

## OCENA WPŁYWU ZMIAN WŁAŚCIWOŚCI GLEBY I OBCIĄŻENIA PIONOWEGO KOŁA NA WŁAŚCIWOŚCI TRAKCYJNE WYBRANEJ OPONY RADIALNEJ\*

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

**Streszczenie.** W artykule dokonano oceny zmian właściwości trakcyjnych na skutek zwiększenia obciążenia koła, na glebie o zróżnicowanych właściwościach. Badania przeprowadzono dla opony radialnej 11.2R24, stosowano trzy poziomy obciążenia koła: 6110, 7330, 8060 N. Ocenę właściwości trakcyjnych przeprowadzono na podstawie porównania wartości siły trakcyjnej, siły uciągu, oporu przetaczania i sprawności trakcyjnej, a także wartości **mocy na** kole z badaną oponą. Badania wykonano w warunkach polowych, z wykorzystaniem mobilnego stanowiska agregatowanego z ciągnikiem rolniczym. Wykazano istotny wpływ stanu gleby na wszystkie analizowane parametry poza mocą traconą na poślizg. Stwierdzono również istotny wpływ zmiany obciążenia na siłę trakcyjną i jej składowe oraz składowe mocy dostarczonej do koła. Nie stwierdzono wpływu zmiany obciążenia na wartości sprawności trakcyjnej.

**Słowa kluczowe:** siła trakcyjna, siła uciągu, opór przetaczania, sprawność trakcyjna, poślizg, bilans mocy

### Wprowadzenie

Ciągnik uważany jest za główne źródło energii dla różnego typu maszyn rolniczych. Energia z silnika ciągnika wykorzystywana jest jako energia pociągowa dla maszyn i narzędzi biernych oraz do napędu elementów roboczych w maszynach aktywnych (Botta i in., 2010; Mushin, 2010). Energia silnika ciągnika wykorzystywana jest ponadto do zasilania instalacji hydraulicznej, pneumatycznej oraz elektrycznej. Część energii silnika jest tracona; badania naukowe wskazują, że około 20-55% mocy efektywnej jest tracone na oddziaływanie między oponą a podłożem w wyniku poślizgu i oporów przetaczania. Te dwa parametry są również główną przyczyną zagęszczenia gleby skutkującego spadkiem

---

\* Praca zrealizowana została w ramach projektu badawczego nr N N313 146938

wydajności upraw oraz szybszym zużywaniem się opon (Burt i Bailey, 1982; Zoz i Grisso, 2003). Zjawisko poślizgu powstaje wówczas, gdy siła napędowa koła jest większa od sił spójności gleby. Efektem poślizgu jest ścinanie i przemieszczanie cząstek gleby występami bieżnika. Spośród wielu czynników na wielkość poślizgu znaczący wpływ mają właściwości fizyczne podłoża oraz rodzaj i stan opon pojazdu. Oprócz poślizgu, jak wcześniej wspomniano, występują jeszcze straty związane z oporem przetaczania. Jest on zależny od deformacji opony oraz od możliwości jej zagłębiania się w podłożu (Čopec i Filipović, 2007).

W celu jak najlepszego wykorzystania potencjału energetycznego ciągnika, konieczne jest, aby pracował on przy jak najmniejszych stratach i jak największej wydajności (Jenane i Bashford, 1996). Biorąc pod uwagę, że straty w układzie przeniesienia napędu ciągnika są stosunkowo niewielkie, znaczący wzrost mocy uciągu i sprawności ciągników można osiągnąć tylko poprzez poprawę współpracy kół z podłożem (Raheman i Jha, 2007). Przy ocenie zdolności trakcyjnej ciągnika decydującym czynnikiem jest siła uciągu na zaczepie (Cordeiro i Lancas, 2000). Maksymalną siłę uciągu można osiągnąć, gdy ograniczona jest interakcja między kołem a podłożem, na którym eksploatowany jest ciągnik (Sahay i Tewari, 2004). Zmniejszenie poślizgu kół napędowych jest podstawowym wymogiem dla zwiększenia efektywności ciągników (Jenane i in., 1996). Z prowadzonych badań wynika, że właściwości trakcyjne opon w większym stopniu determinowane są właściwościami podłoża niż wymiarami opon czy wielkością obciążenia kół (Upadhyaya, 1989).

