

*Małgorzata Powałka, Jerzy Buliński*  
*Wydział Inżynierii Produkcji*  
*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

## **WPLYW WIELOKROTNYCH PRZEJAZDÓW CIĄGNIKA NA ODKSZTAŁCENIA GLEBY W STREFIE KOLEINY PRZEJAZDU**

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono wyniki badań nad zmianą stanu gleby ugniatanej wielokrotnymi przejazdami ciągnika. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem lekkiego ciągnika rolniczego MF255. W badaniach mierzono przemieszczenia gleby, głębokość koleiny oraz zwięzłość gleby w warstwie ornej, pod koleiną i obok niej. Wyniki pomiarów wykazały statystycznie istotny wzrost zwięzłości gleby na głębokości do 300 mm pod koleiną i w odległości 300 mm od niej.

**Słowa kluczowe:** ciągnik, opona, zwięzłość gleby, koleina

### **Wstęp**

Przejazdy po polu agregatów ciągnikowych zwiększają naprężenia w glebie prowadzące do niekorzystnych dla roślin zmian jej właściwości [Domżał, Hodara 1991]. W wyniku wzrostu zwięzłości gleby, gęstości objętościowej, zmian w strukturze porów glebowych, głównych parametrów zagęszczenia gleby, następują m.in. zakłócenia stosunków wodno-powietrznych [Håkansson i Lipiec 2000], pogarsza się przewodność hydrauliczna gleby [Shafiq i in. 1994], zmienia się skład fauny mikroflory i glebowej [Jabłoński 1982], korzenie roślin mają utrudniony rozwój [Taylor, Brar 1991]. Czynniki te wpływają na obniżenie plonowania roślin, a trwałość zmian w niektórych przypadkach jest oceniana na kilkanaście lat [Alakukku 1996]. Większość badań nad działaniem kół pojazdów rolniczych na glebę dotyczy strefy położonej bezpośrednio pod koleiną przejazdu kół. Natomiast zmiany właściwości gleby obejmują obszar zarówno pod koleiną przejazdów, jak również strefy położone po obydwu jej stronach, przy czym jak wynika z praktyki rolniczej, w wielu miejscach pola ślady kół nakładają się wielokrotnie, zwiększając zakres niekorzystnego ich oddziaływania. Przedstawiane wyniki badań dotyczą zmian zwięzłości gleby w warstwie ornej w koleinie i obok niej.

## Metodyka badań

Badania wykonano na glebie średnio-zwięzłej, określanej na podstawie składu granulometrycznego jako piasek gliniasty, o zawartości części spławianych 19%, gęstości fazy stałej 2,68 g/cm<sup>3</sup>, przy średniej wilgotności podczas pomiarów 7,3% wag. Pole przed pomiarami zaorano do głębokości 350 mm i po 14-dniowym okresie samoczynnego osiadania gleby, na wyznaczonych odcinkach o długości 25 m wykonano 1, 2, 4, 8 przejazdów tym samym śladem ciągnikiem MF255 wyposażonym w opony kół przednich o wymiarach 6.00-16 i kół tylnych 12.4-32, napompowanych do ciśnienia wynoszącego zgodnie z instrukcją obsługi odpowiednio 210 kPa i 120 kPa. Obciążenie osi przedniej w ciągniku wynosiło 8,68 kN a osi tylnej 13,30 kN. Prędkość przejazdów ciągnika przez odcinki pomiarowe wynosiła 5 km/h ( $\pm 0,1$  km/h).

Każdorazowo po ugniatających przejazdach ciągników wykonywano pomiary poprzecznego profilu powierzchni pola oraz zwięzłości gleby w koleinie i obok niej. Równocześnie podczas przejazdu ciągnika rejestrowano przy pomocy kamery obraz powierzchni pola w pasie o szerokości 400 mm, położonym z boku koleiny i otrzymany zapis po obróbce komputerowej poddano analizie pod kątem ruchu cząstek gleby.

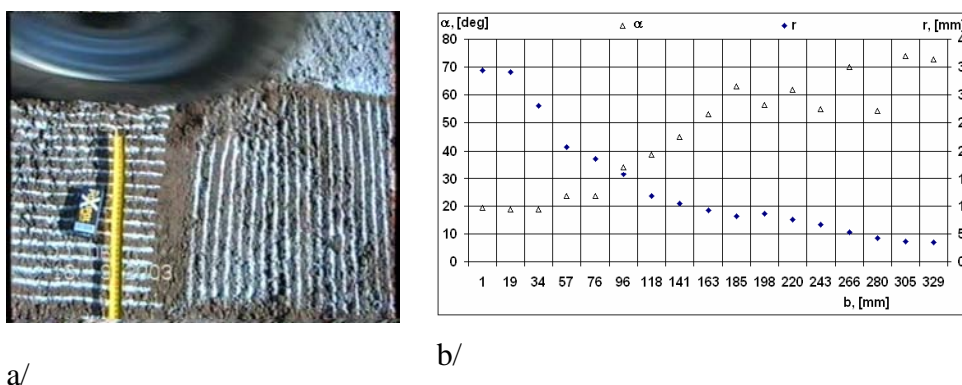
Zwięzłość wyznaczono przy pomocy zestawu 4 sond tensometrycznych z końcówką stożkową, o średnicy podstawy 20,27 mm i kącie wierzchołkowym 30° (norma ASAE S313.2.). Pomiary wykonywano w odstępach co 0,1 m, w kierunku poprzecznym i co 0,3 m w kierunku równoległym do ruchu ciągnika. Zwięzłość określono w zakresie głębokości 0-300 mm z częstością próbkowania, co 1 mm, przy stałej prędkości ruchu sond 30 mm/s (napęd hydrauliczny).

## Wyniki badań

Analiza obrazu powierzchni pola (rys. 1a) w miejscu przejazdu koła ciągnika wykazała, że w pasie do 400 mm sąsiadującym z koleiną przejazdu następuje przemieszczenie warstw gleby z widocznymi na powierzchni pęknięciami. Szczegółowy pomiar położenia charakterystycznych punktów na odcinku pomiarowym pozwolił wyznaczyć składowe: poprzeczną i podłużną (w stosunku do kierunku ruchu ciągnika) przemieszczenia cząstek gleby i na tej podstawie obliczyć ich wypadkową (rys. 1b) i jej kąt nachylenia w stosunku do kierunku ruchu ciągnika.

Analiza otrzymanych wartości pomiarowych wykazała, że koła ciągnika powodowały przemieszczenia gleby w całej analizowanej strefie. Największe przemieszczenia cząstek gleby nastąpiły podczas pierwszego przejazdu kół po spulchnionym

polu w odległości do ok. 150 mm od koleiny, wynosząc od 35 mm (w bezpośredniej bliskości toczącego się koła) i do ok. 10 mm w odległości 150 mm. W pasie do 90 mm kąt ruchu cząstek w odniesieniu do osi koleiny nie przekraczał 12°.



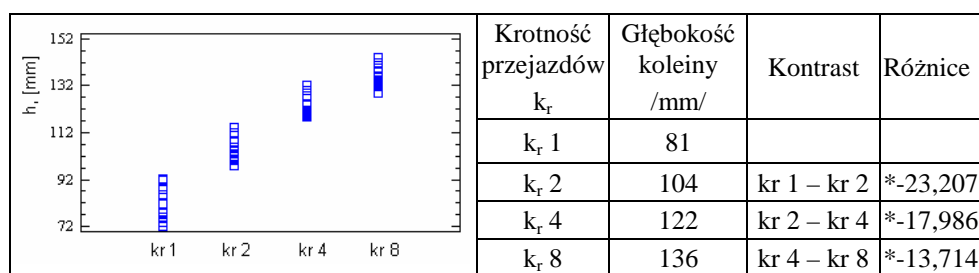
Rys. 1. Przemieszczenia gleby w strefie obok koleiny przejazdu ciągnika, a/- widok odcinka pomiarowego w czasie przejazdu ciągnika, b/-wartości przemieszczeń cząstek gleby i kąta ( $\alpha$ ) ruchu cząstek

Fig. 1. Soil translocation in the zone next to a tractor rut, a/- view of the measurement stretch during the tractor's passage, b/- values of soil particle translocation and the angle ( $\alpha$ ) of the particles' movement

W dalszych odległościach ( $b > 150$  mm) przemieszczenia cząstek były znacznie mniejsze ( $r < 10$  mm), z przewagą ruchu gleby w kierunku poprzecznym do ruchu ciągnika ( $\alpha > 60^\circ$ ), co można tłumaczyć „rozpychaniem” jej na boki przez toczące się koło. Równocześnie stwierdzono, że prawie 90% zarejestrowanych przemieszczeń gleby następowało podczas pierwszego przejazdu ciągnika, natomiast w trakcie kolejnych przejazdów strefa odkształceń powierzchniowych ( $r < 10$  mm) ograniczała się do obszaru położonego w bezpośredniej bliskości koleiny ( $b < 50$  mm). Otrzymane wyniki pomiarów wskazują, że naprężenia powstające w glebie od nacisków kół ciągników przejeżdżających po zaoranym polu przenoszone są do stref sąsiadujących z koleiną na odległość co najmniej 400 mm, prowadząc do przemieszczeń warstw gleby i związanych z tym ich odkształceń.

Najbardziej widocznym następstwem przejazdu pojazdów rolniczych po polu są koleiny w śladach kół. Pomiary poprzecznego profilu powierzchni pola wykazały, że kolejne serie przejazdów (1-2-4-8) tym samym śladem zwiększały głębokość koleiny, a różnice wartości pomiędzy poszczególnymi seriami przejazdów, mimo że systematycznie malały, były statystycznie istotne (tabela 1.). Podane głębokości

kolein są wartościami średnimi z 45 powtórzeń i ukazują zmianę położenia powierzchni pola w miejscu przejazdu kół ciągnika, w stosunku do stanu przed przejazdami. Pomiary nie uwzględniały niewielkich odkształceń pola w strefie bezpośrednio przylegającej do kolein, wynikających z „pchania” gleby przez przednie koło ciągnika podczas pierwszego przejazdu.



\* - różnica statystycznie istotna na poziomie ufności 95% (wartość graniczna  $\pm 3,879$ )

Rys. 2. Zmiany średniej głębokości koleiny po przejazdach ciągnika wraz z analizą statystyczną

Fig. 2. Changes of average rut depth after the tractor passage with a statistical analysis

Obliczone wartości nacisków kół na podstawie powierzchni styku opon ciągnika z glebą w koleinie podczas wykonywania kolejnych przejazdów oraz rozkładu masy na przednią i tylną oś, pozwoliły opracować empiryczną zależność wiążącą sumaryczne obciążenie koleiny naciskami w poszczególnych seriach przejazdów z głębokością koleiny według wzoru:

$$h = 24,667 \cdot \ln(P_k) - 39,037; \quad R=0,931, \quad (1)$$

gdzie:

- $h$  – głębokość koleiny, [mm],
- $P_k$  – sumaryczne naciski kół, [kPa].

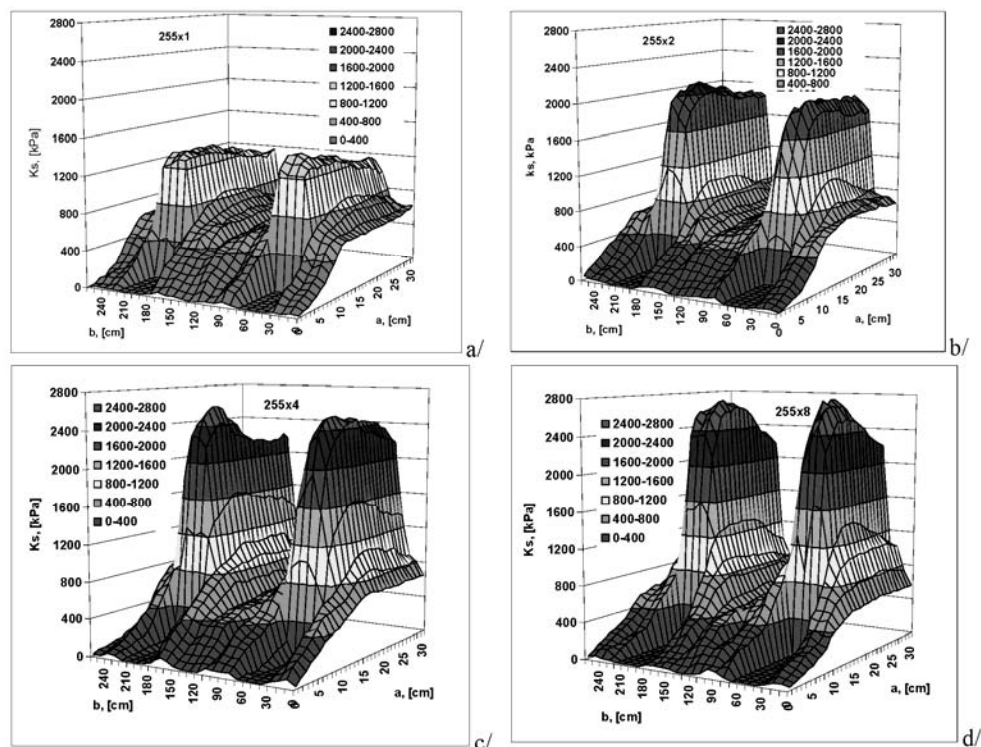
Zależność obowiązuje dla sumarycznych nacisków kół w zakresie 137 -1318 kPa.

Pomiary zwięzłości pozwoliły określić zakres zmian zagęszczenia gleby zachodzących w warstwie ornej pod koleiną i w strefach przylegających pod wpływem przejazdów ciągnika. Wyniki pomiarów zwięzłości gleby ( $K_s$ ) określonej po kolejnych seriach przejazdów ciągnika przedstawia rysunek 2 a-c. Na rysunku na osi poziomej (b) oznaczono szerokość odcinka pomiarowego, po którym przejeżdżał ciągnik, natomiast głębokość pomiaru oznaczono jako (a).

Z analizy otrzymanych wyników pomiarowych wynika, że przejazdy ciągnika powodowały wzrost zwięzłości gleby w całym zakresie rozpatrywanej głębokości pod koleiną, jak również w strefach o szerokości ok. 400 mm po obydwu jej bokach. Przy rozstawie kół ciągnika MF255 wynoszącym 1500 mm oznacza to, że jedynie środkowy pas o szerokości ok. 400 mm był poza zasięgiem bocznego oddziaływania kół.

Zwięzłość gleby w koleinie systematycznie zwiększała się wraz z liczbą wykonywanych przejazdów tym samym śladem. Największym zagęszczeniem odznaczały się warstwy położone bezpośrednio pod powierzchnią śladu, natomiast wartość średnia określona dla całego badanego profilu wynosiła po jednokrotnym przejeździe 1196 kPa, po dwóch przejazdach 1782 kPa, po czterech 2190 kPa a po ośmiu przejazdach 2403 kPa. W odniesieniu do stanu przed przejazdami ciągnika zwięzłość zwiększyła się odpowiednio: 1,6 – 2,9 – 3,8 – 4,2 krotnie. Maksymalne wartości zwięzłości zmierzone przy powierzchni śladu były od ok. 8% do 13% większe od wartości średnich.

Zmiany zwięzłości gleby obejmowały również strefy położone obok kolein. Rozpatrując rozkład zwięzłości gleby w tych strefach można zauważyć wyraźne różnice w wartościach, związane z odległością od miejsca przejazdu koła. Największą zwięzłością odznaczały się profile położone najbliżej tj. do 100 mm od brzegu koleiny i w tej odległości średnia zwięzłość gleby w rozpatrywanym zakresie głębokości wynosiła 639 kPa po pierwszym przejeździe, 690 kPa po drugim, 895 kPa po czterech i 826 kPa po ośmiu przejazdach ciągnika. W porównaniu z glebą nieugniecioną, zagęszczenie w tych profilach pod wpływem bocznego oddziaływania kół ciągnika zwiększyło się od ok. 40% po pierwszym przejeździe do ok. 94% po czterech przejazdach ciągnika. Największym zagęszczeniem odznaczały się warstwy znajdujące się na głębokości 150-200 mm pod powierzchnią pola, kilkukrotnie przekraczając średnią zwięzłość pola nieugnieczonego. Najmniejszą zwięzłością odznaczały się warstwy podpowierzchniowe i w zakresie głębokości 30-80 mm, z boku kolein stwierdzono nawet kilkuprocentowe zmniejszenie się zwięzłości gleby w stosunku do stanu wyjściowego. Można tłumaczyć to efektem wzmiankowanego wcześniej przemieszczania się warstw gleby podczas pierwszego przejazdu ciągnika po spulchnionej powierzchni pola. Wraz ze wzrostem odległości od koleiny zwięzłość gleby zmniejszała się, i w odległości 400 mm była już nieznacznie większa (3-7%) niż przed przejazdami. Jednakże maksymalne wartości zwięzłości zmierzone w odległości 400 mm od koleiny po 4 przejazdach ciągnika były o ponad 35% większe niż przed przejazdami, a w odległości 200 mm były większe o prawie 130%.



Rys. 3. Zwięzłość gleby w warstwie ornej po a/-jednokrotnym, b/-dwukrotnym, c/-czterokrotnym, d/-ośmiokrotnym przejeździe ciągnika tym samym śladem

Fig. 3. Changes of the average rut depth after the tractor's passage with statistical analysis

Otrzymane wartości pomiarowe dla koleiny i stref bocznych poddano analizie statystycznej, której wyniki zestawiono w tabeli 1.

Otrzymane wartości testowe ( $F < 0,05$ ) wykazały, że w przypadku koleiny poszczególne serie przejazdów i związane z tym wartości sumarycznych nacisków przekazywanych przez koła na glebę prowadziły do statystycznie istotnego zróżnicowania zwięzłości gleby ( $K_s$ ) w rozpatrywanym profilu pod śladem przejazdu na poziomie ufności 95%.

W przypadku stref bocznych wszystkie rozpatrywane czynniki tj. liczba przejazdów tym samym śladem i związane z tym wartości sumarycznych nacisków kół ( $P_k$ ), głębokość położenia warstwy ( $a$ ) oraz odległość od koleiny ( $b$ ) miały wysoce istotny wpływ na zwięzłość gleby na poziomie ufności 95%.

Tabela 1. Wyniki analizy statystycznej dla zwięzłości gleby w koleinie i w strefie bocznej

Table 1. Results of statistical analysis for soil firmness in the rut and in the side area

Miejsce	Źródło zmienności	Suma kwadratów	Stopnie swobody	Średni kwadrat	F <sub>emp</sub>	P
Koleina	Pomiędzy grupami	1,8039E7	3	6,0131E6	438,70 <sup>av</sup>	0,0000
	Wewnątrz grup	1,2610E6	92	13706,8		
	Całkowita	1,9300E7	95			
Obok koleiny	Pk	1,2994E6	3	433117,0	31,51 <sup>av</sup>	0,0000
	a	3,5063E7	30	1,1688E6	85,04 <sup>av</sup>	0,0000
	b	5,9123E6	3	1,9708E6	143,40 <sup>av</sup>	0,0000
	Całkowita	4,8583E7	495			

<sup>av</sup> - istotne przy  $\alpha = 0,05$

Wyniki analizy stanowiły podstawę opracowania zależności regresyjnej opisującej związek pomiędzy średnią zwięzłością gleby ( $K_{s_{sr}}$ ) w rozpatrywanym profilu pod koleiną przejazdów ciągnika a wartościami sumarycznych nacisków kół (Pk):

$$K_{s_{sr}} = \exp\left(7,8559 - \frac{99,4516}{Pk}\right) \quad R = -0,9737; \text{SEE} = 0,0592 \quad (2)$$

Wysoka wartość współczynnika korelacji wskazuje na dość silną zależność pomiędzy zmiennymi równania, które wyjaśnia 94,8% zmienności parametru  $K_s$ . W równaniu tym zwięzłość i wartości nacisków kół są wyrażane w kilopaskalach.

Związek zwięzłości gleby w profilu z boku koleiny z wartością sumarycznych jednostkowych nacisków kół oraz parametrami położenia warstwy można przedstawić w postaci liniowej zależności:

$$K_s = 427,962 + 25,16 * a - 9,704 * b + 6,99 * 10^{-2} * Pk ; \quad R = 0,805, \text{SEE} = 186,575, \quad (3)$$

W równaniu tym głębokość położenia warstwy (a) i jej odległość od koleiny (b) są wyrażane w centymetrach, a naciski (Pk) i zwięzłość (Ks) w kilopaskalach.

Stosunkowo niska wartość współczynnika korelacji może wynikać z faktu, że w analizie uwzględniono zwięzłości gleby z profilu najdalej położonego od koleiny, charakteryzującego się dość znacznym zróżnicowaniem zagęszczenia. Równanie to wyjaśnia prawie 64% zmienności  $K_s$ , co dla warunków polowych można uznać za akceptowalne.

### **Wnioski**

1. Przeprowadzone badania polowe oraz analiza wyników pomiarowych wykazały, że naprężenia powstające w glebie od nacisków kół ciągników przejeżdżających po zaoranym polu przenoszone są do stref sąsiadujących z koleiną na odległość co najmniej 400 mm, prowadząc do przemieszczeń warstw gleby i związanych z tym ich odkształceń.
2. Pomiary poprzecznego profilu powierzchni pola wykazały, że kolejne serie przejazdów (1-2-4-8) tym samym śladem zwiększały głębokość koleiny, a różnice wartości pomiędzy poszczególnymi seriami przejazdów, mimo że systematycznie malały, były statystycznie istotne.
3. Boczne oddziaływanie nacisków kół, wyrażające się istotnym wzrostem zwięzłości gleby, obejmowało pas o szerokości 300 mm z boku koleiny, do głębokości 300 mm.
4. Największą zwięzłością odznaczały się warstwy położone do 100 mm od brzegu koleiny i w tej odległości w porównaniu z glebą nieugniecioną, zagęszczenie pod wpływem bocznego oddziaływania kół ciągnika zwiększyło się od ok. 40% po pierwszym przejeździe do ok. 94% po czterech przejazdach ciągnika.
5. Opracowane zależności regresyjne pozwalają powiązać zwięzłość gleby pod koleiną przejazdów i w warstwach przyległych z wartościami nacisków kół ciągnika.

### **Bibliografia**

Alakukku L. 1996a: Persistence of soil compaction due to high load traffic. I Short-term effect on the properties of clay and organic soils. *Soil & Tillage Research*. Vol. 37, No 4, s. 211-222.

Domżał H., Hodara J. 1991. Physical properties of three soils compacted by machine wheels during field operations. *Soil & Tillage Research*. Vol. 19 No 2-3, s. 227-235.

Håkansson I, Lipiec J., 2000: A review of usefulness of relative bulk density values in studiem of soil structure and compaction. *Soil & Tillage Research*. No 53, s. 71-75.

Jabłoński B. 1982. *Ogólna uprawa roli i roślin*. Warszawa PWRiL. Wyd. II.



Shafiq M., Hassan A., Ahmad S. 1994. Soil physical properties as influenced by induced compaction under laboratory and field conditions. *Soil & Tillage Research*. Vol. 29, (1), s. 13-22.

Taylor J. H., Brar G. S. 1991. Effect of soil compaction on root development. *Soil & Tillage Research*. Vol. 19. No 2-3. 111-119.

### **EFFECT OF REPEATEDLY TRACTOR RUNNING ON SOIL DEFORMATION IN THE WHEEL TRACES ZONE**

#### **Summary**

Results of field investigations on soil deformation compacted repeatedly by tractor wheels are presented. The investigations were carried out for a lightweight tractor MF255. Depths of rut and soil compaction in and out of tractor wheel tracks were measured. Obtained results showed significant increases of the soil compaction to 300 mm beside and to 300 mm depth of the tracks.

**Key words:** tractor, tyre, soilcompacion, wheel trace