

OCENA TRAKCYJNA OPON DO UNIWERSALNEGO CIĄGNIKA ROLNICZEGO*

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

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę pracy koła napędowego, wyposażonego w oponę 8.3-20, na trzech różnych podłożach rolniczych (ściernisko, droga gruntowa, darń łąkowa). Na podstawie pomiarów i obliczeń wyznaczono właściwości trakcyjne badanego koła. Jako cel pracy przyjęto porównanie wybranych podłoży rolniczych w aspekcie ich właściwości trakcyjnych; parametrem, który posłużył do tego celu była sprawność trakcyjna. Badania trakcyjne wykonywano dla trzech obciążeń pionowych, co umożliwiło ustalenie wpływu tego czynnika na właściwości trakcyjne koła. Badań dokonano z wykorzystaniem specjalistycznego stanowiska umożliwiającego pomiar parametrów, na podstawie których wyznaczano poślizg badanego koła oraz siłę trakcyjną i sprawność trakcyjną. Stwierdzono, że eksploatacja badanej opony nie gwarantuje uzyskiwania porównywalnych właściwości trakcyjnych na odmiennych podłożach.

Słowa kluczowe: ciągnik rolniczy, sprawność trakcyjna, poślizg, obciążenie koła

Wstęp

We współczesnym rolnictwie ciągnik rolniczy jest głównym źródłem energii pociągowej. Jedną z istotnych cech współczesnych ciągników rolniczych jest ich uniwersalność, która przejawia się tym, że ciągniki mogą być wykorzystywane do wielu prac często na skrajnie odmiennych podłożach [Dajniak 1983]. Podłoża mogą posiadać różne właściwości mechaniczne, co sprawia, że warunki współpracy kół ciągnika z tymi podłożami będą odmiennie. Z tego względu, eksploatacji tego samego ciągnika na różnych podłożach mogą towarzyszyć inne straty energii przy przenoszeniu siły trakcyjnej. Siła trakcyjna może być przenoszona w różny sposób (z przewagą ścinania bądź tarcia). Dyskusyjne wydaje się zatem porównywanie właściwości trakcyjnych koła na różnych podłożach jedynie na podstawie wartości siły trakcyjnej. Parametrem, mogącym posłużyć do oceny współpracy koła z różnymi podłożami jest sprawność trakcyjna, która określa jaka część siły napędowej została zużyta na pokonanie oporów całkowitych pojazdu [Jakliński 2006].

*Badania finansowane w ramach projektu badawczego nr N N313 759340

Rodzaj i właściwości podłoża, jako czynniki warunkujące właściwości trakcyjne, były przedmiotem wielu badań. Wykazano, że na podłożach o odmiennej wytrzymałości występowały różne wartości siły i sprawności trakcyjnej [Bashford i in. 1987; Wulfsohn i in. 2009]. Przeprowadzono badania nad wpływem zabiegów agrotechnicznych na właściwości trakcyjne; Zoz i in. [2003] zaobserwowali istotne różnice pomiędzy sprawnościami trakcyjnymi osiąganymi na glebie nieuprawnionej oraz uprawianej różnymi metodami. W ostatnich latach, z racji zwiększonego zainteresowania uproszczonymi technologiami uprawy gleby wykonywane były badania nad wpływem technologii uprawy na właściwości trakcyjne podłoża. Stwierdzono, że istnieją różnice między wartościami oporów przetaczania koła na glebach uprawianych odmiennymi technologiami [Botta i in. 2012]. W badaniach przeprowadzanych przez Białczyka i in. [2001] stwierdzono, że istnieje zależność pomiędzy parametrami podłoża (takimi jak zwężność, wytrzymałość na ścinanie) a właściwościami trakcyjnymi. W badaniach tych uwzględniano również różnice w wartościach siły i sprawności trakcyjnej wynikające z systemu uprawy gleby [Białczyk i in. 2011].

Pewnym sposobem na poprawę właściwości trakcyjnych pojazdów rolniczych jest zwiększenie obciążenia kół napędowych, toteż prowadzono liczne badania nad wpływem tego parametru na siłę i sprawność trakcyjną. Wykazano, iż zwiększanie obciążenia pionowego skutkowało polepszeniem właściwości trakcyjnych [Jenane, Bashford 2000; Sharma, Pandey 2001; Białczyk i in. 2011].

Przeprowadzona analiza literatury pozwala stwierdzić, że niewielka jest liczba publikacji traktujących o właściwościach trakcyjnych pojazdów rolniczych eksploatowanych na skrajnie odmiennych podłożach. Zagadnienie to zostanie opisane w niniejszej pracy.

Cel, zakres i metoda badań

Celem podjętych badań było:

- porównanie badanych podłoży w aspekcie zmian właściwości trakcyjnych,
- ustalenie wpływu obciążenia pionowego koła na zmiany jego sprawności trakcyjnej przy różnych wartościach poślizgu koła, na odmiennych podłożach.

Do badań wybrano rolniczą diagonalną oponę napędową 8.3-20 typu AN o klasycznej rzeźbie bieżnika. Średnica zewnętrzna opony wynosiła 850 mm, natomiast szerokość 210 mm. Opona ta jest stosowana w ciągnikach klasy uciągu 4.0 kN, użytkowanych zarówno przy pracach polowych, komunalnych, jak i w transporcie. W zmiennych warunkach eksploatacji ciągnika nie praktykuje się stosowania różnych opon przeznaczanych na konkretne podłoża. Badania przeprowadzono przy trzech poziomach obciążenia pionowego koła: 4620, 5320 i 6060 N. Wartość ciśnienia powietrza przy wszystkich trzech obciążeniach pionowych była jednakowa i wynosiła 0,12 MPa. Zarówno wartość ciśnienia powietrza, jak i obciążeń pionowych były zgodne z zaleceniami producenta opony. Do badań przyjęto trzy podłoża rolnicze o odmiennych właściwościach:

- ściernisko po pszenicy uprawianej tradycyjnym systemem uprawowym,
- droga gruntowa,
- darń łukowa.

W celu potwierdzenia odmienności właściwości przyjętych podłoży wykonano badania ich wilgotności, zwięzłości oraz maksymalnych naprężeń ścinających. Wartości tych parametrów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości parametrów badanych podłoży
Table 1. Values of the researched surfaces parameters

Podłoże	Wilgotność względna [%]	Zwięzłość [MPa]	Naprężenia ścinające [kPa]
Ściernisko	18,2	1,37	70
Droga	14,3	3,93	101
Darń	20,7	2,90	89

Źródło: opracowanie własne

Badania właściwości trakcyjnych wykonywane były przy użyciu specjalistycznego stanowiska współpracującego z ciągnikiem rolniczym. Badane koło umieszczano na wale, który napędzany był od wałka odbioru mocy ciągnika za pośrednictwem szeregu przekładni. Stanowisko było wyposażone w siłomierz (pomiar siły uciągu), momentomierz (pomiar momentu obrotowego na kole) oraz czujniki potencjometryczne (pomiar drogi teoretycznej i rzeczywistej). Wszystkie pomiary wykonywano w pięciu powtórzeniach. Wartości promienia dynamicznego były wyznaczane na podstawie drogi przebytej przez badane koło po wykonaniu pięciu pełnych obrotów; osobno dla każdego obciążenia pionowego. Na podstawie wyników obliczano poślizg, siłę trakcyjną oraz sprawność trakcyjną, zgodnie z wzorami 1-3.

$$P_T = \frac{M_o}{r_d} \quad [\text{N}] \quad (1)$$

$$\delta = 100 \cdot \left(1 - \frac{s_R}{s_T} \right) \quad [\%] \quad (2)$$

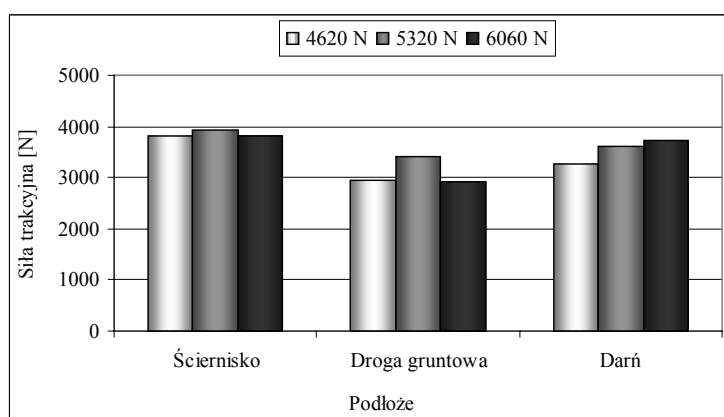
$$\eta = \frac{P_U}{M_o} r_d (100 - \delta) \quad [\%] \quad (3)$$

gdzie:

- P_T – siła trakcyjna [N],
- P_U – siła uciągu [N],
- M_o – moment obrotowy na kole [Nm],
- r_d – promień dynamiczny koła [m],
- δ – poślizg [%],
- s_R – wartość drogi rzeczywistej [m],
- s_T – wartość drogi [m].

Wyniki

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczono maksymalne wartości siły trakcyjnej uzyskiwane przy poślizgach z zakresu 0-15%. Zestawienie tych wartości dla wszystkich badanych podłoży i przy wszystkich stosowanych poziomach obciążenia przedstawiono na rysunku 1.



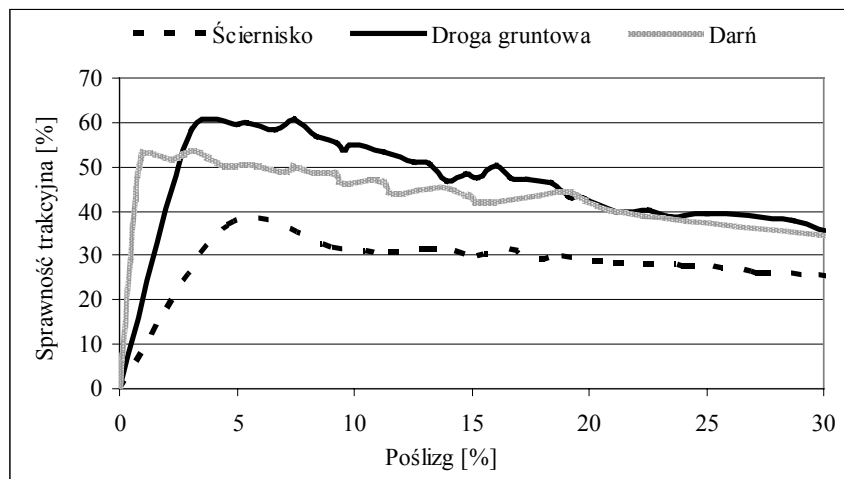
Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Maksymalne wartości sił trakcyjnych na badanych podłożach przy trzech poziomach obciążenia pionowego

Fig. 1. Maximum values of traction forces on the researched surface at three vertical loads levels

Z przedstawionego powyżej zestawienia wynika, że najwyższe wartości siły trakcyjnej wystąpiły na ściernisku. Jednocześnie na tym podłożu stwierdzono najmniejsze zmiany siły trakcyjnej na skutek zmian obciążenia pionowego koła. Jedynie na podłożu zadarnionym uzyskano wzrost siły trakcyjnej na skutek zwiększania obciążenia pionowego koła. Przypuszczalnie różnice w wartościach sił mogą mieć związek z różną wytrzymałością podłoża, a w konsekwencji różnym stopniem ingerencji występów bieżnika w poszczególne podłoża. Siła trakcyjna jest sumą siły uciągu i oporu przetaczania. Przypuszczać należy, że na podłożu o mniejszej wytrzymałości opór przetaczania jest większy, co skutkuje również większymi wartościami siły trakcyjnej.

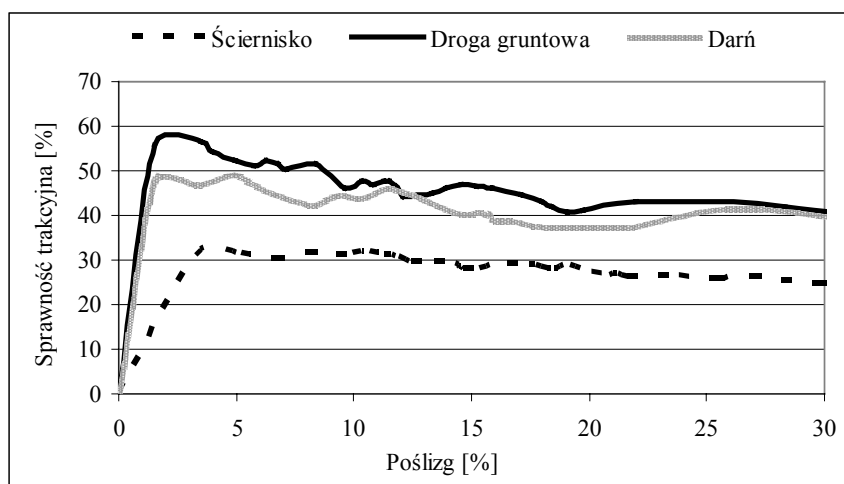
Z racji tego, że siła trakcyjna jest parametrem, który w niepełny sposób opisuje współpracę kół z różnymi podłożami, badane koła scharakteryzowano wartościami sprawności trakcyjnej. Na rysunku 2 przedstawiono przebieg sprawności trakcyjnej w funkcji poślizgu przy najniższym poziomie obciążenia pionowego (4620 N). Z przedstawionego przebiegu wynika, że na podłożu o mniejszej zwięzłości (ściernisko) wartości sprawności trakcyjnej były niższe niż w przypadku dwóch pozostałych podłoży. Ponadto, w przypadku ścierniska stwierdzono największy wzrost sprawności przy najniższych wartościach poślizgu. Maksymalne wartości sprawności występowały przy poślizgach z zakresu 3,2-5,7%.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Przebieg sprawności trakcyjnej w funkcji poślizgu przy obciążeniu 4620 N
Fig. 2. Course of traction efficiency in the function of sliding at load of 4620 N

Na rysunku 3 przedstawiono przebiegi sprawności trakcyjnej w funkcji poślizgu przy obciążeniu pionowym 5320 N.



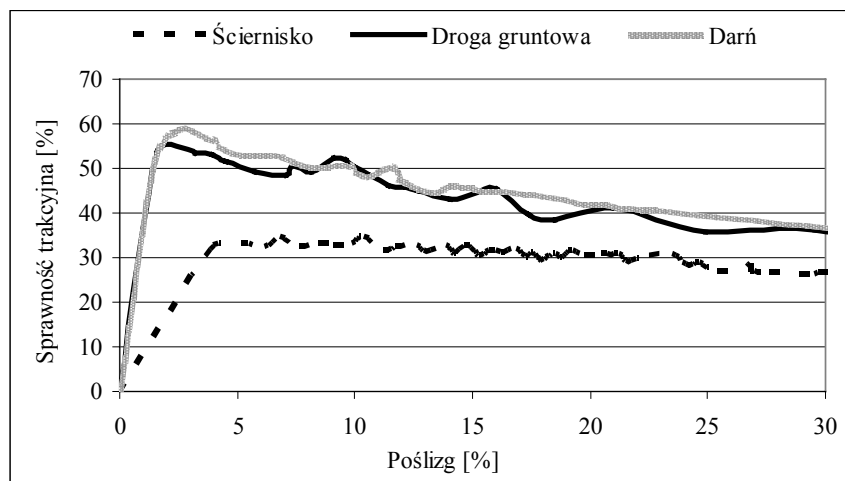
Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Przebiegi sprawności trakcyjnej w funkcji poślizgu przy obciążeniu 5320 N
Fig. 3. Courses of traction efficiency in the function of sliding at load of 5320 N

Analizując przebiegi przedstawione na rysunku 3 stwierdzić można, że charakter zmian sprawności trakcyjnej jest analogiczny jak w przypadku niższego poziomu obciążenia. Najwyższą wartość sprawności trakcyjnej (59,8%) osiągnięto na drodze gruntowej, natomiast najniższą (34%) na ściernisku. W przypadku tego ostatniego podłoża zaobserwowano ponadto najmniejsze wahania sprawności trakcyjnej przy zmianach poślizgu. Maksymalne wartości sprawności występowały przy poślizgach z zakresu 2,2-4,1%.

