

## OCENA STRAT ENERGETYCZNYCH KOŁA NAPĘDOWEGO WYPOSAŻONEGO W OPONY TYPU GRASS

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

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań trakcyjnych przeprowadzonych na trzech obiektach zadarnionych różniących się normą wysiewu nasion. Celem badań było porównanie zdolności trakcyjnych i strat energetycznych dwóch opon o różnej konstrukcji. Dla opisu warunków badań przeprowadzono pomiary zwięzłości, maksymalnych naprężeń ścinających oraz wilgotności gleby darniowej. Analizowano wartości osiąganych sił i sprawności trakcyjnych, wykonano również bilans energetyczny kół wyposażonych w badane opony. Wykazano, że wartości sił trakcyjnych obu kół są porównywalne, lecz generowane w odmienny sposób. W przypadku opony 36x13,5-15 nie wykazano zależności pomiędzy normą wysiewu nasion, a sprawnością trakcyjną. Oponą 400x55-22,5 można było lepiej wykorzystać cechy wytrzymałościowe podłoża i osiągnąć wyższą sprawność na obiektach o większej normie wysiewu nasion. Dla opony 36x13,5-15 wykazano większe zapotrzebowanie na moc dostarczoną do koła, więcej mocy tracono na opór przetaczania. Dla opony 400x55-22,5 do uzyskania porównywalnej z oponą 36x13,5-15 siły trakcyjnej stwierdzono mniejsze zapotrzebowanie na moc, oraz większe straty mocy na poślizg.

**Słowa kluczowe:** opona, sprawność trakcyjna, moc uciągu, poślizg, opór przetaczania, bilans energetyczny

### Wstęp

Pojazdy poruszające się po podłożach odkształcalnych wyposażane są w opony gwarantujące uzyskiwanie odpowiednich zdolności trakcyjnych. Ważnym wymogiem jest również minimalizacja uszkodzenia rosnących roślin oraz zmniejszanie niekorzystnego wpływu na podłoże. Opony napędowe do upraw rolniczych posiadają wysokie występy bieżnika, które zagłębiając się w glebę pozwalają rozwijać dużą siłę uciągu oraz zmniejszają poślizg koła. Z uwagi na fakt, że większość prac odbywa się na tzw. glebie czystej lub w ścieżkach technologicznych stosowanie tego typu ogumienia jest uzasadnione i nie wiąże się z uszkodzeniem roślin (Upadhyaya i in., 1989; Turner, 1999).

Odmienne natomiast kształtuje się współpraca kół pojazdów poruszających się po podłożach zadarnionych. Gleba jest pokryta zwartą okrywą roślinną przerośniętą w głąb

korzeniami i rozłogami, co sprawia że powstały system jest szczególnie wrażliwy na oddziaływanie mechaniczne (Minner, 1993). W literaturze opisywany jest zazwyczaj problem ugniatania darni (Trenholm i in., 2000). Powszechne używanie klasycznych opon napędowych powoduje powstawanie zbyt dużych nacisków jednostkowych, co prowadzi do zagęszczenia gleby (Douglas, 1997). Pojawiają się ubytki roślin, zmiany ich barwy oraz wzrost liczebności chwastów, które są mniej wrażliwe na zmiany zachodzące w glebie. Opisywane są również zmiany w środowisku glebowym. Wskazuje się na płytki rozwój systemu korzeniowego, co ogranicza jego zdolność do pobierania wody głębiej zmagazynowanej (Douglas i in., 1993). Wzrasta gęstość objętościowa gleby, spada porowatość ogólna, obniża się również pojemność i przepuszczalność powietrzna (Głąb i in., 1999; Sveistrup, 1997).

Z powyższych względów kontakt opon z tego typu nawierzchnią musi sprostać dwóm sprzecznym często wymaganiom. Pierwszym wymaganiem jest zachowanie korzystnych warunków dla wzrostu i rozwoju roślin, drugim natomiast jest zapewnienie wytrzymałego podłoża zdolnego przenosić obciążenia mechaniczne bez nadmiernych odkształceń (Bro-snan, 2005). W ofercie handlowej znajduje się wiele konstrukcji opon przeznaczonych do prac w terenach zadarnionych. Zasadnym jest rozpoznanie jak kształtuje się współpraca tych opon z darnią, czy umożliwiają one generowanie sił uciągu bez nadmiernego poślizgu koła, czy możliwe jest ograniczanie strat energetycznych w procesie trakcyjnym.

## Cel pracy, metodyka i warunki badań

Analiza zagadnień związanych z użytkowaniem powierzchni zadarnionych sprawiła, że podjęto badania, których celem były:

1. Porównanie sił trakcyjnych i poślizgów opon o odmiennej konstrukcji występów bieżnika na darni o zróżnicowanej dawce wysiewu nasion.
2. Ocena energetyczna procesu generowania sił trakcyjnych poprzez wykonanie bilansu energetycznego kół wyposażonych w badane opony.

Badania wykonano jesienią 2011 roku na trzech obiektach Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Swojec należącego do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Gleba, na której prowadzono badania, to mada właściwa wytworzona z piasku gliniastego mocnego. Utworzono podłoże zadarnione rekreacyjno-sportowe, jego skład botaniczny oraz udział procentowy poszczególnych gatunków zamieszczono w tabeli 1. Na obiekcie I zastosowano normę wysiewu nasion równą  $25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , na obiekcie II  $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , natomiast na obiekcie III  $35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . W trakcie pomiarów trakcyjnych dokonano również wzrokowej oceny gęstości zadarnienia.

Nawożenie mineralne nie było konieczne, co wynikało z przeprowadzonej analizy zasobności gleby. Bezpośrednio przed wykonaniem badań trakcyjnych obiekty skoszono na wysokość 0,035 m oraz dokonano pomiarów charakteryzujących stan podłoża tj. zwięzłości gleby oraz maksymalnych naprężeń ścinających, ustalono również wilgotność gleby.

Do pomiarów zwięzłości gleby zastosowano penetrolgger firmy Eijkelkamp, z penetrometrem stożkowym o kącie wierzchołkowym  $60^\circ$  i polu podstawy  $0,0001 \text{ m}^2$ . Dodatkowym wyposażeniem tego przyrządu była sonda Theta Probe ML2x za pomocą której zmierzono wilgotność gleby. Pomiar maksymalnych naprężeń ścinających wykonano ścinarką

obrotową Vane H-60 firmy Geonor. Sondę pomiarową ścinarki zagłębiano w darń na głębokość 0,10 m, następnie wykonywano ruch obrotowy do momentu ścięcia podłoża, wartość naprężeń odczytywano ze skali o zakresie pomiarowym od 0 do 260 kPa.

Tabela 1

*Skład botaniczny wysianej mieszanki rekreacyjno-sportowej*

Table 1

*Botanic composition of a recreational and sports mixture which has been disseminated*

Nazwa gatunku	Odmiana	Udział (%)
Kostrzewa czerwona ( <i>Festuca rubra</i> L.)	<i>Lambada</i>	5%
	<i>Nista</i>	5%
	<i>Boreal</i>	5%
	<i>Adio</i>	15%
	<i>Maxima</i>	15%
Życica trwała ( <i>Lolium perenne</i> L.)	<i>Naki</i>	15%
	<i>Bokser</i>	40%



Do badań trakcyjnych wybrano opony 36x13,5-15 oraz 400x55-22,5, które mogą być stosowane zamiennie na kołach tego samego pojazdu wykonującego zabiegi na powierzchniach zadarnionych. Parametry techniczne badanych opon zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2

*Parametry techniczne badanych opon*

Table 2

*Technical parameters of the investigated tyres*

	Multitrac Titan CIS 36x13,5-15	Trelleborg Twin 404 400x55-22,5
Opona		
Średnica osadzenia (mm)	381	570
Średnica zewnętrzna (mm)	914	1130
Szerokość (mm)	343	400
Nośność max (kg)	1550	1120

Obciążenie pionowe badanych kół mieściło się w zakresie obciążeń eksploatacyjnych i równe było 3300N, a ciśnienie powietrza w obu oponach wynosiło 0,15 MPa. Poszczególne koła z badanymi oponami zamontowano na specjalistycznym stanowisku pomiaro-

wym (Białczyk i in., 2010). Z wykorzystaniem oprzyrządowania stanowiska dokonano rejestracji wartości siły uciągu, momentu napędowego oraz drogi teoretycznej i rzeczywistej badanego koła. Na podstawie uzyskanych parametrów obliczono wartości siły trakcyjnej, oporu przetaczania oraz sprawności trakcyjnej. Wykonano również bilans energetyczny, w którym scharakteryzowano proporcje pomiędzy mocą użyteczną (uciągu), a mocami traconymi (związanymi z poślizgiem oraz oporem przetaczania) dla kół z badanymi oponami (Białczyk i in., 2013).

### Analiza wyników

W tabeli 3 przedstawiono wartości zmierzonych parametrów gleby darniowej. Stwierdzono wzrost zwięzłości gleby dla niżej położonych przedziałów głębokości. Najmniejszą wartością tego parametru charakteryzował się przedział 0-0,05 m, gdzie występuje największa koncentracja masy organicznej ograniczająca zagęszczenie gleby (Gajda i in., 1999). Większa norma wysiewu nasion na obiektach II i III skutkowała obserwowaną większą gęstością zadarnienia oraz wyższą wilgotnością gleby, co również przyczyniło się do spadku zwięzłości. Dla tych obiektów zanotowano wyższe wartości maksymalnych naprężeń ścinających, co może świadczyć o większej wytrzymałości darni w płaszczyźnie poziomej.

Tabela 3

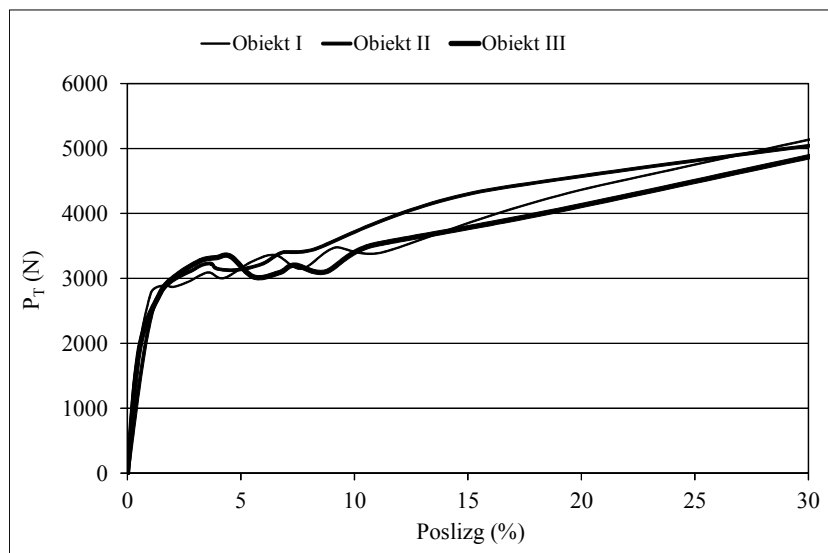
*Parametry podłoża zadarnionego na badanych obiektach*

Table 3

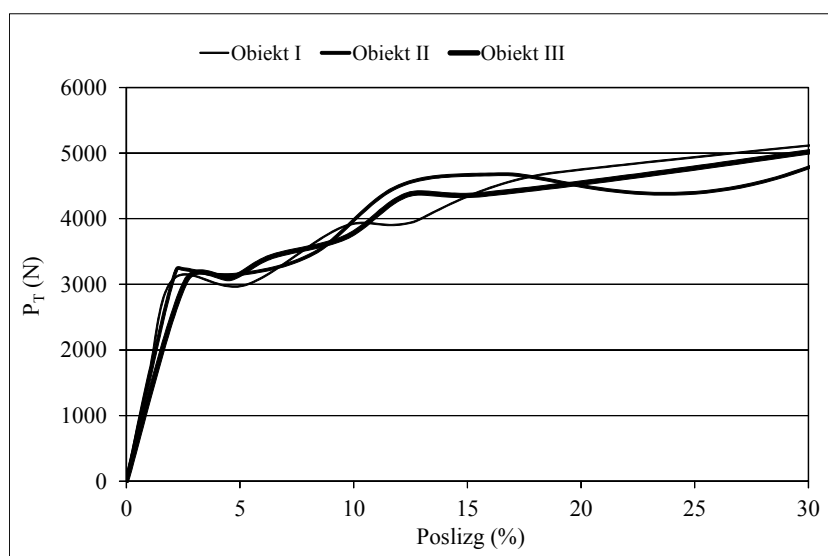
*Parameters of the sodded subgrade on the researched facilities*

Obiekt	Przedział głębokości (m)	Zwięzłość (MPa)	Maksymalne naprężenia ścinające (kPa)	Wilgotność (%)
I	0 – 0,05	1,6	156	10,4
	0,05 – 0,1	2,8	171	
	0,1 – 0,15	3,3	179	
II	0 – 0,05	1,5	158	10,6
	0,05 – 0,1	2,7	186	
	0,1 – 0,15	3,2	188	
III	0 – 0,05	1,4	166	11,2
	0,05 – 0,1	2,5	190	
	0,1 – 0,15	3,0	198	

Na rysunku 1 i 2 przedstawiono przebiegi sił trakcyjnych badanych opon. W zakresie analizowanego 30% poślizgu badane opony osiągały siły trakcyjne o porównywalnych wartościach. Dla opony 36x13,5-15 najwyższe wartości tego parametru zanotowano na obiekcie III, co świadczyć może o dobrym wykorzystaniu zdolności wytrzymałościowych podłoża zadarnionego. Po przekroczeniu poślizgu 5% zaobserwowano proporcjonalny przyrost siły trakcyjnej na wszystkich analizowanych obiektach, co wskazuje na ograniczone zagłębianie się występów bieżnika tej opony i małe uszkodzanie darni.



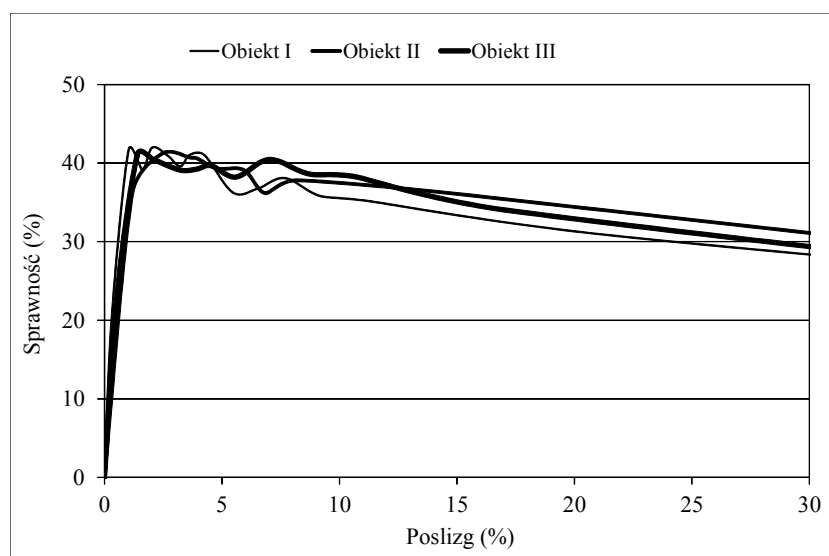
Rysunek 1. Przebieg siły trakcyjnej opony 36x13,5-15  
Figure 1. Course of traction force of a tyre 36x13.5-15



Rysunek 2. Przebieg siły trakcyjnej opony 400x55-22,5  
Figure 2. Course of traction force of a tyre 400x55-22.5

Dla opony 400x55-22,5 wystąpiło wyraźne ścięcie darni dla poślizgu 2,5%. Zagłębiające się wąskie występy bieżnika tej opony w głąb gleby powodowały chwilowy spadek siły trakcyjnej, skutkiem czego były widoczne uszkodzenia darni. Dalszy wzrost siły trakcyjnej był widoczny również po przekroczeniu 5% poślizgu koła. Mniejszą dynamikę przyrostu siły trakcyjnej można zaobserwować po osiągnięciu poślizgu ok. 12,5%, co świadczy o przekroczeniu wytrzymałości darni i znacznych odkształceniach postaciowych (Jakliński, 2006).

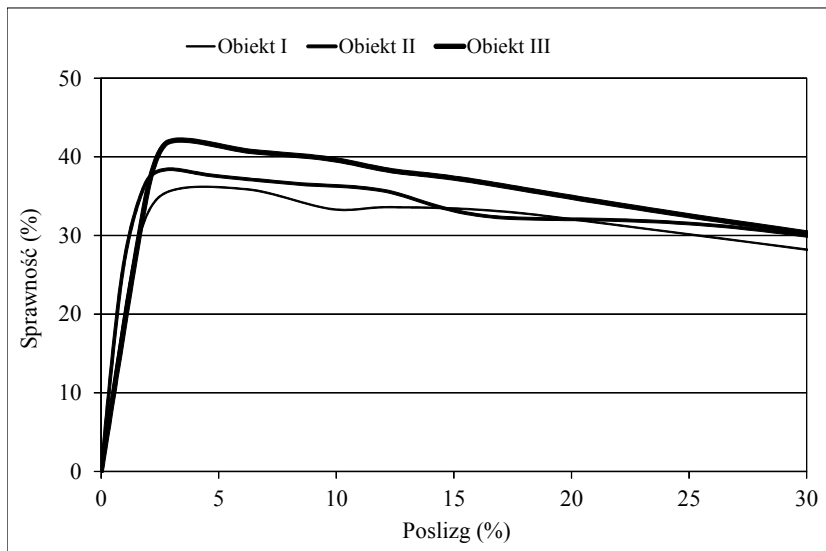
Na rysunku 3 i 4 przedstawiono przebiegi sprawności trakcyjnej badanych opon. Wykazano istotne różnice w wartościach maksymalnej sprawności pomiędzy badanymi obiektami dla analizowanych opon. Opona 36x13,5-15 maksymalną wartość tego parametru równą 41,7% uzyskała w przedziale od 1% do 2,5% poślizgu koła, przy czym nie wykazano ścisłej zależności pomiędzy większą gęstością zadarnienia wynikającą z wyższej normy wysiewu nasion, a osiąganą sprawnością. Na obserwowany charakter zmian sprawności miały prawdopodobnie wpływ opory przetaczania porównywalne na wszystkich badanych obiektach, wynikające z powierzchniowego oddziaływania tej opony z podłożem.



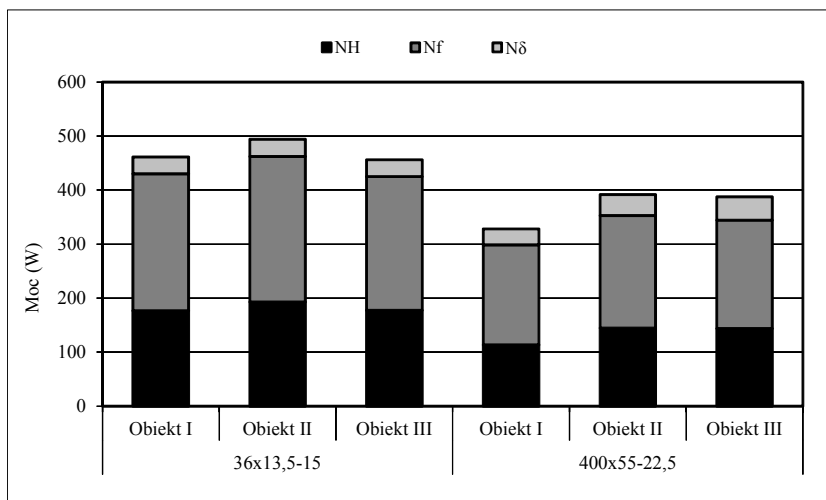
Rysunek 3. Przebiegi sprawności trakcyjnej opony 36x13,5-15  
 Figure 3. Courses of traction efficiency of a tyre 36x13.5-15

Dla opony 400x55-22,5 stwierdzono wyraźny wzrost sprawności trakcyjnej na obiektach o większej normie wysiewu nasion. Najniższą wartość tego parametru równą 36% uzyskaną dla największego 5% poślizgu zanotowano na obiekcie I. Dla tego obiektu zaobserwowano największe zagłębienie występów bieżnika w glebę, pomimo stwierdzonej największej zwięzłości gleby. Zmniejszyła się również zdolność darni do przenoszenia naprężeń stycznych (najniższe wartości maksymalnych naprężeń ścinających). Największą sprawność równą 42% uzyskano na obiekcie III, co było wynikiem zwiększonej wytrzymałości darni ograniczającej opory przetaczania tej opony.

Na rysunku 5 przedstawiono zestawienie średnich wartości mocy obliczonych dla analizowanego zakresu poślizgu koła.



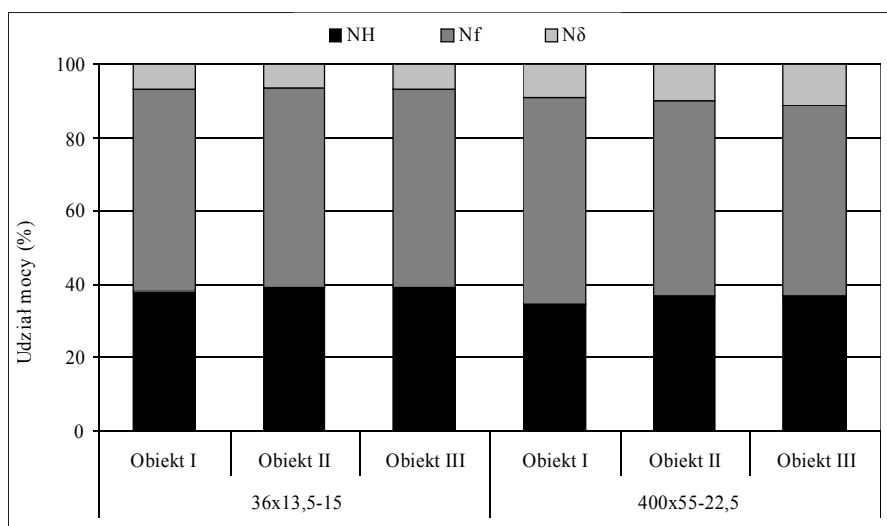
Rysunek 4. Przebiegi sprawności trakcyjnej opony 400x55-22,5  
 Figure 4. Courses of traction efficiency of a tyre 400x55-22.5



Rysunek 5. Zestawienie średnich wartości mocy obliczonych dla analizowanego zakresu poślizgu. NH – moc uciagu, Nf – moc oporów przetaczania, Nδ – moc tracona na poślizg koła  
 Figure 5. The list of average values of power calculated for the analysed scope of skid. NH- towing power, Nf – power of rolling resistance, Nδ – power lost for the skid of a wheel

Opona 36x13,5-15, aby uzyskać siłę trakcyjną na porównywalnym z oponą 400x55-22,5 poziomie potrzebowała więcej mocy (od 454 W do 493 W). Związane to było z większym zapotrzebowaniem na moc uciągu (od 176 W do 192 W) oraz moc oporów przetaczania (od 247 W do 269 W). Zaistniała sytuacja wynikała z dużej powierzchni kontaktu opony 36x13,5-15 z podłożem i związanymi z tym dużymi oporami ruchu. Dla opony 400x55-22,5 wzrosło natomiast zapotrzebowanie na moc traconą na poślizg koła do 43 W na obiekcie III, co związane było ze znaczną ilością masy organicznej utrudniającej zagłębienie wąskich występów bieżnika tej opony.

Przedstawienie powyższych zależności pozwoliło ocenić charakter zmian analizowanych parametrów, jednak do analizy udziału poszczególnych mocy w mocy całkowitej dostarczonej do koła na rysunku 6 przedstawiono ich procentowy udział. Opona 36x13,5-15 cechowała się podobnym zapotrzebowaniem na moc uciągu i moc oporów przetaczania na wszystkich analizowanych obiektach, co potwierdza wcześniejsze przypuszczenia o jej powierzchniowym działaniu.



Rysunek 6. Udział procentowy poszczególnych mocy w mocy całkowitej  
Figure 6. Percentage share of particular powers in the total power

Na obiekcie III opona ta nieznacznie więcej mocy (do 7 W) traciła na poślizg koła, co związane było ze wspomnianą powyżej większą ilością części nadziemnych roślin wynikającą z wyższej normy wysiewu nasion. Opona 400x55-22,5 na obiekcie I mniej mocy wykorzystywała na siłę uciągu (34 W), wzrosło natomiast zapotrzebowanie na moc oporów przetaczania do 56 W. Związane to było z zagłębieniem się występów bieżnika w głąb darni, co pozwoliło ograniczyć do 9 W moc traconą na poślizg koła.

Na podstawie uzyskanych wyników wykonano wieloczynnikową analizę wariancji na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ , z wykorzystaniem pakietu Statistica 9.0. Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 4. Nie wykazano wpływu odmiennej konstrukcji opon na wartość generowanej siły trakcyjnej. Badane opony osiągały natomiast istotnie różne wartości tych



sił na poszczególnych obiektach. Analiza sprawności trakcyjnej oraz poszczególnych mocy ( $NH$ ,  $Nf$  oraz  $N\delta$ ) pozwoliła wykazać istotny charakter zmian tych parametrów, co świadczy o odmiennym przebiegu procesu trakcyjnego oraz różnych wartościach strat energetycznych.

Tabela 4.  
Wyniki analizy statystycznej  
Table 4  
Results of the statistical analysis

Czynnik	Wartość p				
	$P_T$	$\eta$	$NH$	$Nf$	$N\delta$
Opona	0,877892	0,001569	0,000003	0,000003	0,013625
Obiekt	0,011235	0,017537	0,000346	0,000229	0,044503

## Wnioski

3. Nie stwierdzono istotnych zmian sił trakcyjnych pomiędzy badanymi oponami. Wykazano natomiast różnice w wartościach tego parametru na poszczególnych obiektach, co związane było z odmiennym przebiegiem procesu trakcyjnego. Opona 36x13,5-15 charakteryzowała się powierzchniowym oddziaływaniem na podłoże, co nie pozwoliło wykazać zależności pomiędzy różną normą wysiewu nasion, a osiąganą sprawnością trakcyjną. Opona 400x55-22,5 z uwagi na odmienną konstrukcję występów bieżnika lepiej wykorzystwała cechy wytrzymałościowe podłoża. Wynikiem tego były wyższe wartości sprawności trakcyjnej na obiektach o większej normie wysiewu nasion.
4. Większym zapotrzebowaniem na moc całkowitą wykazała się opona 36x13,5-15, co nie przełożyło się bezpośrednio na wzrost siły trakcyjnej tej opony, gdyż odnotowano większe straty mocy traconej na opór przetaczania. Opona 400x55-22,5 do wytworzenia porównywalnej z oponą 36x13,5-15 siły trakcyjnej potrzebowała mniej mocy, więcej mocy traciła na poślizg koła.
5. Zasadnym wydaje się stwierdzenie, że opona 400x55-22,5 dzięki wspomnianemu powyżej lepszemu wykorzystaniu cech wytrzymałościowych podłoża może być rozwiązaniem alternatywnym na skłonach, szczególnie w trakcie wykonywania zabiegów wymagających znacznych sił uciągu.

## Literatura

- Białczyk, W.; Czarniecki, J.; Cudzik, A.; Brennenstul, M. (2010). Ocena właściwości trakcyjnych wybranych opon na podłożach zadarnionych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 7(125), 15-22.
- Białczyk, W.; Czarniecki, J.; Cudzik, A.; Brennenstul, M. (2013). Evaluation of changes in traction properties of driving tyres on soil covered with turf. *TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. XIII 1/2013.
- Brosnan, J.; Ebdon, J.; Dest, W. (2005). Characteristics in diverse wear tolerant genotypes of Kentucky bluegrass. *Crop Science* vol. 45, 1917-1926.
- Douglas, J. (1997). Soil compaction effects on second-harvest yields of perennial ryegrass for silage. *Grass and Forage Science*. 52, 129-133.

- Douglas, J.; Crawford, C., (1993). The response of a ryegrass sward to wheel traffic and applied nitrogen. *Grass and Forage Science*. 48, 91-100.
- Gajda, J.; Lipińska, H. (1999). Zmiany w składzie gatunkowym runi łąkowej w miarę ekstensyfikacji użytkowania. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis*, 197, Agricultura (75), 67-70.
- Głąb, T.; Zalewski, T. (1999). The Influence of Soil Compaction on Water Retention of Soil on Grasslands. *Acta Agraria et Silvustria, Series Agraria*, 37, 69-75.
- Jakliński, L. (2006). Mechanika układu pojazd - teren w teorii i badaniach. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*.
- Minner, D.; Dunn, J.; Bughrara, S.; Fresenburg, B. (1993). Traffic tolerance among cultivars of Kentucky bluegrass, tall fescue, and perennial ryegrass. *International Turfgrass Society Research Journal. Volume 7*, 687-694.
- Sveistrup, T.; Haraldsen, T. (1997). Effects of soil compaction on root development of perennial grass leys in northern Norway. *Grass and Forage Science*, 52, 381-387.
- Trenholm, L.; Carrow, R.; Duncan, R. R. (2000). Mechanisms of Wear Tolerance in Seashore Paspalum and Bermudagrass. *Crop Sci.* 40, 1350-1357.
- Tuner, R. (1999). Field performance of Trelleborg and similar size radial tire. *ASAE Paper no 99-1038*, 1-14.
- Upadhyaya, S.; Wulfsohn, D.; Jubbal, G. (1989). Traction prediction equations for radial ply tyres. *Journal of Terramechanics* 26, 149-175.

## ASSESSMENT OF ENERGY LOSSES OF A DRIVE WHEEL EQUIPPED WITH GRASS TYPE TYRES

**Abstract.** The study presents the results of traction experiments conducted on three sodded objects differing with seeds sowing norm. The objective of the paper was to compare traction abilities and energy losses of two tyres of different structures. For description of the research conditions, measurements of compactness, maximum shear stress and the moisture of sod soil were carried out. Values of the obtained forces and traction efficiencies were analysed, energy balance of wheels equipped with the researched tyres was also conducted. It was proved that the value of traction forces of wheels were comparable, but generated in a different manner. In case of 36x13.5-15 tyre - no relations between seeds sowing and traction efficiency were proved. 400x55-22.5 tyre could be better used for strength properties of subgrade and for achieving higher efficiency on facilities with a higher norm of seeds sowing. For 36x13.5-15 tyre higher demand for power supplied to the wheel was proved; more power was lost for the rolling resistance. For 400x55-22.5 tyre in order to obtain comparable traction force as for 36x13.5-15 tyre, lower demand for power and higher losses of power for skid were reported.

**Key words:** tyre, traction efficiency, towing power, skid, rolling resistance, energy balance

### Adres do korespondencji:

Jarosław Czarnecki jaroslaw.czarnecki@up.wroc.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chełmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław