pompowania badanych opon na wyznaczoną sprawność trakcyjną.



3. Wyższe wartości sił trakcyjnych uzyskiwała opona 11.2R24, natomiast opona 300-70R20 charakteryzowała się większą sprawnością, co wynika z różnych rozmiarów tych opon a przez to zróżnicowanego oddziaływania na podłoże.
4. Dociążanie badanych opon niezależnie od poziomu ciśnienia powietrza w ich wnętrzu skutkowało wzrostem sił oraz spadkiem sprawności trakcyjnych.

## Bibliografia

- Abu-Hamdeh N. H.** (2003): Soil Compaction And Root Distribution For Okra As Affected By Tillage and Vehicle Parameters. *Soil and Tillage Research* 74, 25-35.
- Bailey A. C., Raper R. L., Way T. R., Burt E. C., Johnson C. E.** (1996): Soil Stresses Under a Tractor Tire at Various Loads and Inflation Pressures. *Journal of Terramechanics* Vol.33, No 1, 1-11.
- Bashford L. L., Al-Hamed S., Jenane C.** (1993): Effects of Tire Size and Inflation Pressure on Tractive Performance. *ASAE Paper No 92-1011*, 343-348.
- Burt E. C., Lyne P. W., Meiring P., Keen J. F.** (1983): Ballast and Inflation Effects on Tire Efficiency. *ASAE Paper No 82-1567*, 1352-1354.
- Jun H., Way T. R., Löofgren B., Landström M., Bailey A. C., Burt E. C., McDonald T. P.** (2004): Dynamic load and inflation pressure effects on contact pressures of a forestry forwarder tire. *Journal of Terramechanics* 41, 209-222.
- Keller T., Arvidson J.** (2004): Technical Solutions to Reduce the Risk of Subsoil Compaction: Effect of Dual Wheels, Tandem Wheels and Tyre Inflation Pressure on Stress Propagation in Soil. *Soil and Tillage Research* 79, 191- 205.
- Lancas K. P., Upadyaya S. K., Sime M., Shafii S.** (1996): Overinflated Tractor Tires Waste Fuel, Reduce Productivity. *California Agriculture* 50(2). 28-31.
- Lee D. R., Kim K. U.** (1997): Effect of Inflation Pressure on Tractive Performance of Bias-ply Tires. *Journal of Terramechanics* Vol. 34 No 3, 187-208.
- Lyne P. W., Burt E. C., Meiring P.** (1983): Effect of Tire and Engine Parameters on Efficiency. *ASAE Paper No 82-1568*, 5-11.
- Pytka J., Dąbrowski J., Zając M., Tarnowski P.** (2006): Effects of Reduced Inflation Pressure and Vehicle Loading on Off-Road Traction and Soil Stress and Deformation State. *Journal of Terramechanics* 43, 469-485.
- Wulfsohn D., Upadhyaya S. K., Chancellor W. J.** (1988): Tractive Characteristics of Radial Ply and Bias Ply Tires in a California Soil. *Journal of Terramechanics* Vol. 25 No 2, 111-134.
- Xu D. M., Yong R. N., Mohamed A. M. O.** (1991): Modelling of Tyre - Clay Soil Interaction Via Quasi-Static Moving Boundary Displacement Method. *Journal of Forrest Engineering* Vol. 2, No 2, 7-19.
- Zoz F. M., Turner R. J.** (1994): Effect of "Correct" Pressure on Tractive Efficiency of Radial Ply Tires. *ASAE Paper No 94-1051*.

## **ASSESSMENT OF THE IMPACT OF PRESSURE INSIDE TYRES ON THEIR TRACTION PROPERTIES ON THE SELECTED FOREST BED**

**Abstract.** The study presents the research results concerning traction properties of tyres on a forest track. Radial agricultural tyres of 11.2R24 and 300-70R20 dimensions were used for the research. The purpose of the study was to assess the impact of air pressure changes inside the investigated tyres on the power and traction efficiency acquired by them. The research was carried out for two levels of pressure: 0.14 MPa and 0.07 MPa. A vertical load of a wheel was an additional variable parameter during traction research. The experiment was carried out with the use of a mobile stand for traction examination. The research which was carried out proved that the analysed tyres acquired higher values of traction powers at the pressure of 0.14 MPa. No significant impact of air pressure inside tyres on their traction efficiency was reported. Significant impact of tyres dimensions and the size of the load of wheels on the obtained values of powers and traction efficiencies was indicated.

**Key words:** tyre, air pressure, traction power, traction efficiency

**Adres do korespondencji:**

Anna Cudzik; e-mail: [anna.cudzik@up.wroc.pl](mailto:anna.cudzik@up.wroc.pl)  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chelmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław