

## OCENA REAKCJI OPON O RÓŻNYCH WYMIARACH ZEWNĘTRZNYCH NA ZMIANĘ OBCIĄŻENIA PIONOWEGO\*

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

**Streszczenie.** Celem badań było porównanie charakteru zmian właściwości trakcyjnych opon ciągnikowych o różnych wymiarach zewnętrznych w zależności od zmiany poziomu obciążenia pionowego. Do badań wybrano dwie opony diagonalne 9.5-24 i 31×15.5-15 charakteryzujące się klasyczną rzeźbą bieżnika. Analizowanymi właściwościami trakcyjnymi były: poślizg, siła trakcyjna wraz z jej składowymi, sprawność trakcyjna a także wartości mocy uciągu oraz mocy traconych na poślizg i opór przetaczania. Stosowano trzy poziomy obciążenia pionowego kół: 4620, 5320 i 6110 N. Badania prowadzono na jednym podłożu (ściernisko). Do określania właściwości trakcyjnych wykorzystano mobilne stanowisko agregatowane z ciągnikiem rolniczym. Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że obie opony w zbliżony sposób reagowały na zmianę obciążenia pionowego; w obu przypadkach obserwowano pewne zmiany wartości siły trakcyjnej i oporu przetaczania, nie wykazano natomiast różnic w wartościach sprawności trakcyjnej.

**Słowa kluczowe:** ciągnik, opona, sprawność trakcyjna, siła uciągu, opór przetaczania

### Wstęp

Jednym z głównych wymogów stawianych ciągnikom rolniczym jest zapewnienie optymalnych właściwości trakcyjnych w zróżnicowanych zabiegach polowych, przy możliwie jak najmniej negatywnym oddziaływaniu na strukturę gleby. Istnieje szereg parametrów, od których mogą zależeć właściwości uciągowe ciągnika; parametry te można podzielić na konstrukcyjne i eksploatacyjne. Jedną z istotnych cech konstrukcyjnych jest typ i rozmiar opon ciągnika.

Oferowane na rynku opony ciągnikowe występują w wielu odmianach konstrukcyjnych; różnić się mogą budową wewnętrzną (radialne, diagonalne), jak i zewnętrzną (różne typy bieżników). W pracach polowych najczęściej stosuje się opony o tzw. klasycznej

---

\* Badania zrealizowano w ramach projektu badawczego nr N N313 146938

rzeźbie bieżnika z rzadko rozmieszczonymi wysokimi występami, czyli o tzw. małej podziałce bieżnika. Opony te oferowane są w różnych średnicach zewnętrznych i szerokościach (Brodbeck, 2004). Przypuszczać można, że właściwości trakcyjne opon o zróżnicowanych wymiarach zewnętrznych będą się różnić.

W dostępnej literaturze znaleźć można wyniki badań dotyczących opon o odmiennych wymiarach, przy czym zazwyczaj porównania takie dotyczą jednego wymiaru (średnicy lub szerokości). Na podstawie badań dotyczących zewnętrznych średnic opon wykazywano najczęściej, że opony o większych średnicach cechowały się lepszymi właściwościami trakcyjnymi (Wulfsohn i in., 1988; Grisso i in., 1992). Pewne rozbieżności wyników obserwuje się przy analizie wpływu szerokości opon na właściwości trakcyjne. W pracy Lancas i in. (1997) wykazano, że wyższymi wartościami sprawności cechowała się opona o większej szerokości zewnętrznej. Z kolei w pracach Bashforda i Kochera (1998) oraz Bashforda i in. (1999) stwierdzono, że lepsze właściwości trakcyjne (wyższą sprawność i współczynnik przyczepności) osiągnąć można poprzez stosowanie opon o mniejszej szerokości. Należy zaznaczyć, że zwiększanie szerokości opon stało się w ostatnich latach zauważalną tendencją powodowaną względami ekologicznymi.