Przebieg sprawności w funkcji poślizgu przy najwyższym poziomie obciążenia (6060 N) przedstawiono na rysunku 4.

Podobnie, jak dla omawianych wcześniej poziomów obciążenia również przy obciążeniu 6060 N najniższą sprawnością (34,9%) charakteryzowało się ściernisko. Podobny był także charakter zmian sprawności w funkcji poślizgu – na ściernisku zaobserwowano najmniejsze wahania tego parametru. Najwyższą wartość sprawności osiągnięto (odmiennie niż w dwóch poprzednich przypadkach) na podłożu zadarnionym. Maksymalne wartości sprawności wystąpiły przy poślizgach z zakresu 2,3-6,7%.



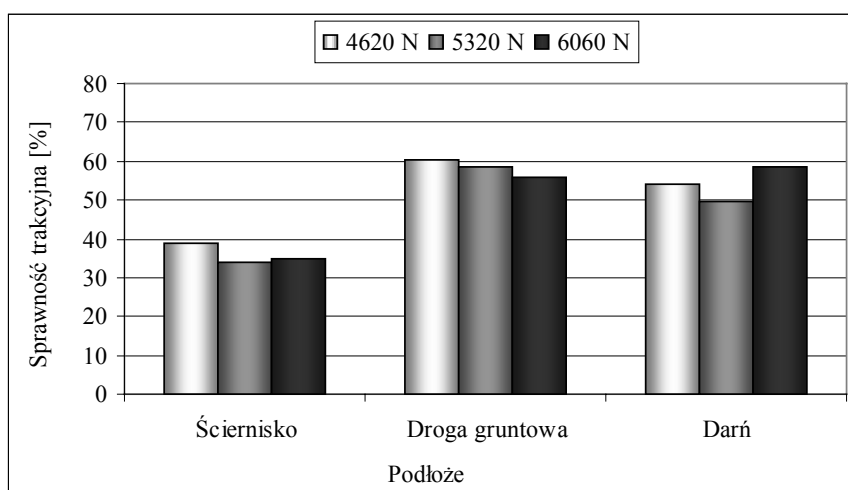
Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Przebiegi sprawności trakcyjnej w funkcji poślizgu przy obciążeniu 6060 N

Fig. 4. Courses of traction efficiency in the function of sliding at load of 6060 N

Przedstawione przebiegi sprawności trakcyjnej w funkcji poślizgu mają charakter zbliżony do przebiegów przedstawianych w literaturze. We wszystkich przypadkach zaobserwować można przyrost wartości sprawności przy najniższych poślizgach, a następnie jej powolny spadek. Pewne różnice dotyczą jednak wartości poślizgów, przy których występują sprawności maksymalne; zakres ten wynosił 2-8%, podczas gdy w literaturze spotkać można wyniki, w których maksymalne sprawności trakcyjne odpowiadają poślizgom z zakresu 10-15% [Bashford i in. 1987; Zoz i in. 2003].

Porównanie maksymalnych sprawności na poszczególnych podłożach wymagało zestawienia tych wartości przy wszystkich poziomach obciążenia pionowego. Zestawienie to przedstawiono na rysunku 5. Analiza poniższego zestawienia pozwala stwierdzić, że najniższe wartości sprawności osiągnięte zostały na ściernisku – sytuację taką zaobserwowano przy wszystkich poziomach obciążenia pionowego. Przy niższych poziomach obciążenia pionowego wyższymi sprawnościami charakteryzowała się droga gruntowa, natomiast przy największym obciążeniu pionowym najwyższa wartość sprawności wystąpiła na podłożu zadarnionym.



