

ENERGETYCZNA OCENA WSPÓŁPRACY OPON CIĄGNIKA Z PODŁOŻAMI ROLNICZYMI O RÓŻNYCH STOPNIACH ZAGĘSZCZENIA*

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

Streszczenie. W artykule przedstawiono ocenę współpracy opon ciągnikowych o różnych wymiarach zewnętrznych z glebą o różnym stopniu zagęszczenia. Celem badań było porównanie wartości sprawności trakcyjnych badanych opon oraz dokonanie bilansu energetycznego. Ponadto wykazano ile mocy dostarczonej do koła jest wykorzystywane w postaci siły uciągu oraz jaka jej część jest tracona na opór przetaczania i poślizg koła. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że wyższe wartości sprawności trakcyjnej obu opon, a także większe przyrosty tego parametru w funkcji poślizgu koła wystąpiły na glebie zagęszczonej. Na glebie luźnej zaobserwowano wyższe wartości mocy traconej na opór przetaczania i poślizg kół wyposażonych w badane opony, a efekcie wyższe zapotrzebowanie na moc dostarczaną do kół.

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

Wstęp

Współczesne ciągniki rolnicze, jako główne źródło energii pociągowej w rolnictwie, powinny gwarantować możliwość uzyskiwania dużych wydajności, które umożliwią odpowiednio szybkie a w efekcie terminowe wykonywanie zabiegów agrotechnicznych. Niemniej ważną cechą ciągników jest uniwersalność, która przejawia się tym, że od jednego ciągnika oczekuje się możliwości eksploatacji przy różnych pracach, na odmiennych podłożach oraz w różnych warunkach terenowych.

Jednym z zasadniczych problemów dotyczących eksploatacji ciągników rolniczych jest powstawanie strat przy przenoszeniu siły napędowej z kół na podłoże. Straty te są wynikiem występowania oporu przetaczania koła (zależnego zarówno od deformacji podłoża, jak i opony) oraz poślizgu kół. Zważywszy na to, że ciągnik rolniczy pracuje na podłożach

* *Badania finansowane w ramach projektu badawczego nr N N313 759340*

o odmiennych właściwościach, można przypuszczać, że różne będą warunki przenoszenia siły trakcyjnej, a w konsekwencji różne będą też straty. Wielkość strat w układzie koło - podłoże może być opisana sprawnością trakcyjną – parametr ten jest stosunkiem mocy odebranej do mocy dostarczonej do koła [Jakliński 2006; Zoz 2003]. Jednak sprawność trakcyjna uwzględnia jedynie moc na wejściu i wyjściu układu koło – podłoże, toteż nie opisuje dokładnie, jaka część mocy została wykorzystana w postaci siły uciągu, a jaka została stracona na opór przetaczania i poślizg. Zasadne jest więc przeprowadzenie bilansu energetycznego, który opisuje proporcje pomiędzy mocami [Goering i in. 2003].

Znanym sposobem poprawy właściwości trakcyjnych ciągnika rolniczego jest odpowiedni dobór opon. Potwierdzeniem mogą być badania, w których wykazano, że konstrukcja opon, ich wymiary oraz obciążenie pionowe wpływają na wielkość siły i sprawności trakcyjnej [Abd El-Gawwad i in. 1999; Grisso i in. 1992; Suresh, Varschney 2006]. Przeprowadzone bilanse energetyczne również wykazały, że parametry opon mają wpływ na wielkość poszczególnych części mocy dostarczanej do koła [Materek 2004; Turner 1995]. Wykazano także, że wielkość mocy uciągu i mocy traconych na opór przetaczania oraz poślizg jest zależna od właściwości podłoża [Gholkar i in. 2009; Jenane i in. 1996]. Większość tych badań dotyczyła jednak opon o dużych średnicach i szerokościach; zasadne staje się rozpoznanie tej problematyki w odniesieniu do małych opon przeznaczonych dla ciągników niższych klas uciągu.

Cel, metoda i warunki badań

W związku z powyższym zrealizowano badania, których celem było:

- wyznaczenie oraz porównanie sprawności trakcyjnych opon o różnych wymiarach na podłożach różniących się stopniem zagęszczenia,
- przeprowadzenie bilansu energetycznego kół wyposażonych w badane opony.

Do badań wytypowano dwie opony diagonalne dętkowe o klasycznej rzeźbie bieżnika. Opony te przeznaczone były do ciągników klasy uciągu 4.0 i 6.0 kN. Parametry opon zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry badanych opon

Table 1. Parameters of the investigated tyres

| Opona, producent | Średnica zewnętrzna [mm] | Szerokość bieżnika [mm] | Wysokość występów bieżnika [mm] | Maksymalne obciążenie [kg] | Maksymalne ciśnienie powietrza [MPa] |
|------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 7.5-16 Mitas | 710 | 190 | 30 | 775 | 0,325 |
| 8.3-20 Mitas | 845 | 210 | 35 | 900 | 0,200 |

Źródło: opracowanie własne

Podczas badań opon stosowano jeden poziom obciążenia pionowego 5320 N (542 kg) oraz jeden poziom ciśnienia powietrza wynoszący 0,15 MPa. Zarówno wartości obciążenia pionowego, jak i ciśnienia powietrza były zgodne z zaleceniami producentów opon.

Podłożem, na którym przeprowadzano badania była glina lekka (zawartość piasku – 55%, pyłu – 17%, ilu – 28%) o dwóch poziomach zagęszczenia:

- luźna (niezagęszczona) – przed badaniami dokonano spulchnienia glebogryzarką na głębokość ok. 10 cm,
- zagęszczona – spulchniona jak w poprzednim przypadku, a następnie zagęszczona wałem kolczastym o masie 150 kg (wykonano 50 przejazdów).

W celu określenia różnic właściwości gleby luźnej i zagęszczonej dokonano pomiarów zwięzłości oraz maksymalnych naprężeń ścinających; średnie wartości tych parametrów dla głębokości pomiaru 0–0,15 m przedstawiono w tabeli 2. Wilgotność gleb podczas badań wynosiła 14%. Pomiary zwięzłości i wilgotności zostały wykonane przy użyciu urządzenia Penetrologger firmy Eijkelkamp, natomiast naprężenia ścinające wyznaczono z wykorzystaniem sondy skrzydełkowej Vane H60 firmy Geonor.

Tabela 2. Parametry podłoży, na których przeprowadzano badania
Table 2. Parameters of beds, on which the research was carried out

| Podłoże | Parametr | |
|-------------------|--------------------|-------------------------------|
| | Zwięzłość [MPa] | Naprężenia ścinające [kPa] |
| Gleba luźna | 1,22 | 124 |
| Gleba zagęszczona | 2,42 | 201 |

Źródło: opracowanie własne

Badania były wykonywane przy użyciu stanowiska współpracującego z ciągnikiem rolniczym klasy 6.0 kN. Koło z badaną oponą montowane było na wale napędzanym od wałka odbioru mocy ciągnika za pośrednictwem przekładni redukującej. Badanie polegało na wymuszeniu ruchu obrotowego koła i przetaczaniu całego stanowiska wraz z ciągnikiem. W końcowym etapie pomiaru stanowisko było hamowane z wykorzystaniem hamulca ciągnika, co umożliwiała uzyskanie pełnego zakresu poślizgu badanego koła. Pomiar siły uciążu realizowany był z wykorzystaniem siłomierza indukcyjnego o zakresie pomiarowym 0–20000 N i dokładności 1 N, moment obrotowy na badanych kołach mierzono przy użyciu momentomierza o zakresie 0–3000 Nm i dokładności 1 Nm. Wartości dróg ustalane były na podstawie pomiarów kąta obrotu badanego koła (droga teoretyczna) oraz tzw. piątego koła (droga rzeczywista). Każdy z pomiarów wykonywano w pięciu powtórzeniach.

Wykorzystując uzyskane wyniki pomiarów obliczono wartości poślizgu oraz siły trakcyjnej i sprawności trakcyjnej zgodnie z wzorami 1-3.

$$\delta = 100 \left(1 - \frac{v_R}{v_T} \right) \quad (1)$$

$$P_T = \frac{M_O}{r_d} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_H}{M_O} r_d (100 - \delta) \quad (3)$$

gdzie:

- δ – poślizg koła [%],
- v_R – droga rzeczywista [m],
- v_T – droga teoretyczna [m],
- P_T – siła trakcyjna [N],
- P_H – siła uciągu [N],
- M_O – moment obrotowy na kole [Nm],
- r_d – promień dynamiczny koła [m],
- η – sprawność trakcyjna [%].

Wartości promienia dynamicznego (r_d) były wyznaczane na podstawie pomiaru drogi przebytej przez koło po wykonaniu pięciu obrotów.

W celu przeprowadzenia bilansu energetycznego konieczna była znajomość wartości poszczególnych mocy na badanym kole. Moce te wyznaczono według wzorów 4-7.

$$N_k = N_H + N_f + N_\delta \quad (4)$$

$$N_H = P_H v_R \quad (5)$$

$$N_f = (P_T - P_H) v_R \quad (6)$$

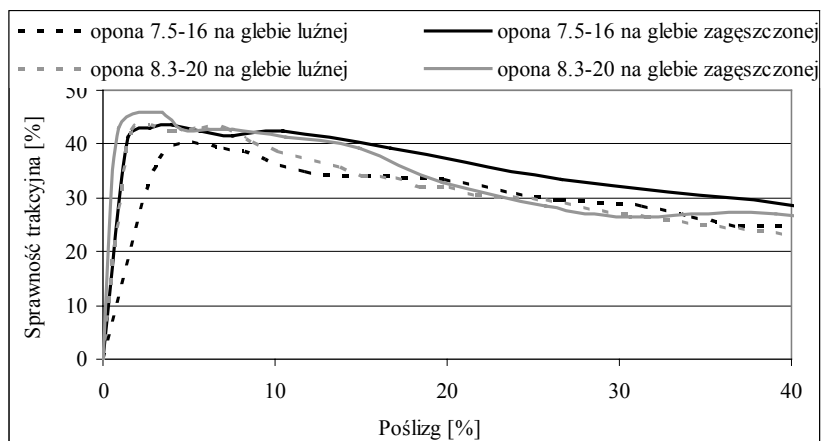
$$N_\delta = P_T \left(r_d - \frac{v_R}{\omega_T} \right) \omega_T \quad (7)$$

gdzie:

- N_k – moc dostarczana do koła [W],
- N_H – moc uciągu [W],
- N_f – moc wykorzystywana na pokonanie oporów przetaczania [W],
- N_δ – moc tracona na poślizg koła [W],
- ω_T – teoretyczna prędkość obrotowa badanego koła [s^{-1}].

Wyniki badań i ich analiza

Na podstawie obliczonych wartości sprawności trakcyjnej sporządzono graficzną zależność tego parametru od poślizgu koła. Zależność tę przedstawiono na rysunku 1.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Przebiegi sprawności trakcyjnej opon w funkcji poślizgu, na obu badanych podłożach
 Fig. 1. Courses of traction efficiency of tyres as a function of skidding on both investigated beds

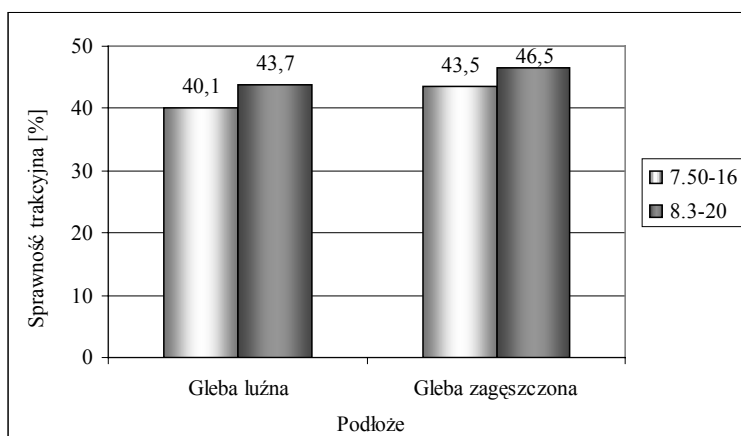
Z przedstawionego powyżej rysunku wynika, że na glebie zagęszczonej wystąpiły większe początkowe przyrosty sprawności trakcyjnej, a maksymalne wartości sprawności występowały przy niższych wartościach poślizgu. Na obu glebach, w początkowym zakresie poślizgu (0–15%) opona 8.3-20 osiągała wyższe wartości sprawności w porównaniu do opony 7.5-16. Charakter przedstawionych przebiegów jest zgodny z wynikami badań przedstawianymi w literaturze; pewne różnice dotyczą jednak wartości poślizgu, przy których występuje maksymalna sprawność trakcyjna; w niektórych wynikach badań poślizg przy sprawności maksymalnej przekracza 15% [Grisso i in. 1992; Senatore, Sandu 2011; Simikić i in. 2010].

W celu porównania maksymalnych wartości sprawności trakcyjnej na obu podłożach dokonano zestawienia tych wartości (rys. 2).

Analiza powyższego zestawienia pozwala stwierdzić, że w przypadku obu badanych opon wyższe wartości sprawności trakcyjnej osiągnięte zostały na glebie zagęszczonej. Ponadto zauważyć można, że na obu tych podłożach wyższymi wartościami sprawności trakcyjnej charakteryzowała się opona o większych wymiarach zewnętrznych (8.3-20). Różnice w wartościach sprawności osiąganych na obu glebach wynosiły 8,5% (3,4 punktu procentowego) dla opony 7.5-16 i 6% (2,8 punktu procentowego) dla opony 8.3-20. Wyższe wartości sprawności na glebie zagęszczonej znajdują potwierdzenie w dostępnej literaturze, gdzie stwierdza się, że na podłożach o wyższej zwięzłości wartości sprawności trakcyjnej są wyższe [Jenane i in. 1996; Senatore, Sandu 2011].

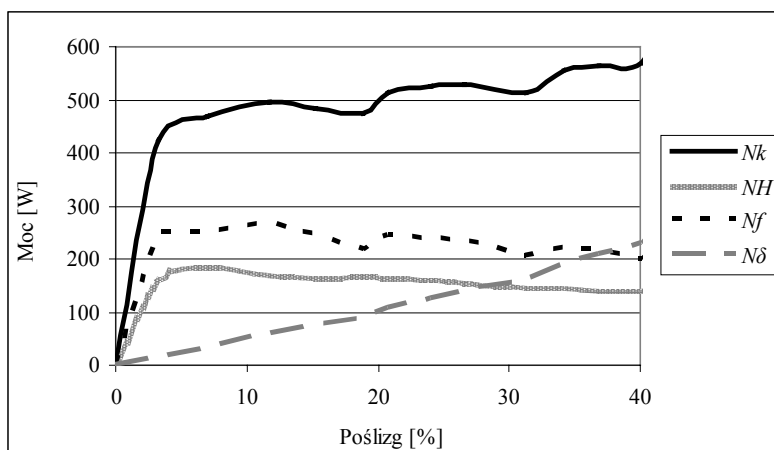
Odmienne kształt przebiegów sprawności trakcyjnej (rys. 1) oraz różne jej wartości maksymalne (rys. 2.) mogą mieć związek z różnym stopniem zagęszczenia badanych podłoży. Przypuszczać należy, że w przypadku gleby luźnej wystąpił większy opór przetaczania oraz skłonność koła do toczenia z poślizgiem. Zasadne było zatem przeprowadzenie bilansu energetycznego, na podstawie którego możliwe będzie ustalenie jaka część mocy

dostarczanej do koła jest tracona na poślizg i opór przetaczania oraz ile mocy jest wykorzystywane w postaci siły uciągu. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono przebiegi mocy dla opony 7.50-16 kolejno na glebie luźnej i zagęszczonej.



Źródło: opracowanie własne

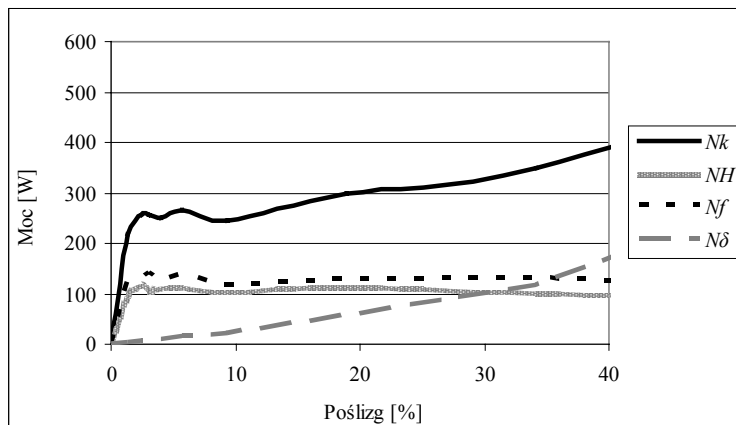
Rys. 2. Zestawienie maksymalnych wartości sprawności trakcyjnej opon na obu podłożach
 Fig. 2. Statement of the maximum values of the traction efficiency of tyres on both beds



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Przebiegi mocy opony 7.5-16 na glebie luźnej: N_k – moc dostarczana do koła, N_H – moc uciągu, N_f – moc wykorzystywana na pokonanie oporów przetaczania, N_δ – moc tracona na poślizg

Fig. 3. Power courses of 7.5-16 tyre on the loose soil: N_k – power supplied to a wheel, N_H – towing power, N_f – power used for overcoming the rolling resistance, N_δ – power lost on skidding



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Przebiegi mocy opony 7.5-16 na glebie zagęszczonej (oznaczenia jak na rys. 3)
 Fig. 4. Power courses of 7.5-16 tyre on the compacted soil (symbols as for fig. 3)

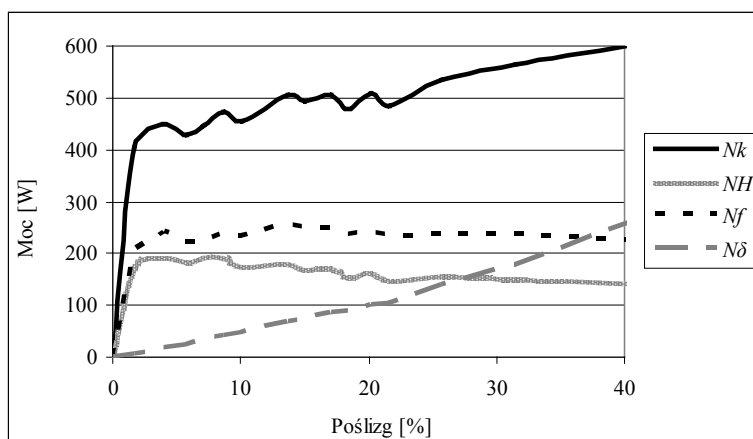
Analizując przedstawione powyżej przebiegi zaobserwować można, że wartości poszczególnych mocy były wyższe na glebie luźnej. Ponadto, na obu glebach charakterystyczny jest znaczny przyrost wartości mocy dostarczanej do koła (N_k) przy niskich wartościach poślizgu (0–3%). Wartość mocy uciągu (N_H) na obu glebach była niższa niż wartość mocy traconej na opór przetaczania (N_f) – sytuację taką należy tłumaczyć tym, że na opór ruchu stanowiska badawczego składał się opór przetaczania badanej opony oraz opór kół ciągnika, z którym współpracowało stanowisko (masa ciągnika znacznie przekraczała obciążenie pionowe badanego koła). Moc tracona na poślizg (N_δ) odznaczała się wzrostem wartości wraz ze zwiększaniem poślizgu (w przypadku gleby zagęszczonej po przekroczeniu poślizgu 30% zaobserwowano zwiększenie tempa przyrostu tej mocy).

Przebiegi mocy dla drugiej z badanych opon (8.3-20), zilustrowano na rysunkach 5 i 6.

Wartości poszczególnych mocy dla opony 8.3-20 (rys. 5, 6) podobnie jak w poprzednim przypadku były wyższe na glebie luźnej. Na tej glebie wystąpił ponadto znaczny przyrost mocy przy dostarczanej do koła (N_k) przy niskich wartościach poślizgu (0–4%). Na glebie zagęszczonej przebieg mocy dostarczanej do koła miał odmienny charakter; przyrost tego parametru był wolniejszy a ustabilizowanie nastąpiło dopiero przy poślizgu ok 10%. Analogicznie jak w przypadku opony 7.50-16, moc uciągu na obu glebach była niższa niż moc tracona na opór przetaczania. Wartość mocy traconej na poślizg (N_δ) wzrastała wraz ze wzrostem poślizgu. W przypadku gleby luźnej zwiększenie tempa przyrostu nastąpiło przy poślizgu równym 23%, zaś na glebie zagęszczonej – przy poślizgu 27%.

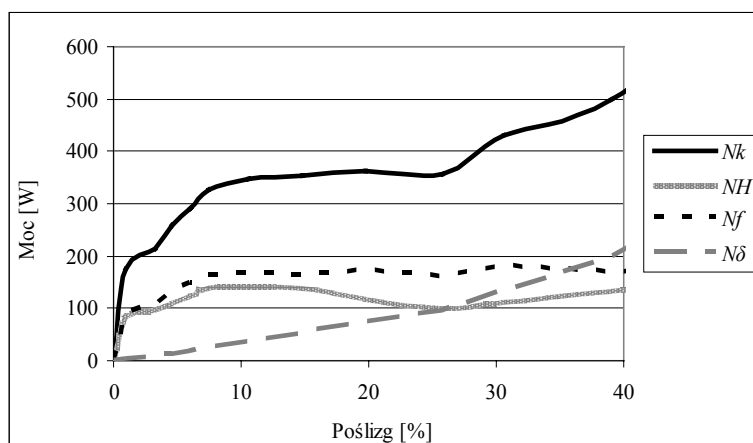
Porównując charakter omawianych przebiegów z wynikami przedstawianymi w literaturze stwierdzić można, że występuje tu pewna różnica dotycząca tempa przyrostu mocy; w pracach Materka [2004; 2008], Jenane i in. [1996] maksymalne wartości mocy uciągu występują przy wyższych wartościach poślizgów niż w przedstawianych wynikach badań. Ponadto, w tych pracach, moc dostarczana do koła cechowała się wolniejszym przyrostem.

Analizując przebiegi mocy traconej na opór przetaczania oraz na poślizg stwierdzić można, że charakter ich zmian jest analogiczny jak w innych wynikach badań [Materek 2004; Materek i in. 2008; Turner 1995].



Źródło: opracowanie własne

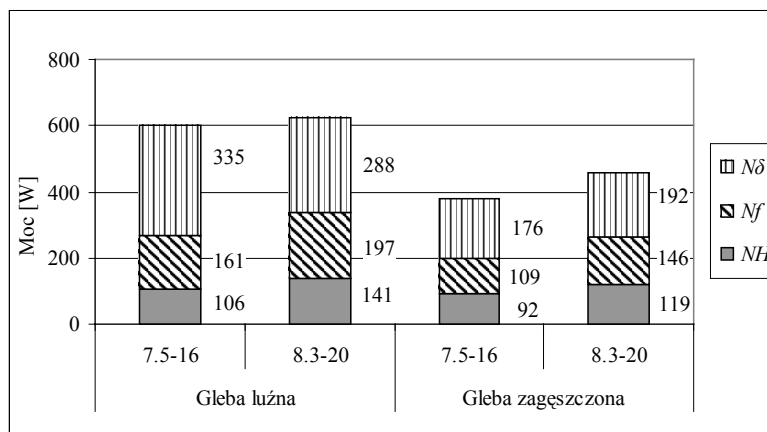
Rys. 5. Przebiegi mocy opony 8.3-20 na glebie luźnej (oznaczenia jak na rys. 3)
Fig. 5. Power courses of 8.3-20 tyre on the loose soil (symbols as for fig. 3)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 6. Przebiegi mocy opony 8.3-20 na glebie zagęszczonej (oznaczenia jak na rys. 3)
Fig. 6. Power courses of 8.3-20 tyre on the compacted soil (symbols as for fig. 3)

Na rysunku 7 dokonano zestawienia średnich wartości mocy obliczonych dla pełnego zakresu poślizgu.



Źródło: opracowanie własne

- Rys. 7. Zestawienie średnich wartości mocy obliczonych dla pełnego zakresu poślizgu (oznaczenia jak na rys. 3, suma mocy N_H , N_f i N_δ stanowi moc dostarczaną do koła N_k)
- Fig. 7. Statement of mean values of power calculated for the full range of slip (symbols as for fig. 3, the sum of power N_H , N_f and N_δ constitutes the power supplied to a wheel N_k)

Z przedstawionego powyżej zestawienia wynika, że w przypadku obu opon na glebie luźnej w celu uzyskania zbliżonych wartości mocy uciągu konieczne było dostarczenie do koła większej mocy. Ponadto, w przypadku opony 8.3-20 wystąpiła mniejsza różnica w wartościach mocy (N_k) na różnych podłożach (wynosiła ona 37%, podczas gdy dla opony 7.5-16 wyniosła ona 60%). Wartości mocy traconych na opór przetaczania i poślizg dla obu opon były wyższe na glebie luźnej, co niewątpliwie ma związek z większą skłonnością do deformacji tego podłoża.

Uzyskane wyniki poddano wieloczynnikowej analizie wariancji na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, z wykorzystaniem pakietu Statistica 9.0. Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki analizy statystycznej (F – wartość testu, p – prawdopodobieństwo)
Table 3. Results of the statistical analysis (F – value of the test, p – probability)

| Czynnik | Zmienna zależna | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------------|---------|---------------|---------|------------|---------|----------------------------------|---------|------------------------|---------|
| | Sprawność trakcyjna | | Moc całkowita | | Moc uciągu | | Moc tracona na opór przetaczania | | Moc tracona na poślizg | |
| | F | p | F | p | F | p | F | p | F | p |
| Rozmiar opony | 33,376 | 0,00027 | 0,050 | 0,32771 | 15,918 | 0,00316 | 6,435 | 0,03188 | 2,642 | 0,13852 |
| Zagęszczenie podłoża | 36,390 | 0,00019 | 60,603 | 0,00003 | 10,065 | 0,01132 | 10,267 | 0,01076 | 21,631 | 0,00120 |

Źródło: opracowanie własne

Przeprowadzona analiza wykazała, że stopień zagęszczenia podłoża miał istotny wpływ zarówno na wartości sprawności trakcyjnej, jak i wszystkich mocy na kołach wyposażonych w badane opony. Rozmiar opony wpływał jedynie na sprawność trakcyjną, moc uciągu i moc traconą na opór przetaczania. Nie stwierdzono istotnego wpływu rozmiaru opony na moc dostarczaną do koła (na tych samych podłożach wartości tej mocy dla poszczególnych opon były zbliżone) oraz na moc traconą na poślizg (przypuszczalnie wynika to z jednakowej konstrukcji bieżnika obu opon).

Wnioski

1. Użycie opony 8.3-20 powoduje uzyskiwanie wyższych wartości sprawności trakcyjnej w porównaniu z oponą 7.5-16. Ponadto w przypadku opony 8.3-20 stwierdzono mniejszą różnicę w maksymalnych wartościach sprawności na różnych podłożach.
2. Na glebie luźnej obie opony wymagały dostarczenia do koła większej mocy niż w przypadku gleby zagęszczonej. Wyższe wartości mocy traconej na opór przetaczania i poślizg na glebie luźnej mają związek z większą skłonnością tej gleby do deformacji.
3. Opona 8.3-20 w porównaniu z oponą 7.50-16 cechowała się mniejszą różnicą w wartościach mocy dostarczanej do koła na różnych podłożach. Brak istotnego wpływu rozmiaru opony na wartości mocy traconej na poślizg tłumaczyć należy taką samą rzeźbą bieżnika obu badanych opon, a w konsekwencji zbliżonym charakterem przenoszenia siły trakcyjnej.
4. Na glebie luźnej stwierdzono zbliżone przebiegi mocy w funkcji poślizgu koła dla obu badanych opon. Na glebie zagęszczonej koło wyposażone w oponę 8.3-20 cechowało się mniejszymi przyrostami mocy uciągu, mocy traconej na opór przetaczania oraz mocy całkowitej.
5. Mniejsze różnice w maksymalnych wartościach sprawności trakcyjnej i mocy dostarczanej na różnych podłożach pozwalają na stwierdzenie, że bardziej uniwersalną jest opona 8.3-20.

Bibliografia

- Abd El-Gawwad K. A., Crolla D. A., Soliman A., El-Sayed F. M.** (1999): Off-Road Tyre Modeling III: Effect of Angled Lugs on Tyre Performance. *Journal of Terramechanics*, 36, 63-75.
- 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 nr 096606, 1-2.
- Goering C. E., Stone M. L., Smith D. W., Tumquist P. K.** (2003): Off-Road Vehicle Engineering Principles. ASAE St. Joseph, Michigan, 366-370.
- Grisso R. D., Taylor R. K., Way T. R., Bashford L. L.** (1992): Tractive Performance of 18.4R46 and 18.4R42 Radial Tractor Tires. ASAE Paper No 91-1589, 739-745.
- 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., Monroe G.** (1996): Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. *Journal agricultural Engineering Research* 64, 131-138.

- Materek D.** (2004): Analiza właściwości trakcyjnych kołowego ciągnika rolniczego w wybranych technologiach uprawy roślin. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, 493, 34-76.
- Materek D., Pieczarka K.** (2008): Analiza wybranych właściwości trakcyjnych ciągnika New Holland TG 255. Inżynieria Rolnicza, 5(103), 131-135.
- Senatore C., Sandu C.** (2011): Torque Distribution Influence on Tractive Efficiency of Off-Road Wheeled Vehicle. Journal of Terramechanics, 48, 372-383.
- Simikić M., Dedović N., Savin L., Tomić M., Silleli H., Ponjićan O.** (2010): Influence of eccentric drawbar force on power delivery efficiency of a wheeled tractor. Turkish Journal of Agricultural and Forestry, 36, 1-16.
- Suresh N. Varschney A. C.** (2006): Draftability of a 8.95 kW Walking tractor on tilled land. Journal of Terramechanics, 43, 395-409.
- Turner R. J. (1995):** Comparison of Two and Four Track Machines to Rubber Tire Tractors in Prairie Soil Conditions. SAE Technical Paper Series 952097, 1-14.
- Zoz F. M., Grisso R. D.** (2003): Traction and Tractor Performance. ASAE Distinguished Lecture Series, Tractor Design No. 27, 11-16.

ENERGY ASSESSMENT OF COOPERATION OF TRACTOR TYRES WITH AGRICULTURAL BEDS OF VARIED DENSITY DEGREES

Abstract. The article presents assessment of cooperation of tractor tyres of varied outside dimensions with soil of varied density degree. The purpose of the study was to compare values of traction efficiency of the investigated tyres and to carry out energy balance. Moreover, it was proved how much power supplied to a wheel is used in the form of the towing power and what part of it is lost for the roll resistance and the wheel slip. On the basis of the obtained results, it was stated that higher values of traction efficiency of both tires and higher growth of this parameter as a function of the wheel skidding occurred on the compacted soil. Higher values of the power lost for the roll resistance and skidding of wheels equipped with the investigated tyres and as a result higher demand for the power supplied to wheels was reported on the loose soil.

Key words: tractor, traction efficiency, towing power, rolling resistance, energy balance

Adres do korespondencji:

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