Jednym ze sposobów poprawy właściwości trakcyjnych pojazdu rolniczego jest zwiększanie obciążenia pionowego kół. W licznych pracach wykazywano, że zwiększenie obciążenia pionowego skutkuje wzrostem siły uciągu, siły trakcyjnej i sprawności trakcyjnej (Zoz i Grisso, 2003; Jun i in., 2004; Gholkar i in., 2009). Zaznaczyć należy, że niewiele jest prac, w których przedstawia się zmiany właściwości trakcyjnych na skutek zmiany obciążenia pionowego w odniesieniu do opon o różnych wymiarach zewnętrznych.

Przedstawione względy sprawiają, że zasadne jest zbadanie problematyki zmian właściwości trakcyjnych dla opon o jednakowej strukturze wewnętrznej, lecz różnych proporcjach wymiarów. Taka problematyka zostanie przedstawiona w niniejszej pracy.

## **Cel, przedmiot i warunki badań**

Celem badań było porównanie efektów dociążania jako sposobu zmian właściwości trakcyjnych w odniesieniu do opon o odmiennych stosunkach średnicy zewnętrznej i szerokości.

Analizę właściwości trakcyjnych przeprowadzono na podstawie wartości siły trakcyjnej (wraz z jej składowymi), sprawności trakcyjnej, poślizgu i mocy: użytecznej (uciągu) oraz mocy traconych na opór przetaczania i poślizg.

Właściwości trakcyjne analizowano dla dwóch opon o oznaczeniach 9.5-24 i 31×15.5-15. Obie opony cechowały się konstrukcją diagonalną i klasyczną rzeźbą bieżnika (mała podziałka, wysokie występy ułożone pod kątem 45° do osi opony). Podstawowe parametry opon przedstawiono w tabeli 1. Zgodnie z przedstawionymi danymi główną cechą różniącą obie opony były ich wymiary zewnętrzne. Opona 9.5-24 charakteryzowała się małą szerokością i dużą średnicą, natomiast opona 31×15.5-15 – małą średnicą a dużą szerokością. Dla opony 9.5-24 proporcja pomiędzy szerokością a średnicą zewnętrzną wynosiła 0,24 a w przypadku opony 31×15.5-15 stosunek ten był ponad dwukrotnie wyższy (0,49).

Tabela 1

*Parametry opon przyjętych do badań*

Table 1

*Parameters of tyres accepted for the research*

Opona	Średnica osadzenia (mm)	Średnica zewnętrzna (mm)	Szerokość (mm)	Wysokość występów bieżnika (mm)	Nośność maksymalna (kg)	Maksymalne ciśnienie powietrza (MPa)
9.5-24	610	995	241	25	1120	0,25
31×15.5-15	381	785	390	25	1460	0,30

Podczas badań stosowano jeden poziom ciśnienia powietrza w badanych oponach równy 0,15 MPa. Na kołach wyposażonych w przyjęte opony stosowano trzy poziomy obciążenia pionowego: 4620, 5320 i 6110 N (różnice między sąsiednimi poziomami wynosiły 15%). Zarówno wartości ciśnienia pompowania, jak i obciążeń pionowych były zgodne z zaleceniami producentów opon.

Obie opony badane były na tym samym podłożu – ściemniku w tradycyjnym systemie uprawowym. W dniu wykonywania badań wilgotność aktualna podłoża wynosiła 19%, zwięzłość (na głębokości 0,05 m): 0,8 MPa, wytrzymałość na naprężenia styczne (na głębokości 0,05 m): 45 kPa.