## **Cel, zakres i metodyka badań**

Celem badań była ocena właściwości trakcyjnych oraz ich zmian na skutek zwiększania obciążenia koła, na glebie o zróżnicowanych właściwościach, dla opony radialnej. Analizę właściwości trakcyjnych przeprowadzono na podstawie porównania wartości siły trakcyjnej, siły uciągu, oporu przetaczania i sprawności trakcyjnej. Ponadto przeprowadzono bilans mocy koła wyposażonego w badaną oponę, z uwzględnieniem wartości mocy składowych, tzn. mocy uciągu oraz mocy traconych na poślizg i pokonanie oporu przetaczania.

Badania wykonano na poletku doświadczalnym położonym na terenie Instytutu Inżynierii Rolniczej we Wrocławiu. Występująca tam gleba posiadała uziarnienie gliny piaszczystej (według Klasyfikacji Uziarnienia gleb i utworów mineralnych PTG 2008). Pomiary właściwości trakcyjnych przeprowadzono w lipcu i sierpniu bieżącego roku na glebie o odmiennych właściwościach. Każdorazowo glebę do badań przygotowywano w następujący sposób: wykonywano orkę na głębokość 20 cm, następnie zaoraną glebę w celu wyrównania doprawiano glebogryzarką na głębokość 8 cm i zagęszczano wałem gładkim. Właściwości gleby zmierzone w poszczególnych terminach przedstawiono w tabeli 1. Badania prowadzono przy niskiej wilgotności gleby (8,7%obj.), a co za tym idzie – większej jej zwięzłości i wyższych wartościach maksymalnych naprężeń ścinających, oraz przy wilgotności 23,8%obj., przy której gleba była w stanie plastycznym.

Tabela 1  
*Właściwości gleby*  
 Table 1  
*Soil properties*

| Właściwości gleby                                     | Termin badań |           |
|---|--------------|-----------|
|   | VII 2013     | VIII 2013 |
| Wilgotność (%obj.)                                    | 8,7          | 23,8      |
| Zwięzłość na głębokości 0,05 m (MPa)                  | 0,90         | 0,51      |
| Maks. naprężenia ścinające na głębokości 0,05 m (kPa) | 32           | 21        |

Badania przeprowadzono dla opony radialnej, bezdętkowej o oznaczeniu 11.2R24. Opona została wyprodukowana w 2010 roku przez firmę czeską Mitas, nie nosiła śladów zużycia. Główne parametry techniczne tej opony zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2  
*Parametry techniczne opony*  
 Table 2  
*Technical parameters of a tyre*

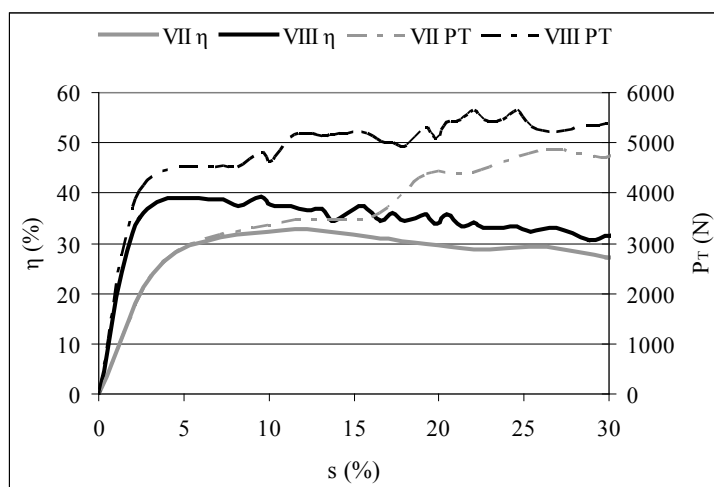
| Oznaczenie opony | Typ bieżnika | Wysokość bieżnika (mm) | Podziałka bieżnika (mm) | Średnica zewnętrzna (mm) | Średnica osadzenia (mm) | Szerokość (mm) | Ciśnienie powietrza (MPa) |
|------------------|--------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------|---------------------------|
| 11.2R24          | R1           | 32                     | 87                      | 1060                     | 610                     | 285            | 0,2                       |

Opony o rzeźbie bieżnika typu R1 charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami trakcyjnymi i również dobrymi właściwościami samooczyszczania się. Bieżnik tego typu jest wykorzystywany praktycznie do wszystkich prac w rolnictwie za wyjątkiem transportu drogowego. Badania prowadzono przy ciśnieniu powietrza w oponie równym 0,2 MPa. W trakcie pomiarów stosowano trzy wielkości obciążenia pionowego koła: 6110, 7330 i 8060 N.

Do wyznaczania właściwości trakcyjnych wykorzystywano specjalistyczne stanowisko agregatowane z ciągnikiem przy użyciu trzypunktowego układu zawieszenia. Na wyposażenie tego stanowiska składały się elementy pomiarowe: przetwornik siły (pomiar siły uciągu), momentomierz (pomiar momentu obrotowego na kole) oraz enkodery obrotowe (pomiar drogi rzeczywistej i teoretycznej). Wartość siły trakcyjnej obliczano jako stosunek momentu obrotowego do promienia dynamicznego koła. Opór przetaczania obliczany był jako różnica siły trakcyjnej i siły uciągu. Poślizg wyznaczano na podstawie wartości dróg: rzeczywistej i teoretycznej (czyli takiej, jaką pokonałoby koło przy toczeniu bez poślizgu). Sprawność trakcyjna była iloczynem ilorazu siły uciągu i siły trakcyjnej oraz sprawności poślizgu. Moc uciągu wyznaczono jako iloczyn siły uciągu i prędkości rzeczywistej, a moc tracona na opór przetaczania obliczana była jako iloczyn oporu przetaczania i prędkości rzeczywistej. Moc tracona na poślizg była natomiast iloczynem siły trakcyjnej, teoretycznej prędkości kątowej koła i różnicy promienia dynamicznego i promienia poślizgu. Moc całkowita (dostarczana do koła) była sumą mocy składowych.

## Analiza wyników badań

Na rysunku 1 przedstawiono przebiegi sprawności i sił trakcyjnych uzyskanych przy obciążeniu koła 6110 N w dwóch terminach badań na glebie o zróżnicowanych właściwościach. Analizując prezentowany diagram, można zauważyć znaczne zróżnicowanie zarówno w wartościach, jak i charakterze przebiegów sił i sprawności trakcyjnych w poszczególnych terminach badań. W sierpniu, przy większej wilgotności gleby oraz mniejszej jej zwięzłości i wytrzymałości na ścinanie, uzyskiwane siły i sprawności trakcyjne były znacząco wyższe niż w pomiarach lipcowych. Ta tendencja znajduje potwierdzenie w wynikach publikowanych przez innych badaczy (Bashford i in., 1993, Jenane i in., 1996). Podczas badań, przy zróżnicowanym stanie gleby maksymalna sprawność osiągnięta była przy odmiennych wartościach poślizgu: przy niskiej wilgotności – przy 12% poślizgu, natomiast przy większej wilgotności gleby – przy poślizgu na poziomie 5%. Zjawisko to można wytłumaczyć tym, że przy większej wilgotności podłoża opona ma większe możliwości głębokiego oddziaływania na podłoże, wówczas przewaga zjawiska ścinania nad tarcieniem przy przenoszeniu siły trakcyjnej jest większa. W obu terminach badań zauważono, że po uzyskaniu maksimum wartości sprawności trakcyjne maleją wraz ze wzrostem poślizgu. Od wartości maksymalnej do wartości przy poślizgu równym 30% spadki te wynoszą 9% na glebie o mniejszej wytrzymałości i o 6% na glebie o wytrzymałości większej.

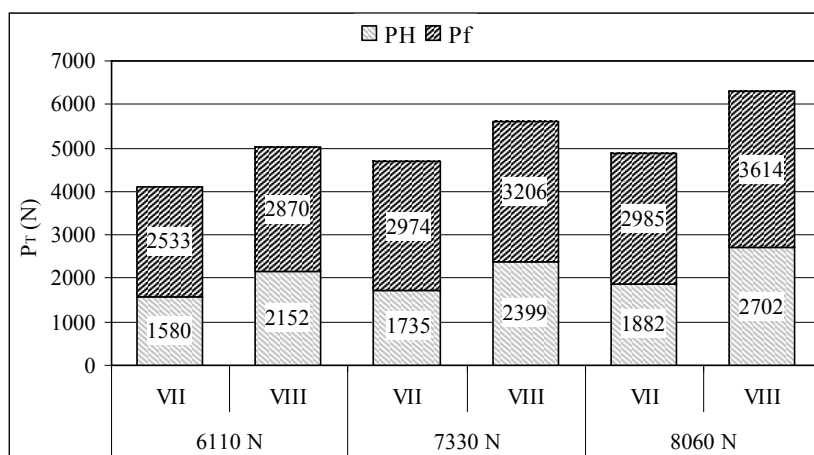


Rysunek 1. Przebiegi sprawności i sił trakcyjnych w funkcji poślizgu koła z oponą 11.2R24, przy obciążeniu 6110 N, w dwóch terminach badań:  $\eta$  – sprawność trakcyjna,  $P_T$  – siła trakcyjna,  $s$  – poślizg

Figure 1. Courses of efficiency and tractive forces as the skid function of a wheel with a tyre 11.2.R24 at the load 6110 N on two research dates:  $\eta$  – traction efficiency,  $P_T$  – tractive force,  $s$  – skid

Przedstawiony charakter zmian jest zbliżony do wyników przedstawianych przez Lee i Kim (1997), Wulfsohna (2009) i Simikica i in. (2010). Największe zróżnicowanie w wartościach sił trakcyjnych zaobserwowano dla poślizgu z zakresu 0-20%, dalszy jego wzrost stopniowo niweluje różnice w wartościach sił trakcyjnych uzyskiwanych w obu terminach badań.

W celu scharakteryzowania procesu przenoszenia siły trakcyjnej na podłoża o różnej wilgotności, wymagane było porównanie wartości sił trakcyjnych z uwzględnieniem jej składowych (siły uciągu i oporu przetaczania). Na rysunku 2 zilustrowano średnie wartości tych parametrów przy poślizgu 0-30%, dla wszystkich stosowanych poziomów obciążenia pionowego koła.

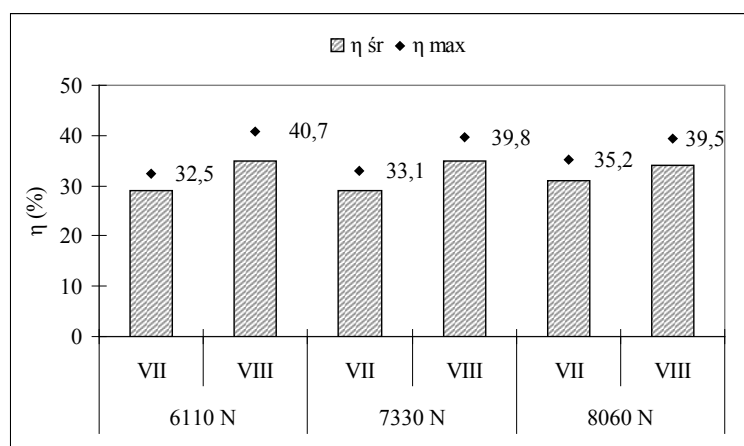


Rysunek 2. Średnie wartości sił trakcyjnych uzyskiwane przy poślizgu 0-30% w analizowanych terminach, dla trzech wielkości obciążenia pionowego koła:  $P_H$  – siła uciągu,  $P_f$  – opór przetaczania

Figure 2. Average values of tractive forces obtained at the skid 0-30% on the analysed dates for three sizes of a vertical wheel load:  $P_H$  – towing power,  $P_f$  – rolling resistance

Analizując dane z rysunku 2, można zauważyć, że uzyskiwane w badaniach sierpniowych siły trakcyjne były wyższe o około 20-30%, w zależności od wielkości obciążenia, od osiągniętych w badaniach lipcowych. Wzrost siły trakcyjnej przy większej wilgotności podłoża był efektem zarówno wzrostu siły uciągu, jak i oporu przetaczania. Zaobserwowano również, że przy większej wilgotności gleby bardziej korzystne jest dociążanie koła, przyczynia się ono do nawet 25% wzrostu siły trakcyjnej przy zmianie obciążenia z 6110 do 8060 N, podczas gdy taka sama zmiana obciążenia na glebie o mniejszej wilgotności skutkowałą wzrostem siły trakcyjnej o 18%. Wzrosty siły uciągu i oporu przetaczania są zgodne z wynikami przedstawianymi w innych pracach (Jun, 2004; Way i Kishimoto, 2004). Na podstawie dokonanej analizy można stwierdzić, że zmiana wilgotności gleby, determinująca również inne jej właściwości, odgrywa ogromną rolę w kształtowaniu się właściwości trakcyjnych pojazdu.

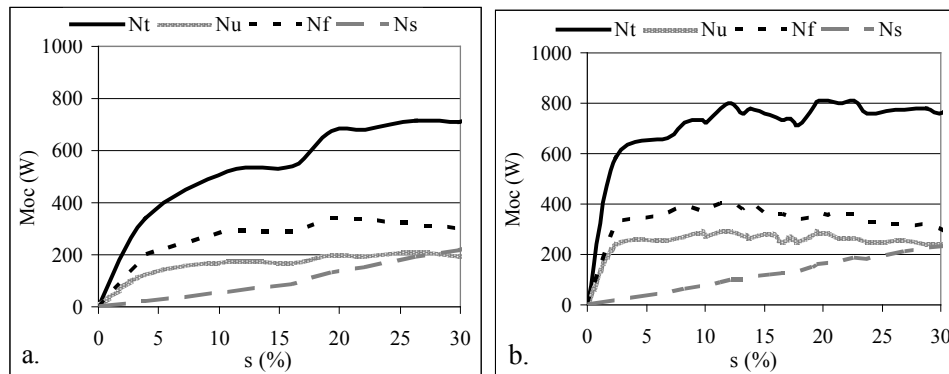
Na rysunku 3 przedstawiono wartości sprawności trakcyjnej (maksymalnej oraz średniej dla poślizgu z zakresu 0-30%) uzyskane w obu terminach badań dla wszystkich stosowanych obciążeń koła. Wyższe sprawności trakcyjne, zarówno średnią, jak i maksymalną, badana opona uzyskiwała przy większej wilgotności podłoża. Zjawisko to wskazuje, że zmiana warunków glebowych w większym stopniu przyczyniła się do wzrostu siły uciągu niż do wzrostu oporów przetaczania. Uzyskiwane w badaniach sierpniowych sprawności średnie dla poślizgu 0-30% były wyższe o około 5% w porównaniu do wartości osiąganych w badaniach wykonanych w lipcu. Zaznaczyć należy, że w niektórych pracach wykazywano, że na bardziej zwilżonych podłożach wartości sprawności są wyższe (Wulfsohn i in., 2009; Senatore i Sandu, 2011). Jednak podłoże, na którym prowadzono badania, charakteryzowało się ogólnie niską zwilżalnością, w związku z czym przełożenie różnic zwilżalności na właściwości trakcyjne mogło być odmienne. Niezależnie od stanu podłoża nie zaobserwowano wpływu zmiany obciążenia koła na wartości średnie sprawności trakcyjnej. W przypadku wartości maksymalnych analizowanego parametru zauważono nieznaczne jego spadki wraz ze wzrostem obciążenia na glebie o większej wilgotności oraz wzrost na glebie o wilgotności mniejszej. Niewielkie różnice w wartościach sprawności przy różnych obciążeniach pionowych wydają się korespondować z wynikami Juna (2004).



Rysunek 3. Wartości sprawności trakcyjnej opony osiągnięte na glebie w poszczególnych terminach badań przy trzech różnych wartościach obciążenia koła:  $\eta$  *sr* – średnia sprawność trakcyjna obliczona dla poślizgu z zakresu 0-30%,  $\eta$  *max* – maksymalna sprawność trakcyjna

Figure 3. Values of tractive force of a tyre obtained on the soil on particular research dates at three different wheel load values:  $\eta$  *sr* - average traction efficiency calculated for the skid within 0-30%,  $\eta$  *max* - maximum traction efficiency

W celu określenia wielkości strat w układzie koło-podłoże, związanych z pokonywaniem oporów toczenia oraz wynikających z poślizgu koła w zależności od warunków podłoża, przeprowadzono bilans mocy.

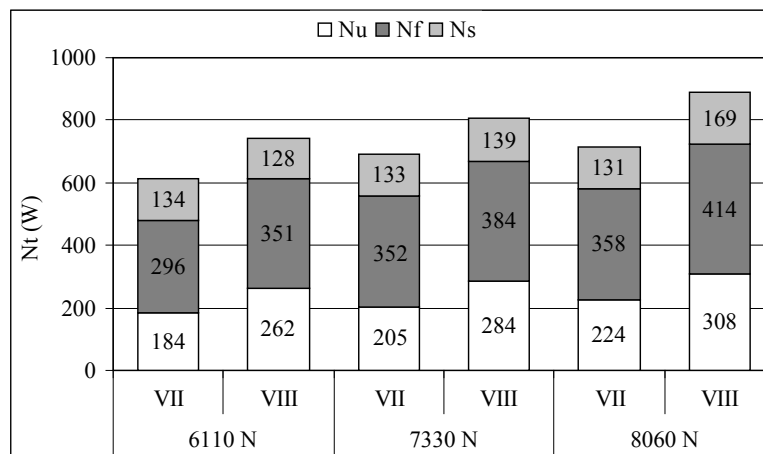


Rysunek 4. Przebiegi mocy opony 11.2R24 przy obciążeniu 6110 N: a. przy wilgotności gleby 8,7%obj., b. przy wilgotności gleby 23,8%obj.; s – poślizg, Nt – moc dostarczana do koła, Nu – moc uciągu, Nf – moc wykorzystywana na pokonanie oporów przetaczania, Ns – moc tracona na poślizg

Figure 4. Power courses of a tyre 11.2R24 at the load 6110 N: a. at the soil moisture 8.7% vol., b. at the soil moisture 23.8% vol.; s- skid, Nt – power supplied to a wheel, Nu – towing power, Nf – power used for defeating rolling resistance, Ns – power lost for skid

Analizując prezentowane przebiegi (rys. 4) można zaobserwować, że na glebie o większej wilgotności i mniejszej wytrzymałości na ścinanie wartości wszystkich mocy są wyższe. W poszczególnych terminach przebiegi krzywych mają odmienny charakter. Przy wilgotności gleby 8,7% wzrost wartości mocy całkowitej odbywa się wraz ze wzrostem poślizgu do około 20%. Natomiast przy wilgotności 23,8% obserwowano duży wzrost wartości mocy dostarczanej do koła dla poślizgu 0-3%, dla większych wartości poślizgu tempo przyrostu mocy było już znacznie mniejsze. Odmiennie przedstawiały się również przebiegi mocy uciągu w obu terminach badań. Na glebie o mniejszej wilgotności obserwowano wzrost mocy uciągu wraz ze wzrostem poślizgu, natomiast na glebie o większej wilgotności po przekroczeniu poślizgu 15% moc uciągu zaczyna spadać, przypuszczalnie z powodu większego spadku prędkości rzeczywistej. Analiza przebiegów mocy potrzebnej na pokonanie oporów toczenia pozwala zauważyć, że największe zróżnicowanie wartości uzyskiwanych w poszczególnych terminach, w związku z różnicami właściwości gleby, występuje dla poślizgu z zakresu 0-15%. Na pokonanie oporów toczenia dla tego przedziału poślizgu przy większej wilgotności gleby trzeba było o około 100 W mocy więcej niż przy wilgotności mniejszej. Spośród prezentowanych przebiegów najmniejsze różnice wykazano w przypadku mocy traconej na poślizg. Jej wartości oraz charakter przebiegu, niezależnie od właściwości gleby, były zbliżone. Biorąc jednak pod uwagę udział mocy traconej na poślizg w stosunku do mocy całkowitej, to dla obciążenia 6110 N był on mniejszy na glebie o większej wilgotności.

W celu określenia wpływu zmiany obciążenia koła na wartości mocy całkowitej dostarczanej do koła dokonano zestawienia średnich wartości poszczególnych mocy składowych obliczonych dla poślizgu z zakresu 0-30%.



Rysunek 5. Wartości średnie mocy obliczonych dla pełnego zakresu poślizgu  $N_u$  – moc uciągu,  $N_f$  – moc tracona na pokonanie oporów przetaczania,  $N_s$  – moc tracona na poślizg  
 Figure 5. Average values of power calculated for the full scope of skid  $N_u$  – towing power  $N_f$  – power lost to defeat rolling resistance  $N_s$  – power lost for skid

Z prezentowanego diagramu (rys. 5) wynika, że na glebie o większej wilgotności konieczne jest dostarczenie do koła większej mocy, niezależnie od wielkości jego obciążenia pionowego. Na podstawie różnic pomiędzy wartościami mocy dostarczonymi do koła w poszczególnych terminach można zauważyć, że przy większej wilgotności gleby wystąpiły największe wartości mocy uciągu. Analizując wpływ obciążenia na wartości poszczególnych mocy, zaobserwowano, że w przypadku mocy uciągu dociążanie skutkuje około 10% wzrostem mocy w stosunku do obciążenia niższego, niezależnie od stanu podłoża. W przypadku mocy traconej na pokonanie oporu przetaczania na glebie o wilgotności 8,7%, przy zmianie obciążenia z 6110 do 7330 N, zaobserwowano wzrost wartości analizowanej mocy o blisko 20%. Dalsze zwiększanie obciążenia nie spowodowało zmian w wartościach tej mocy. Na glebie o wilgotności 23,8% dociążanie skutkowało 8-9% (pomiędzy sąsiednimi wartościami obciążenia) wzrostem mocy traconej na pokonanie oporu toczenia. Na glebie o mniejszej wilgotności i większej wytrzymałości obserwowano 1-2% spadek mocy traconej na poślizg. Przy większej wilgotności wykazano tendencję odwrotną, przy czym wzrost mocy traconej na poślizg wynosił, w zależności od wielkości obciążenia, od 9 do nawet 22%.

Dla uzyskanych wyników przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ , której wyniki przedstawiono w tabeli 3 (wartości  $p$  opisują prawdopodobieństwo odrzucenia hipotezy mówiącej o braku istotnego wpływu czynnika). Analiza statystyczna miała na celu potwierdzenie zależności właściwości trakcyjnych opony od stanu gleby oraz obciążenia pionowego koła. Wykazano istotny wpływ stanu gleby (definiowanego jego parametrami) na wszystkie analizowane parametry poza mocą traconą na poślizg. Wykazano również istotny wpływ zmiany obciążenia na siłę trakcyjną i jej składowe oraz składowe mocy dostarczonej do koła. Jedyнным parametrem, który nie był zależny od obciążenia pionowego koła, była sprawność trakcyjna.



Tabela 3.  
*Wyniki analizy dwuczynnikowej analizy wariancji*  
 Table 3  
*Results of two-way analysis of variance*

| Czynnik                      | Wartości p |          |          |          |          |          |          |
|------------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                              | $P_u$      | $P_f$    | $P_T$    | $\eta$   | $N_u$    | $N_f$    | $N_s$    |
| Termin badań<br>(stan gleby) | 0,000002   | 0,000282 | 0,000010 | 0,000001 | 0,000001 | 0,000074 | 0,055086 |
| Obciążenie pionowe<br>koła   | 0,000570   | 0,000014 | 0,000033 | 0,296667 | 0,000357 | 0,000011 | 0,006774 |

## Wnioski

1. Opona 11.2R24 większe wartości siły i sprawności trakcyjnej uzyskiwała na glebie o wilgotności 23,8%obj. Stwierdzono różnice w proporcjach składowych siły trakcyjnej dla obu stanów podłoża. Wykazano, że wzrost wilgotności gleby (spadek jej wytrzymałości) przejawiał się wyższym zapotrzebowaniem na moc całkowitą, wykorzystywaną głównie w postaci siły uciągu oraz na pokonanie oporów toczenia.
2. Wykazano, że niezależnie od stanu gleby dociążanie koła z badaną oponą skutkowało wzrostem siły trakcyjnej i obu jej składowych oraz mocy całkowitej, mocy uciągu i mocy traconej na opór przetaczania. Większe przyrosty tych parametrów obserwowano na glebie o wyższej wilgotności. Nie stwierdzono istotnych różnic w wartościach sprawności trakcyjnej w wyniku zmiany obciążenia.

## Literatura

- Bashford, L. L.; Al-Hamed, S.; Jenane, C. (1993). Effects of tire size and inflation pressure on tractive performance. *ASAE Paper no 92-1011*, 343-348.
- Botta, G.F.; Tolon-Becerra, A.; Tourn, M.; Lastra-Bravo, X.; Rivero, D. (2012). Agricultural traffic: Motion resistance and soil compaction in relation to tractor design and different soil conditions. *Soil & Tillage Research*, 120, 92-98.
- Burt, E.G.; Bailey, A.C. (1982). Load and inflation pressure effects on tires. *Transactions of ASAE*, 25, 881-884.
- Čopec, K.; Filipović, D. (2007). Usporedba vučnih karakteristika traktora s novim i poluistrošenim pneumaticima u obradi ilovastog tla. *Agronomski Glasnik*, 4, 297-308.
- Cordeiro, M. A.; Lancas, L.K.P. (2000). Agricultural tire performance using the specific fuel consumption evaluation. *Energia na Agricultura*, 15, 55-66.
- Jenane, C.; Bashford, L.L.; Monroe, G. (1996). Reduction of fuel consumption through improved tractive performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64, 131-138.
- 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.
- Lee, D.R.; Kim, K.U. (1997). Effect of inflation pressure on tractive performance of bias-ply tires. *Journal of Terramechanics*, 34(3), 187-208.

- Muhsin, S.J. (2010). Studying the power losses of two and four wheel drive tractors (2WD and 4WD) of Massy Ferguson (2680) *Journal of Basrah Researches (Sciences)*, 36(6), 59-66
- Raheman, H.; Jha S.K. (2007). Wheel slip measurement in 2WD tractor. *Journal of Terramechanics*, 44, 89-94.
- Sahay, C.S.; Tewari, V.K. (2004). Computer simulation of tractor single-point drawbar performance. *Biosystems Engineering*, 88, 419-428.
- Senatore, C.; Sandu, C. (2011). Torque distribution influence on tractive efficiency and mobility of off-road wheeled vehicles. *Journal of Terramechanics*, 48, 372-383.
- Simikić, M.; Dedović, N.; Savin, L.; Tomić, M.; Silleli, H.; Ponjican, O. (2012). Influence of eccentric drawbar force on power delivery efficiency of a wheeled tractor. *Turkish Journal of Agricultural and Forestry*, 36, 1-16.
- Upadhyaya, S. K.; Wulfsohn, D.; Jubbal, G. 1989. Traction prediction equations for radial ply tyres. *Journal of Terramechanics*, 26(2), 149-175.
- Way, T.R., Kishimoto, T. (2004). Interface pressures of a tractor drive tire on structured and loose soils. *Biosystems Engineering*, 87(3), 375-386.
- Wulfsohn, D.; Way, T.R. (2009). Factors that influence tractive performance of wheels, tracks and vehicles. *Advances in Soil Dynamics vol. 3. St Joseph Michigan ASABE*, 209-252.
- Zoz, F.M.; Grisso, R.D. (2003). Traction and Tractor Performance. *ASAE Distinguished Lecture Series, Tractor Design*, 27, 11-16.

## ASSESSMENT OF IMPACT OF SOIL PROPERTIES CHANGE AND VERTICAL WHEEL LOAD ON TRACTION PROPERTIES OF THE SELECTED RADIAL TYRE

**Abstract.** The article presents assessment of traction properties change as a result of the increase of wheel load on soil with varied properties. Investigation was carried out for a radial tyre 11.2R24, three wheel loads were used: 6110, 7330, 8060 N. Assessment of traction properties was carried out based on the comparison of the tractive force value, towing power, rolling resistance and traction efficiency and values of power on a wheel with the investigated tyre. The research was carried out in field conditions with the use of a mobile aggregate stand with a farm tractor. Significant impact of the soil condition on all analysed parameters, except for power lost for skid, was proved. Moreover, a significant impact of load changes on the tractive force and its components and components of power supplied to a wheel were reported. No impact of load changes on tractive force values was reported.

**Key word:** stractive force, towing power, rolling resistance, traction efficiency, skid, power balance

### Adres autora do korespondencji:

Włodzimierz Białczyk; e-mail: wlodzimierz.bialczyk@up.wroc.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
ul. Chełmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław