

## ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI TRAKCYJNYCH OPON NA PODŁOŻU LEŚNYM O ZRÓŻNICOWANEJ WILGOTNOŚCI\*

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

**Streszczenie.** Celem pracy była analiza właściwości trakcyjnych opon na podłożu leśnym o zróżnicowanej wilgotności i odmiennych parametrach wytrzymałościowych. Badania przeprowadzono na naturalnej gruntowej drodze leśnej przy trzech różnych wilgotnościach podłoża: 10,5, 13,4 oraz 19,2%. Badania trakcyjne wykonano z wykorzystaniem specjalistycznego stanowiska, na którym badano opony: 5.00-10 (na kole pojedynczym i kołach bliźniaczych) oraz 18×9.50-8 w wersji bez łańcucha oraz z łańcuchem antypoślizgowym. Przeprowadzone badania wykazały, że właściwości trakcyjne opon silnie uzależnione są od stanu podłoża. Wzrost wilgotności podłoża przyczynia się do pogorszenia właściwości trakcyjnych badanych opon. Stwierdzono, że bliźniakowanie kół oraz stosowanie łańcuchów antypoślizgowych skutkuje poprawą właściwości trakcyjnych i powoduje wzrost udziału ścinania w generowanej sile trakcyjnej. Dociążanie kół powodowało wzrost wartości sił trakcyjnych, nie wpływało natomiast istotnie na wartości sprawności trakcyjnej.

**Słowa kluczowe:** opona, siła trakcyjna, sprawność trakcyjna, tarcie, ścinanie, wilgotność podłoża

### Wstęp

Proces produkcyjny pozyskiwania i transportu drewna jest przykładem najsilniejszej ingerencji w środowisko leśne, niosącej ze sobą wiele zagrożeń dla poszczególnych jego elementów. Analizę negatywnych skutków wywoływanych w ekosystemach leśnych w czasie zrywki drewna zajmuje się liczna grupa naukowców. Wyniki badań prowadzonych przez Weisa (2002), Dextera (2004), Tiernana i in. (2004) wykazały, że stosowanie niewłaściwych metod zrywki drewna może prowadzić do trudno odwracalnego lub trwałego zaburzenia potencjału produkcyjnego leśnych geobiocenoz. Na rozmiar szkód wyrządzanych w środowisku leśnym w dużym stopniu wpływają warunki pogodowe, w jakich prowadzony jest transport leśny, w tym zrywka drewna (Rohand i in., 2003; Sosnowski,

---

\* Praca zrealizowana w ramach Grantu MNiSW numer N N313 146938

2003). Prace zrywkowe w czasie wyjątkowo „mokrej” pogody powodują zwiększenie zagęszczenia gleby, obniżenie jej porowatości oraz przepuszczalności wodnej (Gil, 2000; Najafi i in., 2009; Ampoorter i in., 2010). Na rozmiar szkód wyrządzanych w środowisku leśnym obok czynników klimatycznych, rodzaju i stanu podłoża wpływa również stosowana technologia pozyskiwania drewna, sposób zrywki drewna oraz rodzaj środków zastosowanych do realizacji tego zadania (Dudek i Sosnowski, 2011). Zdolności trakcyjne pojazdu uzależnione są zarówno od parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych układu jezdowego, jak i od rodzaju i stanu podłoża. Użytkownik pojazdu na rzecz poprawy jego właściwości trakcyjnych ma możliwość ingerencji w parametry eksploatacyjne m.in. poprzez regulację ciśnienia w oponach, zmianę obciążenia kół napędowych czy też poprzez stosowanie kół bliźniaczych lub łańcuchów przeciwpoślizgowych (Stoilov i Kostadinov, 2009). Na podłożu odkształcalnym głównym czynnikiem decydującym o zdolnościach uciążowych jest zdolność tego podłoża do przenoszenia sił stycznych. Jest to bardzo istotne, bowiem siła trakcyjna może być efektem ścinania wierzchniej warstwy podłoża wystęпами bieżników opony napędowej lub (oraz) wynikiem sił tarcia występujących pomiędzy kołami napędowymi a podłożem. Konieczność realizacji badań nad rozpoznaniem procesu generowania sił napędowych, a więc także rozpoznania strat, jakie temu procesowi towarzyszą wynika z tego, że ta problematyka została w zasadzie pominięta przez badaczy w odniesieniu do mikrociągników, które w ostatnich latach stają się ważnym źródłem energii pociągowej w pracach związanych ze zrywką drewna pozyskiwanego w ramach cięć pielęgnacyjnych.

## Cel, zakres i metodyka badań

Celem pracy była analiza właściwości trakcyjnych opon na podłożu leśnym o zróżnicowanej wilgotności i odmiennych parametrach wytrzymałościowych. Analizowano proces generowania siły trakcyjnej z wyznaczeniem części generowanej w wyniku tarcia oraz ścinania, a także sprawność trakcyjną i współczynnik przyczepności. Badano również wpływ obciążenia pionowego właściwości trakcyjne koła.

Badania trakcyjne przeprowadzono z wykorzystaniem opon do mikrociągników. Były to opony 5.00-10 o klasycznej rzeźbie bieżnika AN oraz opona typu grass o rozmiarze 18×9.50-8, różniące się parametrami technicznymi (tabela 1).

Tabela 1

*Parametry techniczne opon*

Table 1

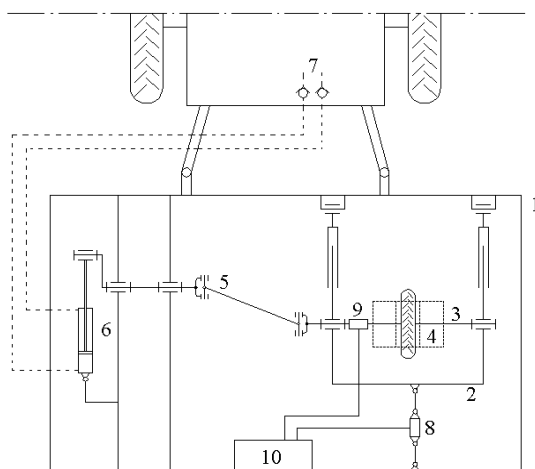
*Technical parameters of tyres*

OPONA	5.00-10	18×9.50-8
Maksymalna nośność (kg)	240	470
Maksymalne ciśnienie (MPa)	0,22	0,19
Wymiary (mm):		
wysokość	500,0	459,7
szerokość	127,0	243,8
średnica osadzenia	254,0	203,2

Ponadto badania przeprowadzono z użyciem kół bliźniaczych (połączenie opon klasycznych) oraz z zastosowaniem łańcuchów antypoślizgowych (opona typu grass). Ciśnienie w oponach wynosiło 0,15 MPa.

Badania realizowano na naturalnej gruntowej drodze leśnej zlokalizowanej na terenie Nadleśnictwa Międzyzlesie w Leśnictwie Idzików. Droga usytuowana była w drzewostanie V klasy wieku, pełniła funkcję linii podziału powierzchniowego i charakteryzowała się niewielką intensywnością eksploatacji. Analizowana droga utworzona została na glebie brunatnej kwaśnej typowej wytworzonej z gliny piaszczystej na pyłe gliniastym silnie żwirowym. Dla badanego podłoża w strefie bezpośredniego kontaktu z układem jezdnym (0-0,08 m) granica plastyczności wynosiła 15%, natomiast granica płynności 21%.

Przedmiotem badań były właściwości trakcyjne opon w zróżnicowanych warunkach wilgotnościowych podłoża. W trakcie pomiarów trakcyjnych mierzono zawsze wilgotność podłoża oraz jego zwięzłość. Wilgotność gleby określono zgodnie z PN-ISO 11465, jako stosunek masy wody zawartej w glebie do masy fazy stałej gleby, po wysuszeniu w 105°C. Pomiary zwięzłości podłoża wykonywano za pomocą penetrometru stożkowego z elektroniczną rejestracją siły i głębokości penetracji. Do badań zastosowano stożek o kącie wierzchołkowym 60° i polu podstawy 0,0001 m<sup>2</sup>, którego prędkość penetracji wynosiła 0,03 m·s<sup>-1</sup>. Wartości kąta tarcia wewnętrznego oraz spójności gruntu wyznaczono metodą bezpośredniego ścinania zgodnie z PN 88/B-04481. Próbki ścinano ze stałą prędkością  $V_s=0,00000833$  m·s<sup>-1</sup> pod obciążeniem  $\sigma$  wzrastającym od 50 do 300 kPa. Analizy wykonano dla próbek gleby pobranych podczas prowadzenia badań trakcyjnych.



Rysunek 1. Stanowisko do badań trakcyjnych opon mikrociągników: 1 – rama nośna, 2 – układ imitujący rzeczywisty układ jezdny, 3 – wał z kołem, 4 – obciążenie pionowe, 5 – układ napędowy wału, 6 – siłownik hydrauliczny, 7 – gniazda hydrauliki zewnętrznej ciągnika, 8 – siłomierz, 9 – momentomierz, 10 – rejestrator danych

Figure 1. Stand for traction research of micro-tractors tyres: 1 – frame bearer, 2 – system imitating a real wheel set, 3 – shaft with a wheel, 4 – vertical load, 5 – power transmission system of the shaft, 6 – hydraulic cylinder, 7 – sockets of the external hydraulics of a tractor, 8 – dynamometer, 9 – torque meter, 10 – data recorder

Określanie właściwości trakcyjnych realizowano z wykorzystaniem specjalistycznego stanowiska przedstawionego na rysunku 1. Badanie polegało na wymuszeniu obrotu wału z kołem, z wykorzystaniem układu napędowego oraz siłownika dwustronnego działania, którego wysuw umożliwiał obrót o kąt ok.  $\pi/2$  rad (pełne ścięcie podłoża). Badane koło wykonywało jedynie ruch obrotowy. Pomiary siły trakcyjnej przeprowadzono z zastosowaniem przetwornika tensometrycznego o zakresie pomiarowym do 2 kN i dokładności 1 N. Do pomiaru momentu obrotowego doprowadzanego do koła wykorzystywano momentomierz o zakresie pomiarowym do 500 Nm i dokładności 1 Nm. Mierzone wielkości zapisywane były w rejestratorze danych. Wartości obciążeń przypadających na koło napędowe (710, 980 N) odwzorowano z wykorzystaniem obciążników umieszczanych nad badanym kołem.

Sprawność trakcyjną ( $\eta_T$ ) obliczono zgodnie ze wzorem 1 jako stosunek iloczynu siły trakcyjnej ( $P_T$ ) i promienia dynamicznego koła ( $r_d$ ) do momentu obrotowego na kole ( $M$ ).

$$\eta_T = \frac{P_T \cdot r_d}{M} \quad (-) \quad (1)$$

Pomiary promienia dynamicznego ( $r_d$ ) badanych kół wyznaczano dla każdego obciążenia osobno, na podstawie pomiaru drogi przebytej dla pięciu pełnych obrotów koła na podłożu, przy każdej wilgotności. Procentowe udziały tarcia i ścinania w sile trakcyjnej obliczano na podstawie przekształconego równania Coulomba, gdzie  $S$  oznacza powierzchnię styku koła z podłożem,  $G$  – obciążenie koła,  $c$  – spójność podłoża,  $\varphi$  – kąt tarcia wewnętrzznego.

$$P_{T \max} = c \cdot S + G \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (N) \quad (2)$$

Uzyskane wyniki poddano wieloczynnikowej analizie wariancji na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ .

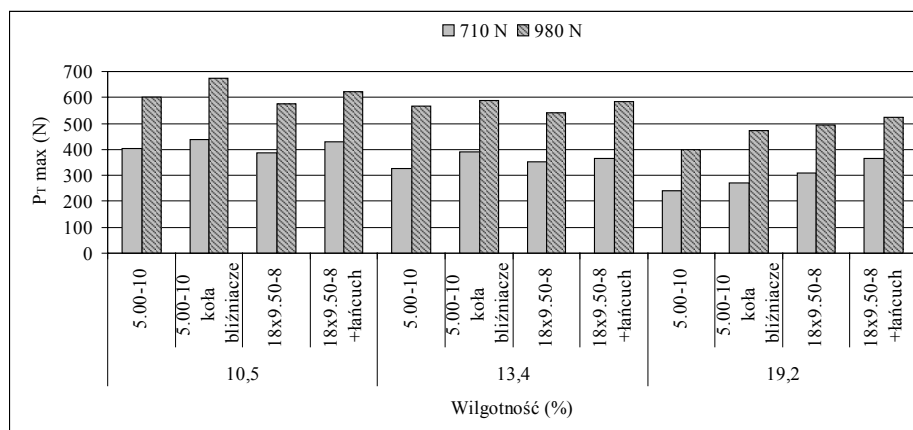
## Wyniki badań i dyskusja

Podłoże w poszczególnych cyklach pomiarowych (tabela 2) charakteryzowało się odmienną wilgotnością w zakresie od 10,5 do 19,2%. Przy wilgotności 10,5% podłoże odznaczało się zwartą konsystencją i największą wytrzymałością. Wilgotność na poziomie 13,4% jest zbliżona do granicy plastyczności dla tego gruntu, natomiast najwyższa wilgotność (19,2%) oznacza grunt w stanie przejściowym pomiędzy stanem plastycznym a półpłynnym. Zwięzłość gleby podczas prowadzenia badań zawierała się w przedziale 1,51-2,52 MPa, obserwowano jej spadek wraz ze wzrostem wilgotności. Parametry wytrzymałościowe gleby również wykazywały znaczne zróżnicowanie w poszczególnych cyklach badań, wartości spójności i kąta tarcia wewnętrzznego również malały wraz ze wzrostem wilgotności.

Tabela 2  
*Właściwości podłoża*  
 Table 2  
*Properties of the subgrade*

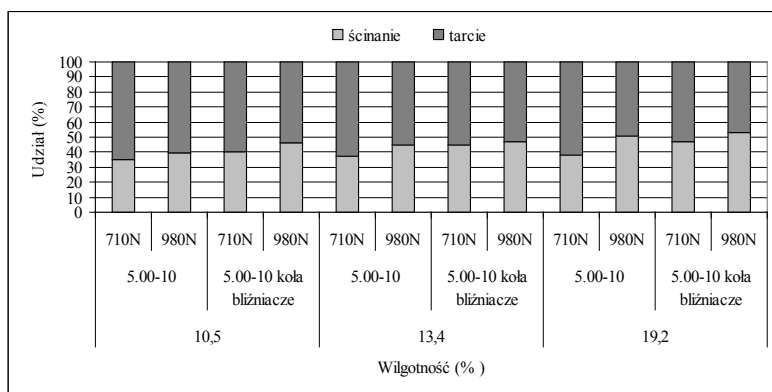
Cykl pomiarowy	Wilgotność (%)	Zwięzłość (MPa)	Spójność (kPa)	Kąt tarcia wewnętrzznego $\varphi$ (°)
I	10,5	2,52	40,6	20,2
II	13,4	2,18	36,7	17,9
III	19,2	1,51	23,0	11,3

Analizując dane przedstawione na rysunku 2 zauważyć można, że wartości sił trakcyjnych badanych opon wykazywały zróżnicowanie w zależności wilgotności podłoża. Wzrost wilgotności podłoża w przypadku wszystkich opon skutkował spadkiem sił trakcyjnych. Najniższe wartości sił trakcyjnych uzyskano przy wilgotności podłoża równej 19,2%. Różnice w wartościach sił trakcyjnych uzyskanych na podłożu o wilgotności 10,5% i 19,2% wynosiły w przypadku opony 5.00-10 (zarówno na kole pojedynczym jak i kołach bliźniaczych) od 29 nawet do 40%, w zależności od poziomu obciążenia. W przypadku opony typu grass przy największej wilgotności podłoża wartości uzyskanych sił trakcyjnych były niższe w zależności od wielkości obciążenia o 14-20% w porównaniu do wartości sił osiągniętych na podłożu o wilgotności 10,5%. Jak wynika z rysunku 2, niesprzyjające warunki gruntowe (wilgotność zbliżona do granicy płynności) wpłynęły na znaczne pogorszenie cech trakcyjnych analizowanej drogi. Zastosowanie kół bliźniaczych powodowało wzrost siły trakcyjnej w porównaniu do koła pojedynczego i w zależności od wilgotności podłoża oraz wielkości obciążenia koła wynosił on od 5 do 20%.



Rysunek 2. Wartości maksymalnych sił trakcyjnych opon na podłożu o zróżnicowanej wilgotności

Figure 2. Values of the maximum traction forces of tyres on the subgrade with varied moisture



Rysunek 3. Procentowe udziały ścinania i tarcia w sile trakcyjnej rozwijanej przez koło pojedyncze i koła bliźniacze z oponami 5.00-10

Figure 3. Percentage participation of shear and friction in the traction force developed by a single wheel and twin wheels with 5.00-10 tyres

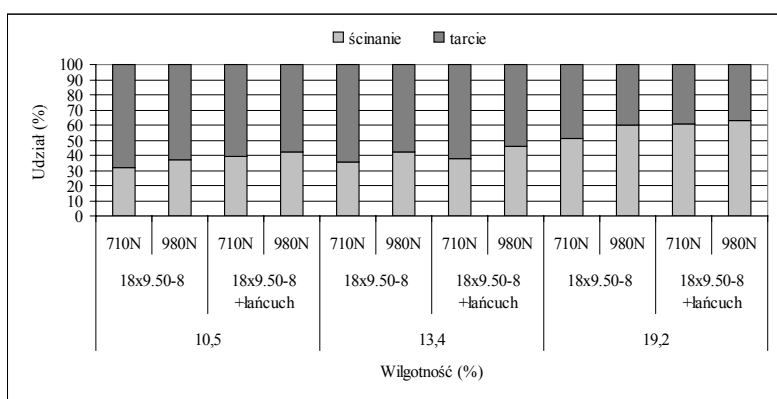
Największy i zarazem najbardziej wyrównany dla stosowanych obciążeń przyrost siły stwierdzono na podłożu o wilgotności 19,2%. Zastosowanie łańcucha przeciwpoślizgowego na oponie typu grass przyczyniło się do wzrostu siły trakcyjnej o 7-17%, przy czym największe korzyści z tej modyfikacji stwierdzono na podłożu o największej wilgotności. Wykazano również wzrost wartości sił trakcyjnych wraz ze wzrostem obciążenia kół.

Analizując procentowe udziały sił tarcia i ścinania w sile trakcyjnej uzyskanej przez koła pojedyncze i bliźniacze z oponami 5.00-10 (rys. 3), zaobserwowano, że koło pojedyncze przy najmniejszej wilgotności podłoża siłę trakcyjną generuje głównie w wyniku tarcia. Udział sił ścinających wzrasta wraz ze wzrostem obciążenia od 35 do 40%. Przy największej wilgotności z racji większych możliwości zagłębienia opony w podłożu (na skutek zmniejszenia spójności) udział ścinania wzrasta do 50%. Przy tej wilgotności zaobserwowano największy wpływ obciążenia na zmiany udziałów tarcia i ścinania w generowanej sile trakcyjnej. W przypadku kół bliźniaczych większy udział ścinania w sile trakcyjnej w porównaniu do koła pojedynczego wynikał z większej ilości występów bieżnika zagłębiających się w podłożu. Dla takich samych wilgotności podłoża stwierdzono większy wpływ dociążania na wzrost udziału ścinania w przypadku koła pojedynczego w porównaniu do kół bliźniaczych. Zaobserwowano również, że koła bliźniacze w mniejszym stopniu reagowały na zmianę stanu podłoża – udziały tarcia i ścinania zróżnicowane nieznacznie.

Zgodnie z rysunkiem 4, opona darniowa z racji większej szerokości i drobnych gęsto rozmieszczonych występów bieżnika siłę trakcyjną generowała głównie w wyniku tarcia. Udział ścinania przy wilgotności podłoża 10,5 oraz 13,4% nie przekraczał 40%, co wynikało z braku możliwości zagłębienia się opony w podłożu. Potwierdzają to również wysokie wartości zwięzłości oraz spójności podłoża. Wyposażenie opony 18×9.50-8 w łańcuch przeciwpoślizgowy spowodowało wzrost udziału ścinania o około 10% przy wilgotności 10,5%, o 6% przy wilgotności 13,4%. Wzrost udziału ścinania w generowanej sile trakcyjnej na skutek zastosowania łańcucha najbardziej wyraźny okazał się przy wilgotności podłoża równej 19,2% przy najniższym obciążeniu koła, stanowił on 25% w porównaniu

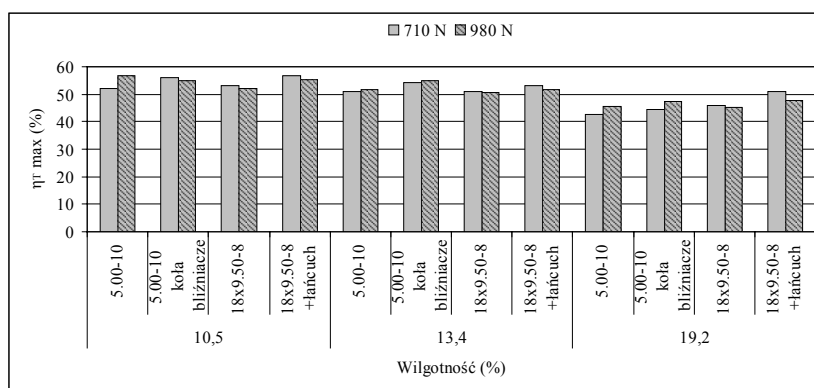
do wartości uzyskanej przez koło bez łańcucha, przy pozostałych poziomach obciążenia pionowego o 8%. Wzrost udziału ścinania w sile trakcyjnej koła z oponą wyposażoną w łańcuch wynikał z bardziej wglębnego oddziaływania, a przez to z większej powierzchni kontaktu z podłożem.

Wartości sprawności trakcyjnych (rys. 5) opony klasycznej oraz opony darniowej na podłożu o wilgotności 10,5 oraz 13,4% były zbliżone. Wzrost wilgotności gleby do 19,2% przejawiał się 20% spadkiem sprawności opony klasycznej (średnio dla analizowanych obciążeń koła) w porównaniu do sprawności uzyskanych przy wilgotności podłoża na poziomie 10,5%.



Rysunek 4. Procentowe udziały ścinania i tarcia w sile trakcyjnej rozwijanej przez oponę 18x9.50-8 w wersji bez łańcucha oraz z łańcuchem antypoślizgowym

Figure 4. Percentage participation of shear and friction in the traction force developed by a tyre 18x9.50-8 in the version without chain and with an anti-skid chain



Rysunek 5. Wartości maksymalnych sprawności trakcyjnych opon na podłożu o zróżnicowanej wilgotności

Figure 5. Values of maximum traction efficiencies of tyres on the subgrade of varied moisture

W przypadku opony darniowej spadek ten wyniósł 12%. Wykazano, że najbardziej skuteczne było stosowanie kół bliźniaczych przy wilgotności podłoża 13,4%, zbliżonej do granicy plastyczności. Wyposażenie kół w łańcuchy antypoślizgowe wpływało na poprawę ich sprawności, jednak oceniając efektywność tego zabiegu należy stwierdzić, że największa była ona na podłożu charakteryzującym się najmniejszą wilgotnością. Przy większych wilgotnościach gleba miała tendencje do przylegania do opon, przez co malała skuteczność stosowania łańcuchów. Analizując wpływ obciążenia na wartości sprawności trakcyjnej opon, można stwierdzić, że był on nieznaczny, ale zróżnicowany zarówno dla różnych stopni uwilgotnienia podłoża jak i dla badanych opon.

Wyniki badań poddano wieloczynnikowej analizie wariancji na poziomie istotności  $\alpha=0,05$  (tabela 3). Jako zmienne niezależne przyjęto stan podłoża, definiowany jego wilgotnością i zwięzłością, rodzaj opony (z uwzględnieniem modyfikacji) oraz obciążenie pionowe koła.

Tabela 3  
*Wyniki analizy statystycznej*  
Table 3  
*Results of the statistical analysis*

Czynnik	Wartości p		
	Siła trakcyjna	Procentowe udziały ścinania oraz tarcia	Sprawność trakcyjna
Stan podłoża	<0,000001	<0,000001	<0,000001
Rodzaj opony	0,000016	0,000092	0,003209
Obciążenie pionowe	<0,000001	0,011942	0,865462

Na podstawie wyników analizy statystycznej stwierdzono, że stan podłoża i rodzaj opony istotnie wpływały na wartości wszystkich analizowanych parametrów, natomiast wielkość obciążenia pionowego koła istotnie wpływała jedynie na wartości siły trakcyjnej oraz procentowe udziały tarcia i ścinania w sile trakcyjnej.

Uzyskane wyniki znajdują potwierdzenie w wynikach dostępnych w literaturze. Lyasko (2010) w swoich badaniach wykazał, że właściwości podłoża mają istotny wpływ na właściwości trakcyjne pojazdu i są bardzo ważnym czynnikiem w układzie koło-podłoże. Zmiany warunków glebowych w większym stopniu wpływają na właściwości trakcyjne opon niż zmiany obciążenia opon lub ich wymiary. Wpływ obciążenia pionowego koła na wartości siły trakcyjnej jest zbliżony do tendencji przedstawianych w literaturze. Wykazano bowiem, że zwiększenie obciążenia pionowego skutkuje wzrostem siły trakcyjnej (Jun i in., 2004; Gholkar i in., 2009). Zaznaczyć jednak należy, że wartości przyrostów siły trakcyjnej nie przekraczały 20%. Senatore i Sandu (2011) wykazali, że wyższe wartości sprawności uzyskuje się na podłożach o większej wytrzymałości, natomiast nie stwierdzili istotnego wpływu obciążenia koła na wartości sprawności trakcyjnej. Sümer i Sabancı (2005) wykazali, że zastosowanie kół bliźniaczych skutkuje uzyskiwaniem większych sił i sprawności trakcyjnych w porównaniu do kół pojedynczych. Stoilov (2007) w swoich badaniach wykazał, że w określonych warunkach jazdy stosownie łańcuchów na kołach ciągnika leśnego powoduje wzrost siły trakcyjnej.



## Wnioski

1. Wartości analizowanych właściwości trakcyjnych opon wykazywały zróżnicowanie w zależności od stanu podłoża. Wzrost wilgotności skutkowało pogorszeniem cech trakcyjnych podłoża. Najmniejsze wartości sił i sprawności trakcyjnych uzyskano przy wilgotności bliskiej granicy płynności (19,2%).
2. Większą wrażliwością na zmiany stanu podłoża charakteryzowała się opona klasyczna 5.00-10 zarówno na kole pojedynczym jak i kołach bliźniaczych. W przypadku opony darniowej zmiana stanu podłoża w mniejszym stopniu skutkowało zmianą wartości analizowanych parametrów trakcyjnych. Stosowanie kół bliźniaczych oraz wyposażenie opony typu grass w łańcuchy antypoślizgowe przejawiało się poprawą wszystkich analizowanych właściwości trakcyjnych. Korzyści wynikające ze stosowanych modyfikacji zależne były od stanu podłoża oraz wielkości obciążenia pionowego.
3. Stwierdzono, że proces generowania siły trakcyjnej jest uzależniony od wymiarów opon, rzeźby bieżnika i poziomu obciążenia koła. Wzrost wilgotności podłoża, bliźniakowanie kół z oponami klasycznymi oraz wyposażenie opony darniowej w łańcuch antypoślizgowy skutkowało wzrostem udziału ścinania w generowanej sile trakcyjnej.
4. Wykazano, że dociążanie badanych opon skutkowało wzrostem wartości sił trakcyjnych oraz zwiększaniem udziału ścinania w generowanej sile trakcyjnej. Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu obciążenia pionowego na sprawność trakcyjną opon.

## Literatura

- Ampoorter, E.; Van Nevel, L.; De Vos, B.; Hermy, M.; Verheyen, K. (2010). Assessing the effects of initial soil characteristics, machine mass and traffic intensity on forest soil compaction. *Forest Ecology and Management*, 260(1), 1664-1676
- Dexter, A. (2004). International workshop on soil physical quality. *Soil and Tillage Research*, 79(2), 129-282.
- Dudek, T.; Sosnowski J. (2011). Ocena środowiskooszczędności wybranych technologii zrywki drewna w lasach górskich. *Sylvan*, 155(6), 413-420.
- Gholkar, M.D.; Salokhe, V.M.; Keen A. (2009). The Effect of axle load and tyre 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.
- Gil, W. (2000). Naziemna zrywka drewna skiderami w ujęciu kodeksu praktyk pozyskaniowych. *Sylvan*, 144(1), 59-74
- 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.
- Lyasko, M.I. (2010). How to calculate the effect of soil conditions on tractive performance. *Journal of Terramechanics*, 47(6), 423-445.
- Najafi, A.; Solgi, A.; Sadeghi, S.H. (2009). Soil disturbance following four wheel rubber skidder logging on the steep trail in the north mountainous forest of Iran. *Soil and Tillage Research*, 103(1), 165-169.

- Rohand, K.; Kalb, A.A.; Herbauts, J.; Verbrugge, J.C. (2003). Changes in some mechanical properties of a loamy soil under the influence of mechanized forest exploitation in a beech forest of central Belgium. *Journal of Terramechanics*, 40(4), 235-253.
- Senatore, C.; Sandu, C. (2011). Torque distribution influence on tractive efficiency and mobility of off-road wheeled vehicles. *Journal of Terramechanics*, 48, 372-383.
- Sosnowski, J. (2003). Zasady proekologicznej zrywki drewna w warunkach gospodarki leśnej w górach. *Sylvan*, 147(5), 58-64.
- Stoilov, S. (2007). Improvement of wheel skidder tractive performance by tire inflation pressure and tire chains. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28(2), 137-144.
- Stoilov, S.; Kostadinov, G.D. (2009). Effect of weight distribution on the slip efficiency of a four-wheel-drive skidder. *Biosystems engineering*, 104(4), 486-492.
- Sümer, S.K.; Sabanci, A. (2005). Effects of different tire configurations on tractor performance. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29, 461-468.
- Tiernan, D.; Zeleke, G.; Owende, P.M. O.; Kanali, C.L.; Lyons, J.; Ward, S.M. (2004). Effects of working conditions on forwarder productivity in cut-to-length timber harvesting on sensitive forest sites in Ireland. *Biosystems Engineering*, 87(2), 167-177.

## ANALYSIS OF TRACTION PROPERTIES OF TYRES ON THE FOREST SUBGRADE OF VARIED MOISTURE

**Abstract.** The objective of the paper was to analyse traction properties of tyres on the forest subgrade of varied moisture and variable strength parameters. The research was carried out on the natural ground forest road at three varied moistures of subgrade: 10.5, 13.4 and 19.2%. Traction research was carried out with the use of a specialist stand, where the following tyres were investigated: 5.00-10 (on a single wheel and twin wheels) and 18x9.50-8 in the version without a chain and with an anti-skid chain. The investigations, which were carried out, proved that traction properties strongly depend on the condition of the subgrade. The increase of the subgrade moisture influences deterioration of traction properties of the researched tyres. It was found out that twinning wheels and using anti-skid chains result in the improvement of traction properties and cause the increase of shearing participation in the generated traction force. Loading wheels caused the increase of traction forces, whereas it did not influenced significantly the value of traction efficiency.

**Key words:** tyre, traction force, traction efficiency, friction, shear, moisture of subgrade

**Adres autora do korespondencji:**

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