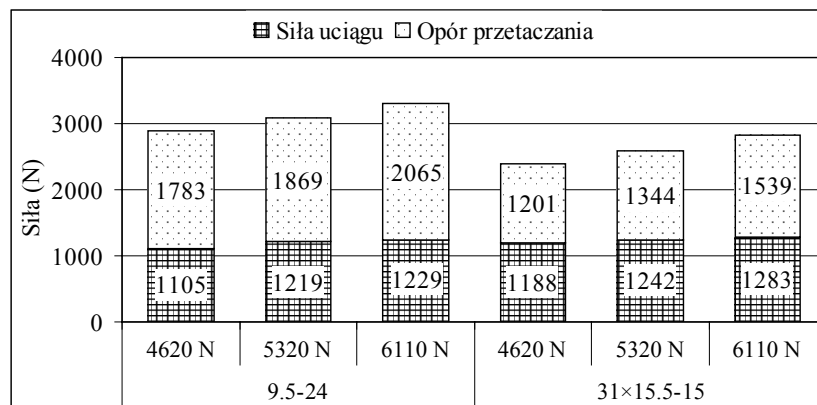
## Metodyka

Określanie właściwości trakcyjnych przeprowadzono z wykorzystaniem mobilnego stanowiska zawieszanego na trzypunktowym układzie zawieszenia ciągnika rolniczego kl. 9.0 kN. Pomiar siły uciążu realizowano z wykorzystaniem siłomierza indukcyjnego TecSis o dokładności pomiaru 40 N i zakresie pomiarowym 0-20000 N, moment obrotowy na kole wyznaczano przy użyciu momentomierza indukcyjnego o dokładności 1 Nm i zakresie pomiarowym 0-3000 Nm. Wartości dróg (rzeczywistej i teoretycznej) mierzono przetwornikami obrotowo-impulsowymi MOK 40. Prędkość rzeczywista podczas badań była utrzymywana na stałym poziomie.

Dane mierzone przez czujniki były przesyłane do elektronicznego zespołu rejestrującego. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów obliczano wartości siły trakcyjnej, oporu przetaczania, poślizgu, sprawności trakcyjnej oraz mocy składowych i mocy całkowitej. Szczegółowy tok obliczeń był analogiczny jak w pracy Białczyka i in. (2012).

## Wyniki badań i ich analiza

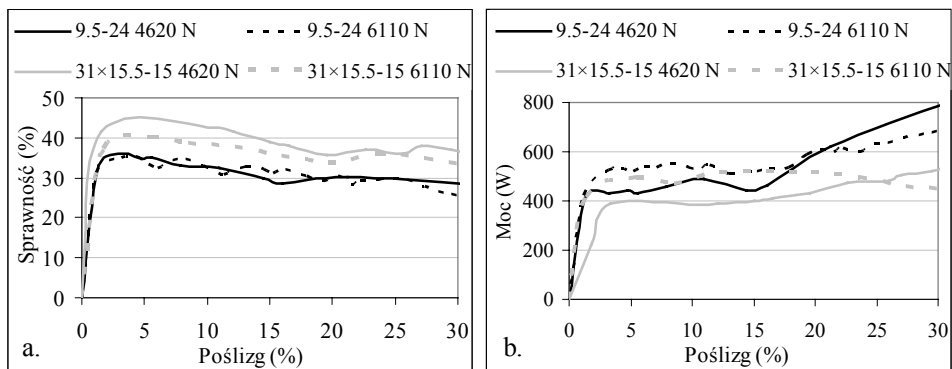
Na podstawie pomiarów oraz obliczeń wyznaczono wartości siły trakcyjnej, z uwzględnieniem udziałów siły uciążu i oporu przetaczania. Na rysunku 1 przedstawiono średnie wartości tych parametrów obliczone dla poślizgu z zakresu 0-30%.



Rysunek 1. Wartości siły trakcyjnej z wyszczególnieniem jej składowych, dla obu opon, przy wszystkich poziomach obciążenia pionowego koła  
 Figure 1 Values of tractive force with its elements for both tyres at all levels of vertical load of wheels

Zgodnie z powyższym zestawieniem, obie badane opony podobnie reagowały zmianą siły trakcyjnej na zwiększanie obciążenia pionowego. W obu przypadkach obydwa zwiększenia obciążenia skutkowały wzrostem wartości tego parametru (wartości przyrostów wynosiły 7-9%). Wystąpiły jednak niewielkie różnice w zmianach udziałów siły uciągu i oporu w sile trakcyjnej na skutek zmian obciążenia pionowego; opona 9.5-24 charakteryzowała się większymi zmianami siły uciągu, natomiast dla opony 31×15.5-15 obserwowano większe zmiany oporu przetaczania. Taka sytuacja zapewne ma związek z różną szerokością opon a w konsekwencji odmienną skłonnością do zagłębienia w podłoże. Ogólna tendencja wzrostu analizowanych parametrów na skutek zwiększania obciążenia koresponduje z wynikami przedstawianymi przez Juna i in. (2004), Naranga i in. (2006), Gholkara i in. (2009) oraz Taghavifara i Mardani (2013), przy czym obserwowane wielkości zmian są mniejsze.

Kolejnymi analizowanymi parametrami były sprawność trakcyjna oraz moc dostarczana do koła. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe przebiegi tych parametrów w funkcji poślizgu, dla skrajnych poziomów obciążenia pionowego. Analiza przebiegów sprawności pozwala stwierdzić, że zarówno dla koła z oponą 9.5-24, jak i 31×15.5-15 nie stwierdzono wyraźnych zmian kształtu przebiegów na skutek zwiększania obciążenia pionowego. W przypadku koła z oponą 31×15.5-15 wykazano jednak większą różnicę w wartościach sprawności przy różnych poziomach obciążenia – przypuszczalnie miało to związek z różnymi zmianami proporcji pomiędzy siłą uciągu a oporem przetaczania. Ogólny charakter zmian sprawności trakcyjnej (duży przyrost przy niskich wartościach poślizgu) odpowiada wynikom przedstawianym w innych pracach (Grisso i in., 1992; Bashford i in., 1999; Wulfsohn, Way, 2009). Z kolei niewielkie zmiany sprawności na skutek zwiększania obciążenia znajdują potwierdzenie w pracy Zoza i Grisso (2003).



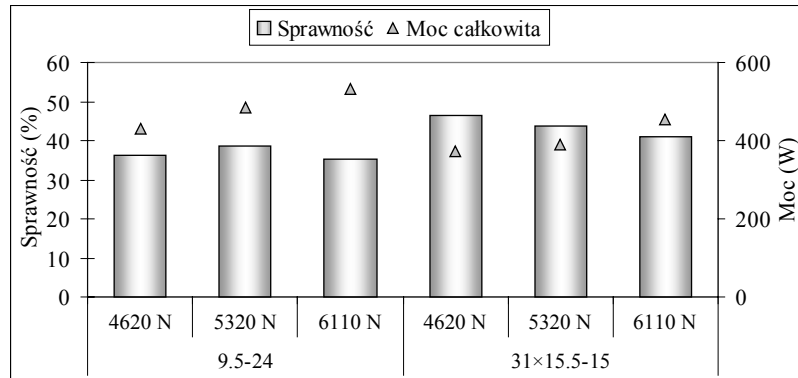
Rysunek 2. Przebiegi sprawności trakcyjnej (a) oraz mocy dostarczonej (b) w funkcji poślizgu, przy skrajnych poziomach obciążenia pionowego

Figure 2. Courses of tractive capacity (a) and power supplied (b) as the function of slide at extreme levels of vertical load

