

## WPŁYW GŁĘBOKOŚCI KOLEINY I CIŚNIENIA POWIETRZA W OGUMIENIU NA NACISKI JEDNOSTKOWE KÓŁ CIĄGNIKÓW NA GLEBĘ

Jan Jurga

*Instytut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Szczecinie*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań zależności nacisków jednostkowych pod przednimi i tylnymi kołami wybranych modeli ciągników od głębokości koleiny oraz ciśnienia powietrza w ogumieniu. Stwierdzono, że w badanym zakresie zmian głębokości koleiny, na każdy 1 cm jej przyrostu, naciski jednostkowe pod kołami przednimi ulegają zmniejszeniu średnio o około 5 kPa, zaś pod kołami tylnymi o 2 kPa. Obniżenie ciśnienia w ogumieniu z wartości zalecanej przy pracach transportowych do minimalnej wartości dopuszczalnej dla aktualnego obciążenia koła, spowodowało zmniejszenie nacisków jednostkowych o 4–23%.

**Słowa kluczowe:** ciśnienie powietrza w ogumieniu, głębokość koleiny, nacisk jednostkowy, pole powierzchni styku koła z glebą

### Wstęp, cel i metodyka

Jednym z kryteriów oceny wytrzymałości gleby na obciążenie zewnętrzne jest tzw. naprężenie graniczne. Jest ono definiowane jako naprężenie o takiej wartości, przy której elastyczne odkształcenie gleby przechodzi w jej plastyczną deformację. Dochodzi przy tym do nieodwracalnego zagęszczenia gleby. Wartość naprężenia granicznego określana jest na podstawie krzywej osiadania gleby pod wpływem nacisku i może stanowić podstawę do ustalania dopuszczalnych nacisków jednostkowych kół środków mobilnych poruszających się po polach [Lebert 1989; Semmel 1993]. Pomimo, że nacisk jednostkowy kół nie jest we wszystkich strefach powierzchni styku z glebą jednakowy, często, ze względu na łatwość oznaczenia, wyznacza się jego średnią wartość do porównania z oszacowanym naprężeniem granicznym. Koolen [1978] zaproponował określanie nacisku jednostkowego na podstawie ciśnienia panującego w ogumieniu. Do uzyskanego wyniku dodawał 10-15% poprawkę dotyczącą sztywności osnowy opony. W innej formule, poprawka ta wynosiła 40 kPa [Bolling, Söhne 1982]. Wielu autorów szacując wartość nacisku jednostkowego uwzględnia powierzchnię styku koła z glebą, wyliczaną na podstawie obciążenia, wymiarów koła i ciśnienia powietrza w ogumieniu [Komandi 1976; Steiner 1979] oraz dodatkowo warunków glebowych [Bolling 1987; Schwieger 1996; Dieserens 2002]. Jakliński [1999] pole powierzchni styku wyznacza na podstawie pomiaru kątów współpracy opony z glebą, średnicy i ugięcia opony oraz głębokości koleiny. W formule opisującej wartość nacisków jednostkowych, oprócz pionowego obciążenia koła, jako dodatkową zmienną niezależną przyjmuje siłę uciążu i osobno oblicza wartości składowej normalnej oraz stycznej.

Opracowane dotychczas modele zawierają szereg uproszczeń, z powodu których wyniki uzyskiwane przy ich użyciu cechuje znaczny rozrzut wartości. Dlatego przeprowadzono badania eksperymentalne, których celem było wyznaczenie nacisków jednostkowych wywieranych przez przednie i tylne koła wybranych ciągników na glebę, przy zróżnicowanych ciśnieniach powietrza w ogumieniu i przy różnych głębokościach uzyskiwanych kolein. Wszystkie badania przeprowadzono na glinie lekkiej. Aby uzyskać koleiny o zróżnicowanych głębokościach, pomiary wykonano przy poniżej przedstawionych wariantach spulchnienia gleby:

- gleba odleżała o nienaruszonej strukturze,
- gleba po uprawie glebogryzarką na głębokość około 10 cm,
- gleba po uprawie płuznej na głębokość około 20 cm.

Do badań wykorzystano ciągniki Ursus 3512, 1214, C-360-3P oraz Zetor 9540 wyposażone w typowe ogumienie (tab. 1). Ciągniki poruszały się po polu z prędkością około  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Ciśnienie powietrza w ogumieniu kolejno ustalono na dwóch poziomach: maksymalnym, zalecanym przez producenta do prac transportowych oraz minimalnym, dopuszczalnym dla rzeczywistego obciążenia koła.

Tabela 1. Wybrane dane dotyczące ciągników  
Table 1. Selected data concerning tractors

Wyszczególnienie	J.m.	Typ ciągnika			
		Zetor 9540	Ursus 3512	Ursus C-360-3P	Ursus 1214
<b>Koła przednie:</b>					
Wymiar ogumienia	-	12,4-24	6,00-16	6,00-16	14,9-24
Statyczny nacisk koła na glebę	[N]	9300	4850	4475	12700
Maksymalne ciśnienie w ogumieniu	[Mpa]	0,17	0,23	0,23	0,18
Minimalne ciśnienie w ogumieniu	[Mpa]	0,08	0,11	0,11	0,08
<b>Koła tylne:</b>					
Wymiar ogumienia	-	16,9 R 38	12,4 R 32	14,9-28	18,4-34
Statyczny nacisk koła na glebę	[N]	12050	8200	8525	16500
Maksymalne ciśnienie w ogumieniu	[Mpa]	0,16	0,16	0,18	0,18
Minimalne ciśnienie w ogumieniu	[Mpa]	0,06	0,06	0,08	0,08

Do obliczania nacisków jednostkowych (N) wykorzystano poniżej przedstawiony wzór:

$$N = F \cdot S^{-1},$$

gdzie:

- F – siła statycznego nacisku koła na glebę,
- S – pole powierzchni styku koła z glebą.

Siłę statycznego nacisku koła na podłoże obliczano na podstawie masy przypadającej na przednie i tylne koła ciągników. Pomiary wykonano na wadze najazdowej WS-20. Pole powierzchni styku koła z glebą wyznaczano metoda pośrednią. Po zatrzymaniu ciągnika krawędzie powierzchni styku kół z glebą markowano poprzez natrysk białej farby. Następnie ciągnik zjeżdżał ze strefy pomiarowej, a każdy z utrwalonych śladów przykrywano przezroczystą folią, na której odwzorowywano mazakiem wyznaczoną powierzchnię styku.

Pole powierzchni zaznaczone na folii mierzono przy użyciu digitizera Genius HiSketch 1812D, współpracującego z komputerem PC. Średnią głębokość koleiny wyznaczano na podstawie jej profilu odwzorowanego przy użyciu profilografu. Minimalna ilość powtórzeń pomiarów wyznaczano na podstawie statystycznej oceny prób wstępnych.

## Omówienie wyników badań

Uzyskane wyniki pomiarów i obliczeń zamieszczono w tabeli 2. Naciski jednostkowe wywierane przez koła przednie, przy ciśnieniu w ogumieniu zalecanym do prac transportowych, zawierały się w przedziale 49÷76 kPa. Wraz ze wzrostem głębokości koleiny

Tabela 2. Wyniki pomiarów i obliczeń  
Table 2. Results of measurements and calculations

Typ ciągnika	Koła przednie				Koła tylne			
	Ciśnienie w ogumieniu [Mpa]	Głębokość koleiny [cm]	Pole powierzchni styku [m <sup>2</sup> ]	Nacisk jednostkowy [kPa]	Ciśnienie w ogumieniu [Mpa]	Głębokość koleiny [cm]	Pole powierzchni styku [m <sup>2</sup> ]	Nacisk jednostkowy [kPa]
Zetor 9540	0,17	3,6	0,143	65	0,16	3,3	0,208	58
		5,6	0,174	53		5,1	0,222	54
		7,1	0,185	50		6,4	0,238	51
	0,08	2,8	0,160	58	0,06	2,1	0,246	49
		4,2	0,182	51		4,3	0,267	45
		6,3	0,205	45		5,9	0,287	42
Ursus 3512	0,23	4,7	0,067	72	0,16	3,0	0,140	59
		6,8	0,079	61		4,8	0,145	57
		9,4	0,095	51		6,0	0,156	53
	0,11	4,3	0,078	62	0,06	2,3	0,159	52
		6,0	0,092	53		4,3	0,172	48
		8,0	0,108	45		5,6	0,183	45
Ursus C-360-3P	0,23	4,0	0,059	76	0,18	3,6	0,142	60
		6,5	0,077	58		5,3	0,155	55
		9,0	0,091	49		7,9	0,173	49
	0,11	3,7	0,069	65	0,08	2,9	0,160	53
		5,7	0,088	51		4,5	0,181	47
		7,9	0,109	41		7,0	0,209	41
Ursus 1214	0,18	4,2	0,180	71	0,18	3,2	0,278	59
		5,7	0,201	63		4,9	0,293	56
		7,5	0,242	52		6,4	0,305	54
	0,08	3,6	0,207	61	0,08	2,7	0,347	48
		5,1	0,233	55		4,8	0,366	45
		7,1	0,275	46		6,0	0,398	42

formowanej przez koło, naciski jednostkowe ulegały znacznemu zmniejszeniu. Największą redukcję nacisków zaobserwowano w przypadku ciągnika C-360-3P, gdzie zwiększeniu głębokości koleiny z 4 cm do 9 cm towarzyszyło zmniejszenie nacisków jednostkowych o 27 kPa. W przypadku pozostałych ciągników zmniejszenie nacisków jednostkowych było nieco mniejsze i zawierało się w granicach 15÷21 kPa. Obniżenie ciśnienia w ogumieniu spowodowało zmniejszenia nacisków jednostkowych od 2 kPa do 11 kPa, tj. o 4-16%. Jednocześnie o około 0,3÷1,4 cm zmniejszyła się głębokość wytworzonej koleiny. Obliczona redukcja wartości nacisków jednostkowych pod kołami przednimi wynosiła średnio około 5 kPa na 1 cm przyrostu głębokości koleiny.

Naciski jednostkowe pod kołami tylnymi były mniejsze od nacisków wywołanych przez koła przednie i zawierały się w zakresie 41-60 kPa. Zmiany głębokości koleiny nie powodowały tak dużej redukcji nacisków jednostkowych, jak to zaobserwowano w przypadku kół przednich. Przy ciśnieniu w ogumieniu zalecanym do prac transportowych, największe zmiany nacisków jednostkowych stwierdzono pod kołami ciągnika Ursus C-360-3P, gdzie przyrost głębokości koleiny o 4,3 cm spowodował zmniejszenie nacisku jednostkowego o 11 kPa. Obniżenie ciśnienia w ogumieniu do wartości zalecanych przy realizacji prac polowych, spowodowało zmniejszenie nacisków jednostkowych o 7÷13 kPa, tj. o 11÷23%. Również w przypadku tego ciśnienia, największe zmiany nacisków jednostkowych zależne od głębokości koleiny stwierdzono pod kołami ciągnika Ursus C-360-3P, gdzie przyrost głębokości koleiny o około 4 cm spowodował zmniejszenie nacisku jednostkowego o 12 kPa. Obliczona redukcja wartości nacisków jednostkowych pod kołami tylnymi wynosiła średnio około 2 kPa na 1 cm przyrostu głębokości koleiny.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Naciski jednostkowe pod kołami przednimi badanych ciągników były większe niż pod kołami tylnymi.
2. Naciski jednostkowe malały wraz z przyrostem głębokości wytwarzanej koleiny oraz obniżeniem ciśnienia powietrza w ogumieniu.
3. W badanym zakresie zmian głębokości koleiny, na każdy 1 cm jej przyrostu, naciski jednostkowe pod kołami przednimi zmniejszyły się średnio o około 5 kPa, zaś pod kołami tylnymi o 2 kPa.
4. Obniżenie ciśnienia w ogumieniu z wartości zalecanej przy pracach transportowych do minimalnej wartości dopuszczalnej dla aktualnego obciążenia koła spowodowało zmniejszenie nacisków jednostkowych wywieranych przez koła przednie o 4–16%, zaś przez koła tylne o 11–23%.

## Bibliografia

- Bolling I.** 1987. Bodenverdichtung und Triebkraftverhalten bei Reifen – Neue Mess und Rechenmethoden. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG). 133. Dissertation, München.
- Bolling I., Söhne W.** 1982. Der Bodendruck schwerer Ackerschlepper und Fahrzeuge. Landtechnik 2. s. 54-57.

- Dieserens E.** 2002. Ermittlung der Reifen-Kontaktfläche im Feld mittels Rechenmodell. FAT Berichte, Nr. 582.
- Jakliński L.** 1999. Modele oddziaływania koła pneumatycznego na glebę. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Mechanika. Z 175. s. 3-116.
- Komandi G.** 1976. The determination of the deflection, contact area, dimension, and load carrying capacity for driven pneumatic tires operating on concrete pavement. Journal of Terramechanics, vol.13, No1. s. 15-20.
- Koolen A.J.** 1978. The influence of a soil compaction process on Subsequent soil tillage processes. A new research method. Neth. I. Agric. Sci., 26. s. 191-199.
- Lebert M.** 1989. Beurteilung und Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit von Ackerböden. Dissertation, Universität Bayreuther Bodenkundl. Berichte 12.
- Schwieger H.** 1996. Untersuchung neuartiger Laufwerke und lasergestützte Erfassung der Reifen-/Bodenverformung. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft im VDI (VDI-MEG). Dissertation, Kiel.
- Mammel H.** 1993. Auswirkungen kontrollierter Bodenbelastungen auf das Druckfortpflanzungsverhalten und physikalisch-mechanische Kenngrößen von Ackerböden. Dissertation, Schriftenreihe des Inst. f. Pflanzenem. u. Bodenk. der CAU zu Kiel, Bd. 26.
- Steiner M.** 1979. Analyse, Synthese und Berechnungsmethoden der Triebkraft-Schlupf-Kurve von Luftreifen auf nachgiebigem Boden. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG). 33. Dissertation, München

## **EFFECT OF WHEEL TRACK DEPTH AND AIR PRESSURE IN TYRES ON TRACTOR WHEEL LOADS ON THE SOIL**

**Abstract.** The paper presents the results of studies on the dependence of the loads of front and rear wheels of selected tractor models on wheel track depth and air pressure in tyres. It has been found that in the case of the tested range of changes in wheel track depth, with a 1 cm increase in the depth, the front wheel loads will decrease by about 5 kPa on average, and rear wheel loads will decrease by 2 kPa. A decrease in the pressure in tyres from the values recommended for transport operations to the minimum value admissible for the current wheel load caused a decrease in wheel loads of 4÷23%.

**Key words:** air pressure in tyres, wheel track depth, wheel load, area of the contact of a wheel with the soil

**Adres do korespondencji:**

Jan Jurga; e-mail: jurga@agro.ar.szczecin.pl  
Zakład Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych  
Akademia Rolnicza w Szczecinie  
ul. Papieża Pawła VI nr 3  
71-459 Szczecin