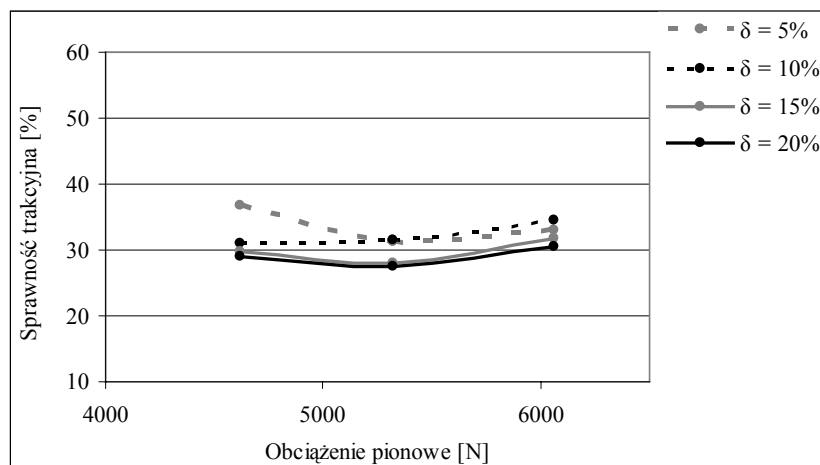
Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Maksymalne wartości sprawności na badanych podłożach przy trzech poziomach obciążenia pionowego

Fig. 5. Maximum values of efficiency on the researched surfaces at three vertical loads levels

W celu dokładnego opisanie wpływu obciążenia pionowego koła na zmiany sprawności trakcyjnej na badanych podłożach sporządzono zestawienia wartości tego parametru dla trzech analizowanych obciążeń, przy poślizgach równych 5, 10, 15 i 20%. Dla każdego z podłoży dokonano osobnego zestawienia, co umożliwiło porównanie tych podłoży w aspekcie zmian sprawności trakcyjnych. Na rysunku 6 przedstawiono wartości sprawności na ściernisku.

Analizując wykres przedstawiony na rysunku 6, stwierdzić można, że przy poślizgu równym 10% dociążanie koła skutkuje największym przyrostem sprawności trakcyjnej. W przypadku najmniejszego poślizgu (5%) zwiększenie obciążenia koła skutkowało spadkiem sprawności trakcyjnej. Natomiast charakter zmiany sprawności przy poślizgach 15 i 20% były do siebie zbliżone. Przy początkowym zwiększeniu obciążenia (z 4620 do 5320 N) obserwowano pewien spadek sprawności (o około 2%), natomiast po zastosowaniu maksymalnego poziomu obciążenia wystąpił wzrost sprawności do wartości odpowiadającej najniższemu poziomowi obciążenia.



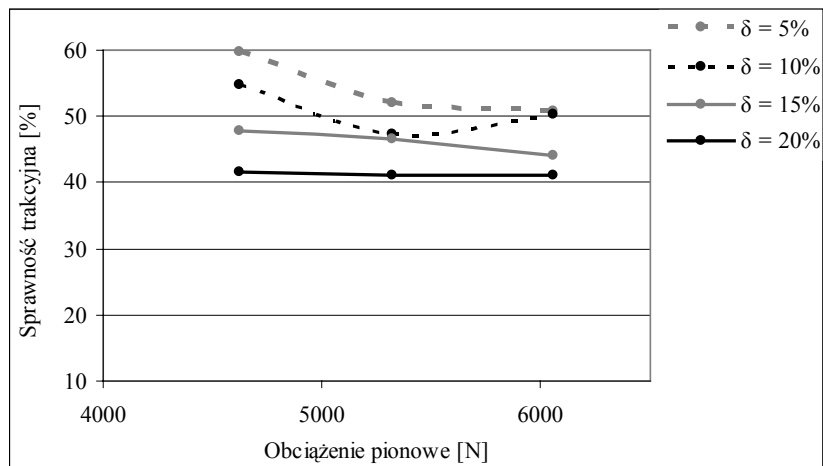
Źródło: opracowanie własne

Rys. 6. Wartości sprawności trakcyjnej przy trzech poziomach obciążenia pionowego i różnym poślizgu na ściernisku

Fig. 6. Values of traction efficiency at three levels of vertical load and various sliding on a stubble field

Analiza zestawienia sprawności wyznaczonych na drodze gruntowej (rysunek 7) pozwala stwierdzić, że charakter zmian w przypadku tego podłoża był inny niż na ściernisku. Zwiększanie obciążenia koła przy poślizgach 5, 15 i 20% skutkowało spadkiem sprawności trakcyjnej. Jedynie przy poślizgu równym 10% zwiększenie obciążenia z 4620 N do 5320 N spowodowało spadek sprawności o 7,5%, dalsze zwiększanie obciążenia skutkowało wzrostem sprawności o 3%. Najmniejsze zmiany wartości sprawności na skutek zwiększania obciążenia stwierdzono przy poślizgu 20%; wartości sprawności uzyskiwanych przy analizowanych wielkościach obciążenia zmieniały się w zakresie 0-1%.

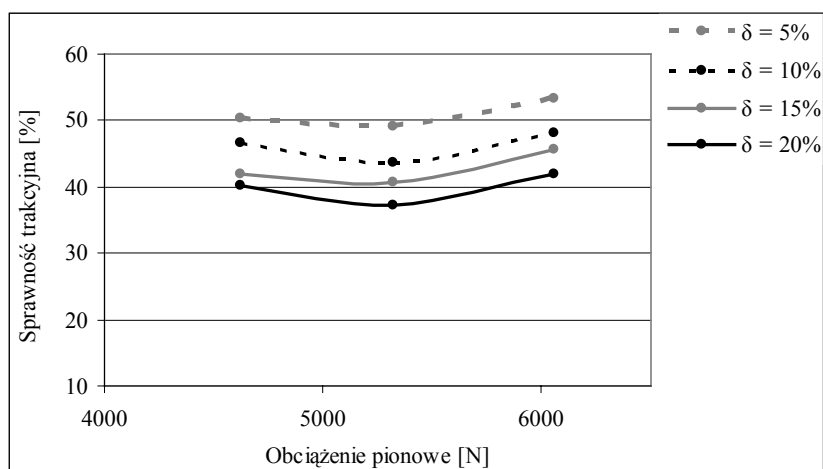
Charakter zmian sprawności na podłożu zadarnionym (rys. 8) różnił się od dwóch poprzednio opisywanych podłoży. Przy wszystkich wartościach poślizgu początkowe zwiększanie obciążenia skutkowało spadkiem sprawności, natomiast dalsze zwiększanie obciążenia powodowało wzrost sprawności do wartości wyższych niż przy pierwszym poziomie obciążenia. Najmniejsze zmiany analizowanego parametru stwierdzono przy poślizgu równym 5% – pierwsze zwiększenie obciążenia spowodowało w tym przypadku spadek sprawności o 1,2%, kolejne zwiększenie obciążenia skutkowało wzrostem o 4,1%. Największe zmiany sprawności stwierdzono przy poślizgu równym 20%; zmiany wartości przy wyniosły 2,8 i 4,6%.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 7. Wartości sprawności trakcyjnej przy trzech poziomach obciążenia pionowego i różnym poślizgu na drodze gruntowej

Fig. 7. Values of traction efficiency at three levels of vertical load and various sliding on a ground track



Źródło: opracowanie własne

Rys. 8. Wartości sprawności trakcyjnej przy trzech poziomach obciążenia pionowego i różnym poślizgu na darni

Fig. 8. Values of traction efficiency at three levels of vertical load and various sliding on a stubble field

Uzyskane wyniki poddano wieloczynnikowej analizie wariancji na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ przy pomocy pakietu Statistica 9.0. Wyniki tej analizy przedstawiono w tabeli 2. Zarówno rodzaj podłoża, jak i obciążenie pionowe koła miały istotny wpływ na maksymalne wartości sił trakcyjnych przy poślizgach z zakresu 0-15% oraz na maksymalne wartości sprawności trakcyjnych.

Tabela 2. Wyniki analizy statystycznej

Table 2. Statistic analysis results

Czynnik	Wartości p	
	Siła trakcyjna	Sprawność trakcyjna
Rodzaj podłoża	0,000002	0,000000
Obciążenie pionowe	0,017048	0,026000

Źródło: opracowanie własne

Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano następujące wnioski mające praktyczne znaczenie dla użytkownika ciągnika eksploatowanego w różnych warunkach terenowych:

1. Badana opona przy poślizgu w zakresie 0-15% najwyższe wartości sił trakcyjnych uzyskała na ściernisku. Na tym podłożu stwierdzono jednak najmniejszy wpływ obciążenia pionowego na wartości sił trakcyjnych.
2. Wyższe wartości maksymalnej sprawności trakcyjnej osiągnięto na podłożach o większej zwięzłości (droga gruntowa i darń). Na tych też podłożach maksymalne wartości sprawności trakcyjnej uzyskiwano przy niskich wartościach poślizgu koła, nieprzekraczających 3%.
3. Wykazano, że na ściernisku wzrost poślizgu koła skutkował najmniejszymi spadkami sprawności trakcyjnej. Najwyższe różnice stwierdzono na drodze gruntowej, na której wartości sprawności uzyskane przy poślizgu na poziomie 30% były o ponad 40% mniejsze od wartości maksymalnych.
4. Zmiany sprawności trakcyjnej na poszczególnych podłożach na skutek zwiększania obciążenia pionowego koła są zależne od wartości poślizgu koła. Na ściernisku wzrost sprawności po zastosowaniu najwyższego obciążenia wystąpił jedynie przy poślizgu 10%, natomiast na darni zwiększenie obciążenia skutkowało wzrostem sprawności przy wszystkich wartościach poślizgu.

Bibliografia

- Bashford L. L., Von Bargen K., Way T. R., Xiaoxian L.** (1987): Performance Comparisons between Duals and Singles on the Rear Axle of a Front Wheel Assist Tractor. *Transactions of the ASAE*, v. 30 (3), 641-645.
- Białczyk W., Cudzik A., Czarnecki J., Brennenstul M., Kaus A.** (2011): Ocena procesu przenoszenia siły napędowej przez oponę 7.50-16 w różnych technologiach uprawy gleby. *Inżynieria Rolnicza*, 4(129), 7-14.
- Białczyk W., Pieczarka K., Materek D.** (2001): Badanie przyczepności koła mikrociagnika w zmiennych warunkach glebowych. *Inżynieria Rolnicza*, 13(33), 79-84.
- Botta G. F., Tolon-Becerra A., Tourn M., Lastra-Bravo X., Rivero D.** (2012): Agricultural traffic: Motion resistance and soil compaction in relation to tractor design and different soil conditions. *Soil & Tillage Research* 120, 92-98.
- Dajniak H.** (1983): Ciągniki, Teoria ruchu i konstruowanie. WKiŁ, Warszawa, 13-15.
- Jakliński L.** (2006): Mechanika układu pojazd – teren w teorii i badaniach. Wybrane zagadnienia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 18-19.
- Jenane C., Bashford L. L.** (2000): Tractive performance of a mechanical front wheel assist tractor as related to forward speeds. *Journal of Agricultural Engineering Research* vol. 77, Issue 2, 221-226.
- Sharma A., Pandey K.** (2001): Matching tyre size to weight, speed and power available for maximizing pulling ability of agricultural tractors. *Journal of Terramechanics* 38, 89-97.
- Upadhyaya S. K., Chancellor W. J., Perumpral J. V., Wulfsohn D., Way T. R.** (2009): Advances in Soil Dynamics. ASABE. St. Joseph, Michigan, 213-220.
- Zoz F. M., Grisso R. D.** (2003): Traction and Tractor Performance. ASAE Distinguished Lecture Series, Tractor Design, 27, 24-25.

TRACTION ASSESSMENT OF UNIVERSAL FARM TRACTOR TYRES

Abstract. The article presents the analysis of a drive wheel operation, equipped with a tyre 8.3-20 on three different agricultural surfaces (stubble field, ground track, meadow sod). Traction properties of the researched wheel were determined on the basis of measurements and calculations. Comparison of the selected agricultural surfaces from the point of view of their traction parameters; traction efficiency was a parameter which was used for this purpose. Traction research were carried out for three vertical loads, which allowed estimating the influence of this factor on traction properties of the wheel. The research was carried out with the use of a specialistic stand, which allows for the measurement of parameters, on the grounds of which a slide of the researched wheel and a traction force as well as traction efficiency were determined. It was reported that exploitation of the researched tyre does not guarantee that comparable traction properties on variable surfaces will be obtained.

Key words: farm tractor, traction efficiency, sliding, wheel load

Adres do korespondencji:

Marek Brennenstul; e-mail: marek.brennenstul@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chelmońskiego 37/41
51-630 Wrocław