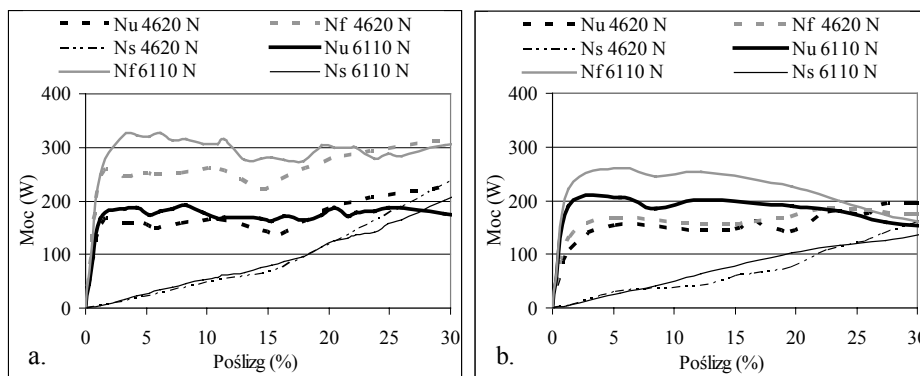
Zwiększenie obciążenia kół wyposażonych w badane opony wiązało się z koniecznością dostarczenia większej mocy całkowitej, przy czym w przypadku koła z oponą 9.5-24 tę tendencję obserwuje się dla poślizgów 2-22%, natomiast dla koła z oponą 31×15.5-15 – w przedziale 0-26%. Te różnice powodowane mogą być opisywanymi wcześniej odmiennymi proporcjami pomiędzy oporem przetaczania a siłą uciągu.

Na podstawie przebiegów sprawności i mocy dostarczonej dokonano zestawienia maksymalnych wartości sprawności oraz odpowiadających im wartości mocy całkowitych. Zestawienie to zaprezentowano na rysunku 3. Z analizy tego zestawienia wynika, że w zależności od rozmiaru opony wystąpiły różnice w zmianach maksymalnych wartości sprawności trakcyjnej. Dla koła z oponą 9.5-24, pierwsze zwiększenie obciążenia skutkowało wzrostem sprawności o 3 punkty procentowe (7%), jednak kolejne zwiększenie powodowało spadek o 3,5 punktu procentowego (10%). Natomiast w przypadku koła z oponą 31×15.5-15 obydwa zwiększenia obciążenia skutkowały spadkami wartości sprawności (o 6 i 7%). Dla obu opon zwiększanie obciążenia pionowego oznaczało konieczność dostarczenia większej mocy w celu uzyskania maksymalnej sprawności trakcyjnej, przy czym zmiany tego parametru na skutek zmian obciążenia były zbliżone (w obu przypadkach większe różnice występowały między drugim i trzecim poziomem obciążenia).

Dokonanie bilansu mocy kół wyposażonych w badane opony wymagało wyznaczenia nie tylko mocy całkowitej (dostarczonej), ale również mocy składowych. Na rysunku 4 przedstawiono przebiegi tych mocy w funkcji poślizgu, przy skrajnych poziomach obciążenia pionowego.



Rysunek 3. Maksymalne wartości sprawności trakcyjnej oraz odpowiadające im wartości mocy całkowitej  
 Figure 3. Maximum values of tractive force and responding values of total power

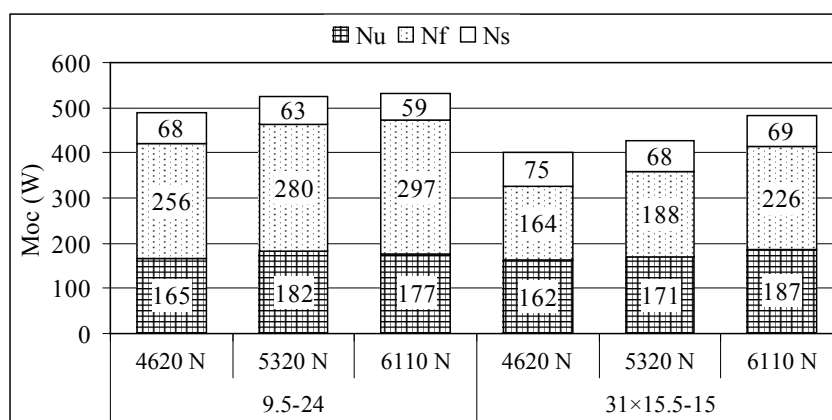


Rysunek 4. Przebiegi mocy składowych w funkcji poślizgu: a) koło z oponą 9.5-24, b) koło z oponą 31×15.5-15 (Nu – moc uciągu, Nf – moc tracona na opór przetaczania, Ns – moc tracona na poślizg)  
 Figure 4. Courses of composing powers as the function of slide: a. wheel with 9.5-24 tyre, b) wheel with 31×15.5-15 tyre (Nu – towing power, Nf – power lost for rolling resistance, Ns – power lost for slide)

Na podstawie porównania powyższych przebiegów mocy uciągu oraz mocy traconej na opór przetaczania można stwierdzić, że zwiększanie obciążenia pionowego nie powodowało zmiany charakteru przebiegów tych mocy, a jedynie zmiany wartości. Zarówno dla koła z oponą 9.5-24, jak i 31×15.5-15 stwierdzono, że zwiększanie obciążenia powoduje wzrost wartości mocy uciągu i mocy traconej na opór przetaczania. W przypadku mocy

traconej na poślizg obserwuje się natomiast zmianę charakteru przebiegu. Przy wyższych poślizgach (ok. 20% dla opony 9.5-24 i 25% dla opony 31×15.5-15) obserwuje się zwiększenie tempa przyrostu mocy traconej na poślizg. Zaznaczyć przy tym należy, że charakter przebiegów mocy uciągu i mocy traconej na opór przetaczania w funkcji poślizgu jest nieco odmienny niż w wynikach innych badaczy. W pracach Jenane i in. (1996) oraz Materka (2004) przyrost tych mocy był bowiem wolniejszy a stabilizacja następowała przy wyższych wartościach poślizgu.

W celu dokonania bilansu mocy obliczono średnie wartości mocy składowych dla całego analizowanego zakresu poślizgu. Wartości te zestawiono na rysunku 5.



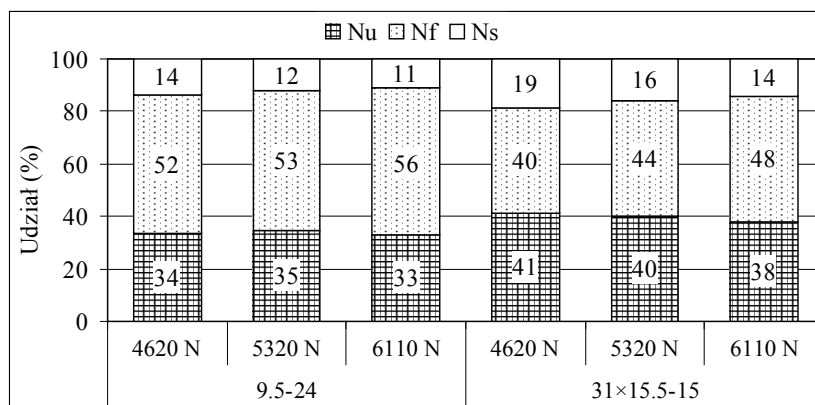
Rysunek 5. Wartości mocy składowych dla obu badanych kół, przy wszystkich poziomach obciążenia pionowego (oznaczenia jak na rysunku 4)

Figure 5. Values of composing powers for both investigated wheels at all levels of vertical load (symbols as in figure 4)

Z powyższego zestawienia wynika, że charakter zmian mocy składowych na skutek zwiększania obciążenia pionowego był w niewielkim stopniu zależny od rozmiaru opon. Zmiany wartości mocy uciągu były analogiczne jak zmiany siły uciągu (moc uciągu jest iloczynem siły uciągu i prędkości rzeczywistej). Większe zmiany mocy traconej na opór przetaczania obserwowano dla koła z oponą 31×15.5-15; wartości przyrostów tej mocy wyniosły 15 i 20% (dla koła z oponą 9.5-24 przyrosty wyniosły odpowiednio 9 i 6%). Zwiększanie obciążenia koła z oponą 9.5-24 powodowało niewielkie spadki wartości mocy traconej na poślizg, w przypadku drugiej opony jedynie pierwsze zwiększenie obciążenia powodowało zmianę wartości tej mocy. Należy przypuszczać, że różnice w przyrostach mocy traconych na opór przetaczania i poślizg są powodowane odmiennością wymiarów opon, a w konsekwencji różną zdolnością do zagłębienia się w podłoże.

Z uwagi na to, że wartości mocy obu badanych kół były różne, zasadne wydaje się przedstawienie udziałów mocy składowych w mocy całkowitej. Zestawienie tych udziałów przedstawiono na rysunku 6. Analiza zestawienia pozwala stwierdzić, że zmiana obciążenia praktycznie nie wpływała na zmiany udziałów mocy uciągu, zarówno dla koła z oponą

9.5-24, jak i 31×15.5-15 (maksymalne różnice 2 punkty procentowe czyli 6%). W przypadku koła z oponą 31×15.5-15 dostrzec można nieco większe zmiany udziałów mocy traconej na opór przetaczania. Ponadto, zwiększanie obciążenia pionowego skutkowało zawsze spadkiem udziałów mocy traconej na poślizg, przy czym większe zmiany dotyczyły koła z oponą 31×15.5-15.



Rysunek 6. Zestawienie udziałów mocy składowych w mocy całkowitej dla obu badanych kół, przy wszystkich poziomach obciążenia pionowego (oznaczenia jak na rysunku 4)  
 Figure 6. The list of component powers participation in the total power for both investigated wheels at all levels of vertical load (symbols as in figure 4)

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem pakietu Statistica 10.0. W celu ustalenia wpływu zwiększania obciążenia na zmiany właściwości trakcyjnych przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ , osobno dla każdej opony. Wyniki tych analiz przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2  
 Wyniki analizy statystycznej  
 Table 2  
 Statistic analysis results

Opona	Prawdopodobieństwo p					
	Siła uciągu	Opór przetaczania	Sprawność trakcyjna	Moc uciągu	Moc tracona na opór	Moc tracona na poślizg
9.5-24	0,040311	0,008389	0,121394	0,038012	0,031063	0,127775
31×15.5-15	0,031293	0,009242	0,711692	0,040631	0,035018	0,159025

Hipoteza zerowa, zakładała brak istotnego wpływu obciążenia pionowego na parametr analizowany. W przypadku, gdy wartość p była niższa niż założony poziom istotności hipoteza zerowa była odrzucana, co oznaczało istotny wpływ czynnika. Zarówno dla opony



9.5-24, jak i 31×15.5-15 nie wykazano istotnego wpływu zmiany obciążenia pionowego koła na wartości sprawności trakcyjnej oraz mocy traconej na poślizg.

## Wnioski

1. Obie opony charakteryzowały się podobnymi przyrostami siły trakcyjnej na skutek zwiększania obciążenia pionowego, różne były jednak zmiany składowych tej siły. Opona 9.5-24 charakteryzowała się większymi zmianami siły uciągu, natomiast dla opony 31×15.5-15 obserwowano większe zmiany oporu przetaczania.
2. W przypadku obu opon zwiększanie obciążenia pionowego skutkowało podobnymi zmianami wartości mocy całkowitych kół wyposażonych w te opony. Stwierdzono jednak pewne różnice w zmianach mocy składowych; o ile zmiany mocy uciągu obu opon były porównywalne, to większe zmiany mocy traconych na opór przetaczania i poślizg stwierdzono dla opony 31×15.5-15.
3. Zarówno dla koła z oponą 9.5-24, jak i 31×15.5-15 nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w wartościach sprawności trakcyjnej przy różnych poziomach obciążenia pionowego.

## Literatura

- Bashford, L.L.; Kocher, M.F. (1998). Belts v.s. tires. *ASAE Paper No. 98-1073*.
- Bashford, L.L.; Kocher, M.F.; Tibbetts, T.S. (1999). Wide tires, narrow tires. *Biological Systems Engineering: Papers and Publications, Paper 174*, 1-7.
- Białczyk, W.; Cudzik, A.; Czarnecki, J.; Brennenstul, M. (2012). Energetyczna ocena współpracy opon ciągnika z podłożami rolniczymi o różnych stopniach zagęszczenia. *Inżynieria Rolnicza*, 4(139)T.1, 7-17.
- Brodbeck, K.N. (2004). Choosing the right tire. *ASAE Publication, 913C0204*, 1-13.
- Gholkar, M.D.; Salokhe, V.M.; Keen, A. (2009). The Effect of axle load and tire inflation pressure on the tractive performance of a two wheel drive tractor on soft clay paddy field. *An ASABE Meeting Presentation, Paper Number 096606*, 1-12.
- Grisso, R.; Taylor, R.K.; Way, T.R.; Bashford, L.L. (1992). Tractive performance of 18.4R46 and 18.4R42 radial tractor tires. *ASAE Paper no 91-1589*, 739-745.
- Jenane, C.; Bashford, L.L.; Monroe, G. (1996). Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. *Journal Agricultural Engineering Research*, 64. 131-138.
- Jun, H.; Way, T.R.; Löfgren, B.; Landström, M.; Bailey, A.C.; Burt, E.C.; McDonald, T.P. (2004). Dynamic load and inflation pressure effects of contact pressures of a forestry forwarder tire. *Journal of Terramechanics*, 41, 209-222.
- Lancas, K.P.; Santos Filho, A.G.; Upadhyaya, S.K. (1997). Performance of low/correct pressure radial ply tires. *ASAE Paper, No. 97-1026*.
- Materek, D. (2004). Analiza właściwości trakcyjnych kołowego ciągnika rolniczego w wybranych technologiach uprawy roślin. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Nr 493*. 34-76.
- Narang, S.; Varshney, A.C. (2006). Draftability of a 8,95 kW walking tractor on tilled land. *Journal of Terramechanics*, 43. 395-409.
- 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*, 25(2), 111-134.

- Wulfsohn, D.; Way, T.R. (2009). Factors that influence tractive performance of wheels, tracks and vehicles. *Advances in Soil Dynamics vol. 3. St Joseph Michigan ASABE*, 209-252.
- Taghavifar, H.; Mardani, A. (2013). Investigating the effect of velocity. Inflation pressure and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire. *Journal of Terramechanics*, 50, 99-106.
- Zoz, F.M.; Grisso, R.D. (2003). *Traction and tractor performance*. ASAE Distinguished Lecture Series, Tractor Design No 27, publication number 913C0403.

## **ASSESSMENT OF REACTION OF TYRES WITH DIFFERENT EXTERNAL DIMENSIONS ON THE CHANGE OF VERTICAL LOAD**

**Abstract.** The objective of the research was to compare the nature of changes of tractive properties of tractor tyres with different external dimensions depending on the change of the vertical load level. Two diagonal tyres 9.5-24 and 31×15.5-15 with a traditional shape of a tread were selected for the research. The following tractive properties were analysed: slide, tractive force along with its components, tractive efficiency and values of the towing power and powers lost at slide and rolling resistance. Three vertical load levels of wheels were applied: 4620, 5320 and 6110 N. The research was carried out on one base (stubble field). A mobile stand aggregated with a field tractor was used for determination of tractive properties. Based on the obtained results, it was proved that both tyres similarly reacted on the change of vertical load; in both cases certain changes of tractive force and the rolling resistance were reported; whereas no differences were proved in the tractive capacities values.

**Key words:** tractor, tyre, tractive capacity, towing power, rolling resistance

**Dane do korespondencji:**

Marek Brennenstul; e-mail: marekbrennenstul@o2.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chełmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław