

## **OCENA WŁAŚCIWOŚCI TRAKCYJNYCH OPON NA WYBRANYCH DROGACH LEŚNYCH**

Włodzimierz Białczyk, Anna Cudzik, Jarosław Czarnecki,  
Krzysztof Pieczarka

Akademia Rolnicza we Wrocławiu

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości trakcyjnych wybranych opon na drogach leśnych. Badaniami objęto drogi leśne w odmiennych drzewostanach o nawierzchni gruntowej oraz drogi utwardzane żużlem i tłucznem. Stwierdzono, że największe siły trakcyjne spośród badanych opon napędowych generowała opona 5.00-10 na nawierzchni tłuczniowej (604 N). Wśród opon typu grass największe siły trakcyjne zanotowano dla opony 18×9.5-8 również na drodze o nawierzchni tłuczniowej (563 N). Najskuteczniejszym sposobem poprawy zdolności ciągowych było dociążanie badanych kół. Wyższe wartości współczynnika przyczepności zanotowano dla opon napędowych w porównaniu do opon typu grass. Wartości tego parametru zależne były od rodzaju drogi. Stosowanie modyfikacji badanych kół powodowało wzrost sił trakcyjnych oraz współczynnika przyczepności. Największą sprawność osiągnęły opony modyfikowane na drodze żużlowej. Dla opony 5.00-10 sprawność wynosiła 82%, a 75% dla opony 18×9.5-8.

**Słowa kluczowe:** siły trakcyjne, koło, droga leśna

### **WSTĘP**

Poziom mechanizacji wszystkich prac w krajowym leśnictwie znacznie odbiega od poziomu mechanizacji rolnictwa, jednak w ostatnich latach można zaobserwować korzystne zmiany. Stosowane dotychczas jako środki zrywkowe standardowe ciągniki rolnicze oraz żywa siła pociągowa zastępowane są bardzo specjalistycznym sprzętem, który cechuje się większą wydajnością pracy, a także niższymi kosztami eksploatacyjnymi. Sprzęt ten gwarantuje ponadto wyższy poziom bezpieczeństwa pracy. Wymogi ochrony środowiska sprawiły, że w coraz to większym zakresie stosowane są nasiębnierne techniki zrywki drewna. Wprowadzane do lasu specjalistyczne pojazdy charakteryzują się niskimi naciskami wywieranymi na podłoże dzięki m.in. zastosowaniu specjalnego niskociśnieniowego ogumienia. Wywozu drewna dokonuje się standardowymi

---

Adres do korespondencji – Corresponding Author: Włodzimierz Białczyk, Anna Cudzik, Jarosław Czarnecki, Krzysztof Pieczarka, Instytut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza we Wrocławiu, ul. Chełmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław, tel/fax 348-24-86, e-mail: bialczyk@imr.ar.wroc.pl

samochodami ciężarowymi przystosowanymi bardzo często do pracy w leśnictwie. W ostatnich latach można zauważyć, że przedsiębiorstwa przewozowe zakupują specjalistyczne samochody transportowe o dużych ładownościach, eksploatowane wcześniej w krajach zachodniej Europy [Walczyk i in. 2001m Forsyth i in. 2006].

Obserwowany proces wymiany dotychczas stosowanego sprzętu ulegnie prawdopodobnie w najbliższych latach znacznemu przyspieszeniu. Zakupione zostaną nowe pojazdy o większym bezpieczeństwie i wydajności pracy oraz niskich kosztach eksploatacji. Poprawa wskaźników eksploatacyjnych jest jednak związana nie tylko z cechami konstrukcyjnymi sprzętu, ale również z warunkami terenowymi, w których ten sprzęt pracuje. Niemalże znaczenie ma tutaj obniżanie kosztów zrywki i transportu drewna poprzez poprawę i rozwój infrastruktury drogowej. Obecne drogi leśne to głównie drogi gruntowe o małej wytrzymałości na przenoszone obciążenia. Wielokrotne przejazdy sprzętu leśnego niszczą ich nawierzchnię, co bardzo często eliminuje te drogi jako szlaki transportowe. Podejmowane modernizacje dróg leśnych polegają najczęściej na pokrywaniu nawierzchni warstwą gruzu lub tłucznia, a do rzadkości należy nakładanie nawierzchni bitumicznej. Taką nawierzchnię posiada w Polsce jedynie 1,3% dróg leśnych [Herbauts i in 1998, Jansson i Johansson 1998, JeaHeun i DuSong 2000, Walczykowa i in 2002].

W związku z takim stanem rzeczy oraz perspektywą wprowadzania do polskich lasów specjalistycznego sprzętu leśnego, zasadne wydaje się dokładne rozpoznanie właściwości trakcyjnych dróg leśnych, dzięki czemu będzie można określić dopuszczalne obciążenie prostopadłe i styczne, co niewątpliwie może się przyczynić do obniżenia strat związanych z eksploatacją sprzętu leśnego [Białczyk i in 2002, 2005, Walczykowa i in 2002].

Powyższe względy stały się podstawą podjęcia badań nad właściwościami trakcyjnymi wybranych opon na drogach leśnych. Głównym celem tych badań było wykazanie zmian właściwości trakcyjnych wynikających ze zmian nawierzchni dróg, zmian lokalizacji wynikających z odmiennych drzewostanów.

Celami szczegółowymi realizowanych badań była:

- analiza maksymalnych sił trakcyjnych generowanych na badanych drogach przez opony różnej konstrukcji i ich modyfikacje;
- rozpoznanie właściwości trakcyjnych na podstawie analizy współczynników przyczepności i sprawności trakcyjnej;
- ocena wpływu zmiennego obciążenia pionowego w aspekcie optymalizacji warunków pracy badanych opon.

Analiza maksymalnych sił trakcyjnych wydaje się oczywista, jednak pozostałe dwa kryteria oceny wymagają pewnego uzasadnienia. Sprawność trakcyjna jest parametrem opisującym relacje między energią włożoną do układu koło napędowe – podłoże a energią odzyskaną z tego układu. Innymi słowy sprawność trakcyjna informuje o stratach, które towarzyszą procesowi generowania sił trakcyjnych. Z kolei współczynnik przyczepności niesie informacje o tym, jaka część obciążenia prostopadłego koła napędowego została wykorzystana do generowania sił trakcyjnych.

Wartości generowanych sił trakcyjnych podlegają ocenie ilościowej, co oznacza, że sytuacja jest tym korzystniejsza, im siły te mają większe wartości. Sprawność trakcyjną

oraz współczynnik przyczepności można wykorzystać do oceny jakościowej procesu generowania sił trakcyjnych.

## MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w kwietniu 2004 r. na drogach Leśnictwa Idzików należącego do Nadleśnictwa Międzylesie. Do badań wytypowano trzy drogi: gruntową, utwardzoną żużlem oraz utwardzoną tłuczniem. Droga gruntowa była eksploatowana w celach pozyskaniowych, powstała na glebie brunatnej kwaśnej wytworzonej z pyłu zwykłego na utworze słabo kamienistym. Drzewostan w obrębie tej drogi to głównie świerk, modrzew w IV klasie wieku. Droga żużłowa powstała w drzewostanie jodły, buka i świerka na glebie brunatnej kwaśnej wytworzonej z piasku gliniastego na glinie lekkiej, następnie została utwardzona żużlem paleniskowym o miąższości warstwy żużla około 0,15 m. Droga o nawierzchni tłuczniowej powstała w drzewostanie buka, świerka i brzozy również na glebie brunatnej kwaśnej wytworzonej z utworu słabo kamienistego. Użyte do utwardzenia kruszywo pobrano z pobliskiego kamieniołomu, warstwę głębszą wykonano z tłuczni o grubości do 0,09 m, natomiast wierzchnią warstwę 0–0,15 m wykonano z kruszywa łamanego o średnicy do 0,06 m i utwardzono mechanicznie.

W celu opisu warunków badań określono wilgotność aktualną, naprężenia ścinające oraz zwięzłość wierzchniej warstwy badanych dróg. Wilgotność gleby wyznaczano, korzystając z metody suszarkowej, używając wagosuszarki WPE – 300S, dzięki której wyznaczono wilgotność aktualną badanych próbek. Materiał do analizy pobierano z górnego profilu drogi (głębokość ok. 0,02–0,07 m), w dniu prowadzenia pomiarów właściwości mechanicznych i trakcyjnych. Do pomiaru naprężeń ścinających użyto ścinarki obrotowej VANE H - 60 firmy Eijkelkamp. Zakres pomiarowy ścinarki wynosił 0–260 kPa, przy błędzie pomiaru 2 kPa. Zwięzłość gleby wyznaczono pośrednio z oporu penetracji mierzonego penetrometrem stożkowym z elektroniczną rejestracją siły oporu penetracji gleby i wielkości zagłębienia stożka pomiarowego. Do badań zastosowano stożek o kącie wierzchołkowym 30° i polu podstawy wynoszącym 0,0001 m<sup>2</sup>.

Do równoczesnej rejestracji wartości oporu penetracji oraz zagłębienia zastosowano urządzenie do przetwarzania i rejestracji sygnałów analogowych, o sześciu kanałach pomiarowych i częstotliwości próbkowania 1000 Hz na kanał. Pomiar siły oporu penetracji gleby wykonano za pomocą siłomierza tensometrycznego, o klasie dokładności 0,1% i zakresie pomiarowym od 0 do 1 kN. Głównym podzespołem pomiarowym określającym zagłębienie stożka pomiarowego był potencjometr o liniowości  $\pm 2\%$ . Z każdego pomiaru wykonywano przebieg siły oporu penetracji w funkcji zagłębienia stożka penetrometru. Ten sam układ pomiarowy wykorzystano w badaniach trakcyjnych do pomiaru siły trakcyjnej w funkcji deformacji poziomej podłoża.









Stanowisko do badań trakcyjnych dróg leśnych opisano w pracy Białczyka i in. [1998]. Do napędu badanego koła wykorzystano hydraulikę zewnętrzną ciągnika, dzięki czemu zapewniono mobilność stanowiska pomiarowego i jego niezależność od zewnętrznych źródeł energii. Zastosowany w stanowisku bewametr kołowy, umożliwiał

sprawną wymianę badanych kół oraz zmianę obciążenia pionowego w zakresie 710–980 N, w celu uzyskania różnych nacisków koła na podłoże.

Do badań wytypowano dwie opony napędowe stosowane powszechnie w mikrociągnikach oraz dwie opony typu grass, które pod względem konstrukcyjnych mogą imitować opony stosowane w maszynach leśnych. Badane koła poddano modyfikacjom, tzn. wykonano bliźniakowanie kół napędowych, a na kołach typu „grass” zamocowano łańcuchy będące pomniejszoną kopią łańcuchów używanych w pracach leśnych.

Charakterystykę techniczną badanych kół przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry techniczne badanych opon  
Table 1. Technical parameter of sampled tyres

	5.00-10	4.00-10	18×9.50-8	18×7.00-8
Opona Tyre				
Liczba PR PR index	4	4	4	4
Maksymalna nośność Maximal load capacity, kG	240	240	470	350
Maksymalne ciśnienie, Maximal pressure, MPa	0,22	0,22	0,19	0,11
Podziałka bieżnika, Scale of tyre tread, mm	108,0	52,0	-	-
Ilość występów bieżnika Quantity of tyre tread	23	24	-	-
Wysokość występów bieżnika, Height of tyre traed, mm	22	20	-	-
Wymiary – Dimensions: mm				
Wysokość – Height,	500,0	440,0	459,7	454,7
Szerokość – Width	127,0	101,6	243,8	175,3
Średnica osadzenia Rim diameter	254,0	254,0	203,2	203,2
Modyfikacje badanych kół Modifications of tested wheels				

Zgodnie z przedstawionymi celami badań obliczono również współczynnik siły wzdłużnej kół na badanych podłożach jako stosunek siły wzdłużnej do obciążenia pionowego koła. Natomiast sprawność trakcyjną rozumianą jako stosunek energii odzyskanej do energii włożonej obliczono na podstawie formuły 1.

$$\eta = \frac{P_T \cdot r_s}{M}, (-) \quad (1)$$

gdzie:

- $P_T$  – siła trakcyjna, N,
- $r_s$  – promień statyczny, m,
- $M$  – moment obrotowy, Nm.

Wyniki badań poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem programu Statistica 7.0. Wykonano wieloczynnikową analizę wariancji oraz test grup jednorodnych NIR Fishera.

## WYNIKI

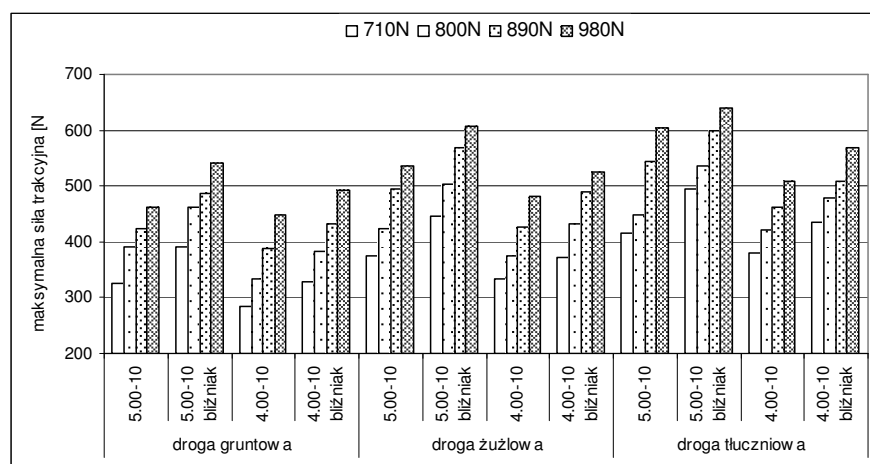
W celu opisu warunków badań określono właściwości podłoży badanych dróg leśnych. Wyznaczono wilgotność aktualną, maksymalne naprężenia ścinające oraz zwięzłość. Na podstawie wyników przedstawionych w tabeli 2 można stwierdzić, że pomimo znacznych różnic w strukturze nawierzchni badanych dróg wilgotność kształtowała się na porównywalnym poziomie. Stwierdzono natomiast znaczne różnice w maksymalnych naprężeniach ścinających i zwięzłości. Zanotowano 90% wzrost zwięzłości dla drogi o nawierzchni żuźlowej w porównaniu do drogi gruntowej. Przyjęta metodyka wyznaczania powyższych parametrów nie pozwoliła dokonać pomiarów na drodze o nawierzchni tłuczniowej, gdyż groziło to uszkodzeniem przyrządów pomiarowych. Przeprowadzono jednak krótką serię badań trakcyjnych na mokrej nawierzchni tłuczniowej oraz suchej i nie stwierdzono istotnych różnic mierzonych parametrów.

Tabela 2. Właściwości podłoży badanych dróg leśnych  
Table 2. Properties of forest roads surfaces

Rodzaj drogi Type of road	Wilgotność Soil moisture %	Maksymalne naprężenia ścinające Maximal cutting stress kPa	Zwięzłość Brevity MPa
Gruntowa – Ground	12,6	100,0	2,32
Żuźłowa – Gravel	13,4	155,2	4,42
Tłuczniowa – Crushed stone	b.d	b.d	b.d

Na rysunku 1 przedstawiono wartości maksymalnych sił trakcyjnych zmierzonych na badanych drogach dla opon napędowych pojedynczych i bliźniakowanych. Zanotowano istotne różnice w osiąganych siłach zarówno dla rozmiaru opony, obciążenia pionowego, jak i rodzaju drogi. Zgodnie z oczekiwaniami większa opona napędowa

(5.00-10) generowała siły trakcyjne większe średnio o 12% w porównaniu do opony 4.00-10. Jednak wraz ze wzrostem obciążenia pionowego różnice w wartościach sił trakcyjnych generowanych przez analizowane opony malały.

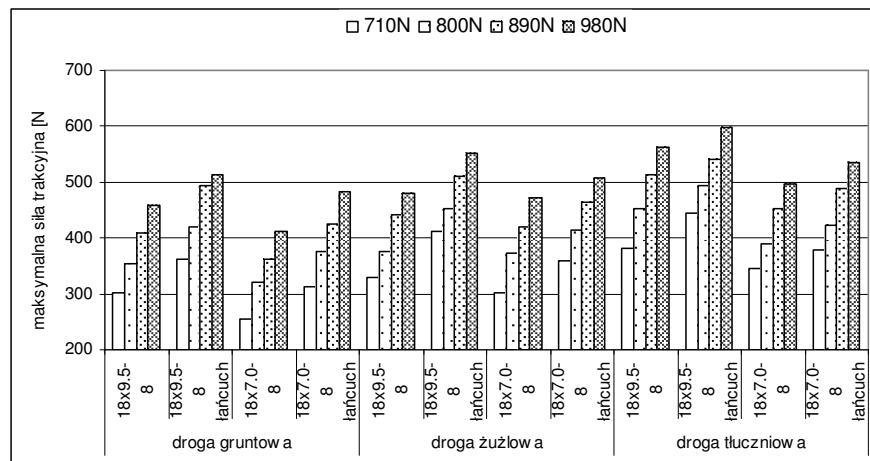


Rys. 1. Wartości maksymalnych sił trakcyjnych osiągnięte na badanych drogach dla opon napędowych

Fig. 1. Value of maximum traction forces generated on tested roads for drive tyres

Bliźniakowanie kół 4.00-10 powodowało niemal stały wzrost sił trakcyjnych dla poszczególnych obciążeń pionowych na poziomie 42–48 N, dopiero najwyższe obciążenie przyniosło wzrost na poziomie 69 N w porównaniu do opony pojedynczej. Podobną tendencję zaobserwowano dla opony większej 5.00-10. Utwardzanie dróg gruntowych zmieniło charakter generowanych sił trakcyjnych. Z uwagi na trudności w zagłębieniu się występów bieżnika wartości tych sił były głównie wynikiem tarcia opony o nawierzchnię drogi. Stwierdzono, że sposób utwardzania nawierzchni za pomocą żużla ograniczał niszczenie drogi występami bieżnika i pozwalał uzyskiwać większe siły szczególnie dla opony 5.00-10 (537 N dla obciążenia pionowego 980 N) w porównaniu do drogi gruntowej. Utwardzanie dróg za pomocą tłuczniwa skutkowało wzrostem sił trakcyjnych dla badanych opon i ich modyfikacji, jednak w tym przypadku obserwowano częste wrywnie pojedynczych kamieni występami bieżnika, a powtarzalność uzyskiwanych wyników była zdecydowanie mniejsza. Na tej nawierzchni najlepsze właściwości trakcyjne uzyskano dla bliźniakowanych kół 5.00-10, dla największego obciążenia siły trakcyjne osiągnęły wartość 640 N.

Na rysunku 2 przedstawiono wartości maksymalnych sił trakcyjnych generowanych przez opony typu grass. Największymi siłami trakcyjnymi (w zakresie 380–563 N) cechowała się opona 18×9.50-8 na drodze utwardzonej tłuczniem. Stosowanie większych obciążeń wpływało na proporcjonalny wzrost siły trakcyjnej dla każdego z badanych kół. Wyposażenie opon w łańcuchy antypoślizgowe na tej drodze skutkowało 9,5% wzrostem tej siły dla opony 18×9.50-8 oraz 8,5% wzrostem dla opony 18×7.00-8.

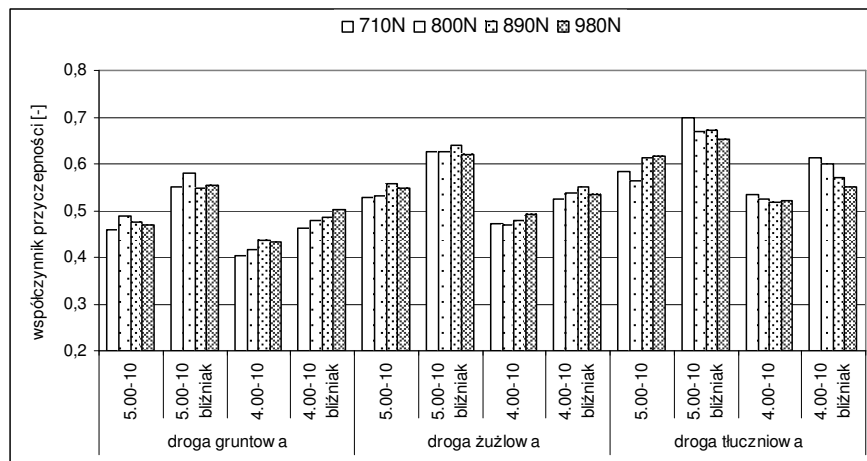


Rys. 2. Wartości maksymalnych sił trakcyjnych osiągnięte na badanych drogach dla opon typu Grass

Fig. 2. Value of maximum traction forces generated on tested roads for grass type of tyres

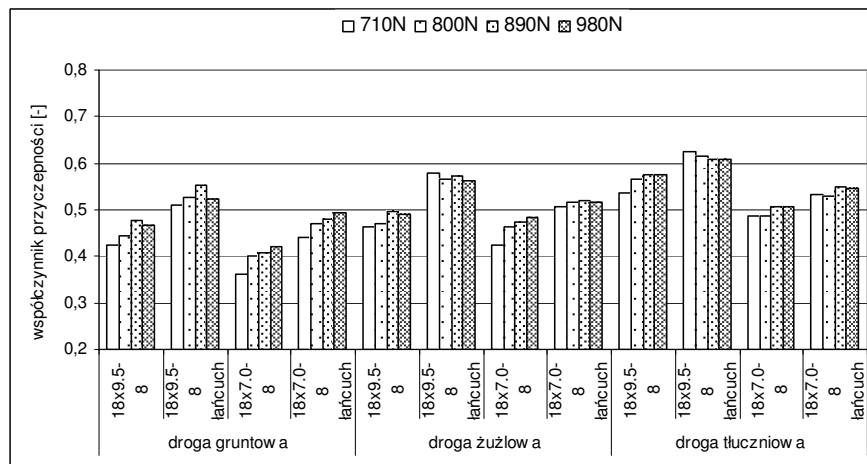
Uzyskane wyniki wskazują, że stosowanie łańcuchów antypoślizgowych skutkuje większymi przyrostami sił trakcyjnych na drodze gruntowej (wzrost siły trakcyjnej o 18%), co związane jest z możliwością zagłębienia ich w grunt. Utwardzanie dróg ogranicza możliwości penetracyjne łańcuchów, co skutkowało tylko 9% wzrostem siły trakcyjnej.

Na rysunku 3 przedstawiono wartości współczynników przyczepności dla opon napędowych obliczone dla maksymalnych sił trakcyjnych. Na nawierzchni gruntowej opona 5.00-10 pozwala uzyskać większe średnio o 11,5% wartości współczynnika przyczepności w stosunku do opony 4.00-10. Bliźniakowanie kół 5.00-10 na tej drodze wpłynęło na 17,5% wzrost współczynnika, zaobserwowano jednak jego spadek po przekroczeniu obciążenia 800 N, co może wskazywać, że poprawę właściwości trakcyjnych na nieutwardzonych nawierzchniach leśnych nie można realizować jedynie za pomocą dociążania kół. Na drogach utwardzonych wartości współczynnika przyczepności kształtowały się na porównywalnym poziomie (0,58–0,61 dla opony 500.10 oraz 0,52–0,53 dla opony 4.00–10). W przypadku nawierzchni utwardzonych bliźniakowanie opon wpływa na zwiększenie współczynnika przyczepności. Jednak stosowanie większych obciążeń pionowych nie skutkuje na tyle dużymi przyrostami sił trakcyjnych, aby mogło się to przyczynić do wzrostu współczynnika przyczepności, jest to szczególnie widoczne na drodze o nawierzchni tłuczniowej.



Rys. 3. Wartości współczynników przyczepności opon napędowych na badanych drogach  
Fig. 3. Value of coefficients of adhesion for drive tyres on analyzed forest roads

Na rysunku 4 przedstawiono wartości współczynników przyczepności dla opon typu grass obliczone dla maksymalnych sił trakcyjnych. Na drodze gruntowej opona 18×9.50-8 charakteryzowała się o około 14% większymi wartościami analizowanego współczynnika w stosunku do opony 18×7.00-8, co sugeruje, że na tych nawierzchniach dobrym sposobem poprawy właściwości trakcyjnych pojazdów może być zwiększanie powierzchni kontaktu z podłożem. Stosowanie łańcuchów antypoślizgowych na tych oponach wpływa na 17,5% wzrost przyczepności.

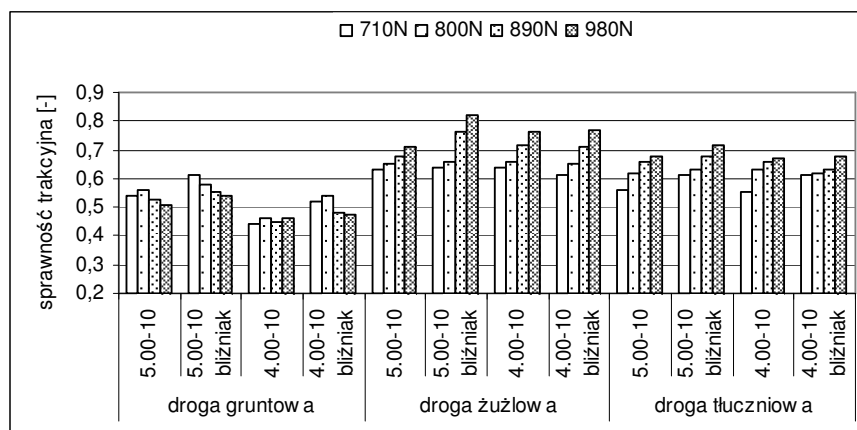


Rys. 4. Wartości współczynników przyczepności opon typu grass na badanych drogach  
Fig. 4. Value of coefficients of adhesion for grass type of tyres on analyzed forest roads



Na nawierzchni utwardzonej żuzłem nie stwierdzono istotnych zmian wartości współczynnika przyczepności pomiędzy badanymi oponami. Ograniczony był również wpływ obciążenia pionowego. Stosowanie łańcuchów w tym przypadku pozwala uzyskać większy współczynnik dla opony 18×9.50-8 (19%) w porównaniu do opony mniejszej 18×7.00-8 (12%). Odmienną przyczepnością charakteryzowały się badane opony na nawierzchni tłuczniowej. Dla opony większej 18×9.50-8 zanotowano 13,2% wzrost tego parametru w stosunku do opony mniejszej. Modyfikacja tych opon wpłynęła jedynie na 9% wzrost współczynnika przyczepności, co w powiązaniu z małą spójnością tłucznia wydaje się być uzasadnione.

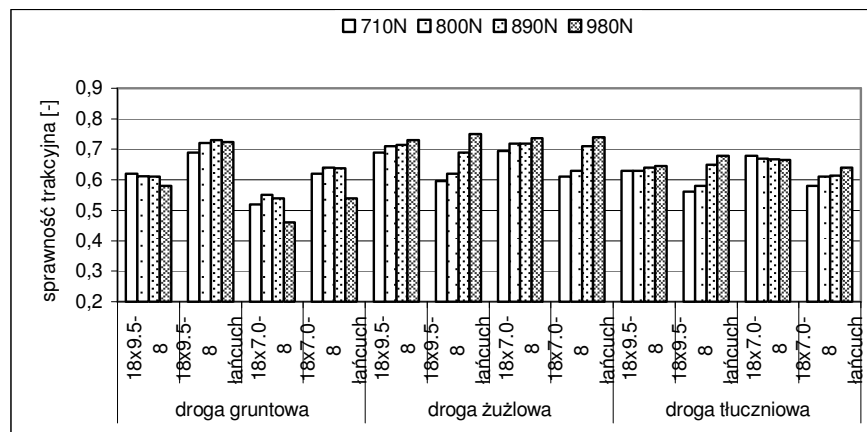
Na rysunku 5 przedstawiono wartości sprawności trakcyjnej dla opon napędowych. Współpraca tych opon z drogą gruntową skutkuje istotnymi zmianami sprawności zarówno dla rozmiaru opon, jak i ich obciążenia. Bliźniakowanie opon nie wpływa znacząco na wzrost sprawności, co związane jest z zwiększeniem oporów toczenia. Podobną przyczyną spadku sprawności jest zwiększanie obciążenia pionowego, co jest szczególnie widoczne dla bliźniakowanej opony 5.00-10 (spadek z 0,61% dla obciążenia 710 N do 0,54% dla obciążenia 980 N).



Rys. 5. Wartości sprawności trakcyjnej opon napędowych na badanych drogach  
Fig. 5. Value of traction efficiency for drive tyres on analyzed forest roads

Na drogach utwardzonych uzyskano porównywalne sprawności trakcyjne badanych opon, zaznacza się natomiast wpływ modyfikacji kół oraz obciążenia pionowego. Na drodze żużlowej bliźniakowanie opony 5.00-10 skutkuje 15% wzrostem sprawności jednak tylko dla największego obciążenia. W przypadku opony 4.00-10 wartości sprawności dla poszczególnych obciążeń są niezauważalne. Specyfika drogi tłuczniowej wpływa na zmianę wartości omawianego parametru. Zaznacza się proporcjonalny wzrost sprawności wraz ze wzrostem obciążenia zarówno dla opon pojedynczych, jak i bliźniakowanych. Wpływ modyfikacji jest natomiast widoczny jedynie przy niskim obciążeniu pionowym (710 N).

Na rysunku 6 przedstawiono wartości sprawności trakcyjnej dla opon typu grass.



Rys. 6. Wartości sprawności trakcyjnej opon typu grass na badanych drogach

Fig. 6. Value of traction efficiency for grass type of tyres on analyzed forest roads

Na podstawie powyższych wyników można stwierdzić, że na drodze gruntowej sprawność trakcyjna poszczególnych opon zależy od ich rozmiaru. Opona 18×9.5-8 z uwagi na największą powierzchnię kontaktu z podłożem ograniczała odkształcenia nawierzchni tej drogi i osiągnęła największą sprawność 62% dla najmniejszego obciążenia. Dociążanie analizowanej opony, podobnie jak mniejszej 18×7.0-8, nie przyniosło wzrostu sprawności. Zamocowanie na badanych kołach łańcuchów wpłynęło na wzrost sprawności, jednak dla największej wartości obciążenia pionowego badanych kół przyczyniło się do spadku sprawności, co sugeruje, że ta metoda poprawy właściwości trakcyjnych może się przyczynić do większych strat energetycznych.

Utwardzanie dróg ogranicza wpływ obciążenia pionowego dla opon bez łańcuchów antypoślizgowych, jednak ich montaż umożliwia uzyskanie wyższych sprawności. Wielką zmienność wartości tego parametru (56–68%) zaobserwowano na drodze o nawierzchni tłuczniowej, co było związane z małym zagłębieniem się badanych kół. Uzyskane wartości były jednak niższe od wyników uzyskanych na drodze żużlowej, co wskazywać może, iż materiał tego typu byłby najbardziej odpowiedni do poprawy nawierzchni dróg leśnych.

## WNIOSKI

1. Największe wartości maksymalnych sił trakcyjnych spośród opon napędowych generowała opona 5.00-10 na drodze o nawierzchni tłuczniowej dla obciążenia 980 N. Bliźniakowanie tych kół skutkowało dalszym wzrostem siły trakcyjnej. Spośród opon typu grass największe siły trakcyjne zanotowano dla opony 18×9.5-8 również na drodze o nawierzchni tłuczniowej. Stosowanie większych obciążeń pionowych skutkowało proporcjonalnym przyrostem sił trakcyjnych.

2. Właściwości trakcyjne badanych kół zależą od nawierzchni drogi, po której się poruszają. Na drodze gruntowej koła o większych rozmiarach osiągały wyższe wartości współczynnika przyczepności. Na drogach o nawierzchni utwardzonej bliźniakowanie kół napędowych i łańcuchy antypoślizgowe na kołach typu grass wpływają na wzrost przyczepności kół. Wyższe wartości współczynnika przyczepności osiągały opony napędowe w porównaniu do opon typu grass.

3. Sprawność trakcyjna uzależniona była zarówno od typu, jak i rozmiaru opony. Na drodze gruntowej wyższą sprawność osiągnęły opony typu grass z uwagi na większą powierzchnię kontaktu z podłożem i mniejsze opory toczenia. Spośród dróg utwardzonych największą sprawnością cechowała się droga żużlowa, na której bliźniakowane opony 5.00-10 osiągnęły sprawność 82%.

4. Stosowanie większych obciążeń pionowych wpływało na proporcjonalny przyrost sił trakcyjnych. Jednak wyższe obciążenia pionowe nie zawsze skutkowały tak dużymi przyrostami sił trakcyjnych, aby mogło się to przyczynić do wzrostu współczynnika przyczepności. Wyższe wartości obciążenia prowadzą do obniżenia sprawności trakcyjnej, co może się przyczynić do większych strat energetycznych.

## PIŚMIENNICTWO

- Białczyk W., Cudzik A., Czarnecki J., Pieczarka K., 2005. Właściwości trakcyjne opon i ich modyfikacji na różnych drogach leśnych. *Acta Sci. Pol. Technica Agraria* 4(1), 29–39.
- Białczyk W., Czarnecki J., Kopystiański P., 1998. Stanowisko do badań trakcyjnych opon mikrociągników. PAU, Prace Komisji Nauk Rolniczych, 1, 39–45.
- Białczyk W., Pieczarka K., Materek D., 2002. Wstępna ocena właściwości trakcyjnych opony na glebach leśnych. *Inż. Rol.* 5(38), 161–169.
- Forsyth A., Bubb K., Cox M., 2006. Runoff, sediment loss and water quality from forest roads in a southeast Queensland coastal plain *Pinus* plantation. *Forest Ecol. Manag.* 221, 1–3, 194–206.
- Herbauts J., El-Bayad J., Gruber W., 1998. The impact of mechanized forestry technique on the physical deterioration of soil – the case of acid, silty soils in the Soignes Fores (Belgium). *Rev. Forest. Franc.* 50(2), 124–137.
- Jansson K., Johansson J., 1998. Soil changes after traffic with a tracker and wheeled forest machine: case study on a silt loam in Sweden. *Forestry Oxford* 71(1), 57–66.
- JeaHeun Oh., DuSong Cha., 2000. A study on the ground pressure distribution on ground-based logging machines. *J. Res. Forest Kangwon Nat. Univ.* 20, 121–128.
- Walczykowska M., Walczyk J., Kormanek M. 2002. Determination of forest soil traction parameters. *EJPAU*, [www.ejpau.media.pl](http://www.ejpau.media.pl), *Forestry* 5, 2.
- Walczyk J., Kormanek M., Walczykowska M., 2001. Analiza pracy ciągnika Timberjack 240B i jego wpływu na glebę na zrębie. PAU, Prace Kom. Nauk Rol., 3, 169–178.

## EVALUATION OF TRACTION PROPERTIES OF TYRES ON SELECTED FORESTS' ROADS

**Abstract.** This paper presents the result of research on traction properties generated by different types of tyres on forest roads. There was different trees species and surfaces of the road: hardened by gravel and crushed stone. Research showed that the highest traction force was generated by the tyre 5.00-10 on crushed stone surface (604 N). Among grass type of tyres the highest traction forces were achieved for 18×9.5-8 on the same type of road (563 N). The most effective way to improve the traction force was to increase vertical load of the tyres. Highest values of the coefficient of adhesion were enumerated for drive wheel than it was for grass type tyres. Values of this parameter were depended on the road type. The experiment showed that using modifications sampled wheels achieved much highest traction force and coefficient of adhesion. The highest traction efficiency has modified carriage able on the gravel hardened road. For the tyre 5.00-10 traction efficiency was 82% and for 18×9.5-8 was 75%.

**Key words:** traction forces, wheel, forest roads

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 18.09.2006