

Zygmunt Owsiak, Krzysztof Lejman
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

PRZYROSTY ZWIĘZŁOŚCI GLEB GLINIASTYCH ZAGĘSZCZANYCH KOŁAMI CIĄGNIKA

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań przyrostów więzłości gleby zagęszczanej kołami ciągnika. Badania prowadzono w warunkach polowych w glebach gliniastej lekkiej i gliniastej ciężkiej w tym samym terminie agrotechnicznym. Stwierdzono, że przyrosty więzłości maleją liniowo wraz ze wzrostem odległości od osi koleiny i rosną wraz z głębokością pomiaru. Nie stwierdzono istotnego wpływu gatunku gleby na wartości średnich przyrostów więzłości w warstwie ornej gleby.

Słowa kluczowe: gleba, koła ciągnika, ugniatanie, przyrost więzłości

Wstęp

Pomimo wielu ograniczeń wynikających z braku jednoznacznego powiązania wyników pomiarów penetrometrycznych z właściwościami fizycznymi gleby [Mullqueen i in. 1977; Gill 1968] metody penetrometryczne odgrywały i nadal odgrywają istotną rolę w trakcie wyznaczania chwilowej charakterystyki gleby [Upadhyaya i in. 1982; Błaszkiwicz 2000]. Szczególny obszar zastosowania penetrometru dotyczy analizy skutków ugniatania gleby spowodowanych przejazdami maszyn i ciągników rolniczych [Błaszkiwicz 1998; Walczyk 1995]. Wynika to głównie z trudności związanych z zastosowaniem do tej analizy podstawowych parametrów fizycznych gleby, takich jak gęstość i porowatość, gdyż ich wyznaczenie w warunkach polowych, zwłaszcza w głębiej położonych warstwach gleby, jest obciążone dużymi błędami pomiarowymi [Okello 1991].

Poruszający się pojazd rolniczy przenosi na podłoże obciążenia poprzez mechanizm jezdny. Powoduje to powstawanie w glebie stanu naprężenia, który w konsekwencji prowadzi do jej zagęszczenia. Na podstawie wieloletnich badań można stwierdzić, że proces ten skutkuje zarówno wzrostem nakładów energetycznych na uprawę i doprawianie gleby, jak i pogorszeniem warunków wzrostu roślin, co może

objawiać się spadkiem ich plonowania [Schafer i in. 1992]. O ile pierwszy problem dotyczy całej strefy objętej zagęszczeniem, to drugi z nich dotyczy głównie strefy znajdującej się w bezpośrednim sąsiedztwie koleiny, ponieważ zdecydowana większość prowadzonych prac polowych wiąże się z przemieszczaniem kół ciągnika w międzyrzędziach. Dlatego też koniecznym wydaje się wyznaczenie zasięgu niekorzystnego oddziaływania kół ciągnika, co w konsekwencji umożliwi poprawne planowanie większości zabiegów prowadzonych w trakcie wegetacji roślin.

Celem badań było wyznaczenie przyrostów zwięzłości gleby w zależności od odległości od osi koleiny z uwzględnieniem zmian głębokości pomiaru i zmienności gatunku gleby.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono w warunkach polowych w glebach o składach granulometrycznych (Norma BN-79/9180-11) gliny lekkiej (piasek – 55%; pył – 17%; ił – 28%) i gliny ciężkiej (piasek – 10%; pył – 24%; ił – 66%) przy wilgotnościach wagowych wynoszących odpowiednio 12% – 13% i 19% – 20%. Ponieważ badania prowadzono w tym samym terminie, to zaistniałe różnice w wilgotności można przypisać różnej pojemności wodnej uwarunkowanej składem granulometrycznym obydwu gatunków gleb, natomiast stosunek wilgotności aktualnej do wilgotności odpowiadającej granicy plastyczności był zbliżony i wynosił około 0,8. Przed przystąpieniem do badań gleby spulchniono glebogryzarką z jednoczesnym wyrównaniem powierzchni pola. Gęstość objętościowa gliny lekkiej wynosiła 1,26 g/cm, natomiast gliny ciężkiej – 1,32 g/cm, a wytrzymałość na ścinanie mierzona sondą skrzydełkową VANE H60 wynosiła odpowiednio 3 i 4 kPa. Zwięzłość mierzona w warstwie ornej zawierała się w granicach od 112 do 259 kPa dla gleby gliniastej lekkiej i od 111 do 180 kPa – dla gleby gliniastej ciężkiej. Spulchnioną glebę zagęszczano kołami ciągnika Ursus C-360 o ciężarze 27 kN wyposażonego w standardowe ogumienie (tylne opony – 14,9/13-28, przednie opony – 6,00-16). Prędkość jazdy ciągnika wynosiła 1 m/s. Głębokości kolein mierzone miernikiem laserowym były zbliżone i wynosiły dla gliny lekkiej 8 cm, a dla gliny ciężkiej – 9 cm.

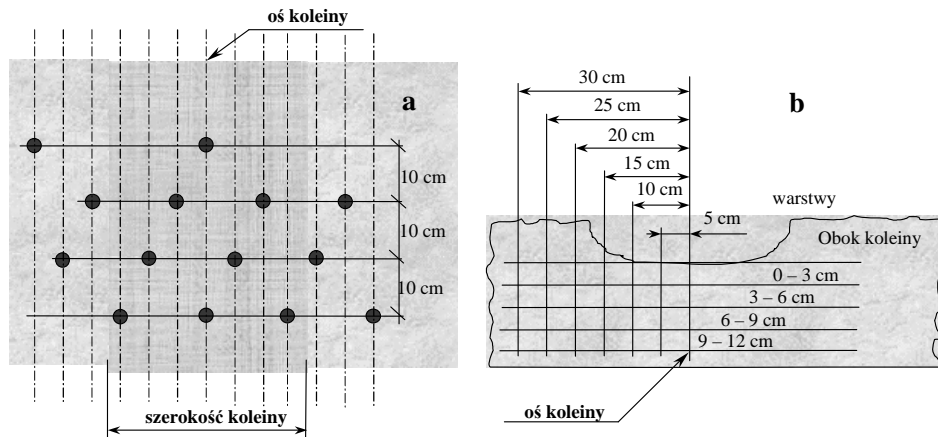
Zwięzłość gleby po zagęszczeniu mierzono w siedmiu pionowych płaszczyznach położonych w odległościach od 0 do 30 cm w stosunku do osi koleiny stosując podziałkę 5 cm. Pomiarów dokonywano po obu stronach osi koleiny stosując dwa powtórzenia (rys. 1). Dla poszczególnych punktów pomiarowych wyznaczano średnie wartości przyrostów zwięzłości w warstwach trzycentymetrowych do głębokości 12 cm w odniesieniu do dna koleiny. W przypadku punktów usytuowanych poza śladem koleiny wyznaczano średnie przyrosty zwięzłości w warstwie od

powierzchni pola do powierzchni wyznaczonej dnem koleiny oraz w warstwach trzycentymetrowych opisanych wcześniej. Przyrosty zwięzłości (Δz) w poszczególnych warstwach gleby wyznaczano ze wzoru:

$$\Delta z = \int_{s=x_1}^{s=x_2} \frac{F_k(s)}{P \times (x_2 - x_1)} ds - \int_{s=x_1}^{s=x_2} \frac{F_w(s)}{P \times (x_2 - x_1)} ds, \quad (1)$$

gdzie:

- x_1, x_2 – dolna i górna granica warstw gleby [cm],
- s – przemieszczenie stożka penetrometru [cm],
- F_w, F_k – opór penetracji odpowiednio przed i po ugnieceniu [kN],
- P – pole powierzchni podstawy stożka [m²].



Rys. 1. Podłużne (a) i poprzeczne (b) rozmieszczenie punktów pomiaru zwięzłości
 Fig. 1. Arrangement of measurement points for soil cone index: a – longitudinal, b – lateral

Pomiarów zwięzłości dokonywano zwięzłościomierzem mechanicznym z elektronicznym systemem zapisu danych. Stosowano stożek o polu podstawy 0,0003 m² i kącie wierzchołkowym – 60°, a prędkość penetracji wynosiła 0,03 ms⁻¹.

Statystyczne opracowanie wyników badań przeprowadzono w oparciu o analizę regresji i korelacji oraz analizę wariancji (ANOVA) typu 2 x 4 x 7 przyjmując, że względu na połowy charakter badań, graniczną wartość poziomu istotności $\alpha = 0,1$. Obliczenia statystyczne przeprowadzono w pakietach statystycznych Statistica i Statgraphics.

Wyniki badań

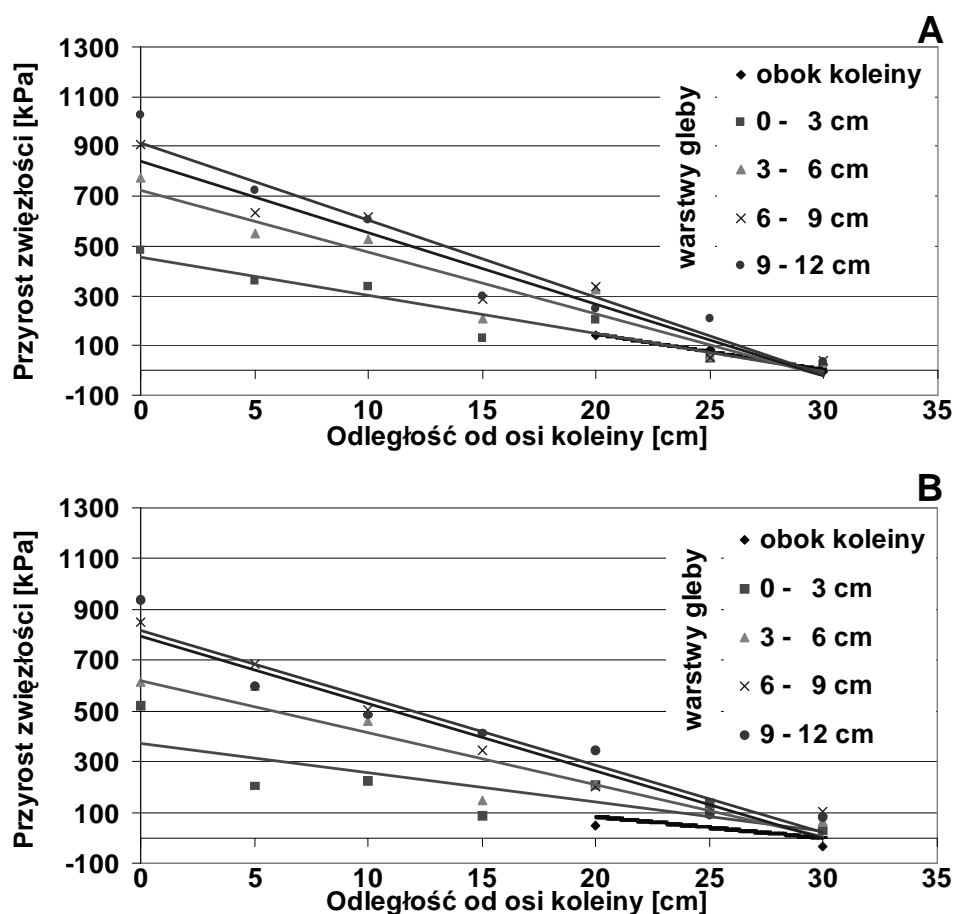
Wyniki analizy wariancji wpływu gatunku gleby, położenia warstwy i odległości od osi koleiny na przyrosty zwięzłości przedstawiono w tabeli 1. Analizę wariancji przeprowadzono z wyłączeniem warstwy gleby znajdującej się obok koleiny z uwagi na konieczność zrównoważenia liczby danych. W przypadku tej warstwy nie występują wartości pomiarów w odległości 0, 5, 10 i 15 cm od osi koleiny. Na podstawie analizy stwierdzono istotny wpływ położenia warstwy oraz odległości od osi koleiny na przyrosty zwięzłości, natomiast nie stwierdzono wpływu gatunku gleby. Sugeruje to, że średnie wartości przyrostów zwięzłości gleb o zbliżonej zwięzłości początkowej, które są zagęszczane kołami ciągnika w tym samym terminie agrotechnicznym, będą podobne, pomimo dużego zróżnicowania zawartości frakcji spławialnych.

Tabela 1. Wyniki analizy wariancji przyrostów zwięzłości gleby

Table 1. Analysis of variance of factors affecting the cone index increments

Źródło zmienności	Stopień swobody	Wartość F	Poziom istotności
Gatunek gleby	1	2,610	0,1462
Odległość od osi	6	57,492	0,0000
Warstwa	3	14,031	0,0000

Przebiegi przyrostów zwięzłości w różnych warstwach w zależności od odległości od osi koleiny w glebach gliniastej lekkiej i gliniastej ciężkiej przedstawiono odpowiednio na rys. 2A i 2B. Niezależnie od gatunku gleby i usytuowania warstwy przyrosty zwięzłości maleją liniowo wraz ze wzrostem odległości od osi, przy czym najmniejszą intensywność spadku obserwuje się dla warstwy najpłytszej (0 – 3 cm) oraz warstwy położonej obok koleiny. Można również zaobserwować ogólną tendencję do wzrostu gradientów przyrostów zwięzłości wraz ze wzrostem głębokości. W najbardziej oddalonym punkcie pomiarowym (30 cm) skutki zagęszczenia zanikają prawie całkowicie w warstwie 0 – 3 cm oraz w warstwie gleby położonej obok koleiny. Dla odległości tej wyraźne zagęszczenie można zaobserwować dla głębiej położonych warstw (6 – 9 cm, 9 – 12 cm), ponieważ stwierdzone przyrosty zwięzłości wynoszą od 35 do 40 kPa w glinie lekkiej i od 80 do 100 kPa w glinie ciężkiej. Wyższe przyrosty w głębszych warstwach gleby w odległości 30 cm można przypisać kształtom i położeniom izobar naprężeń, zgodnie z którymi w strefach bocznych, usytuowanych obok koleiny, naprężenia spowodowane oddziaływaniem kół ciągnika pojawiają się dopiero w głębszych warstwach gleby. Przeprowadzona analiza dowodzi, że nawet przy zastosowaniu stosunkowo lekkiego ciągnika można się spodziewać wzrostu zwięzłości gleby do odległości ponad 14 cm licząc od boku koleiny.

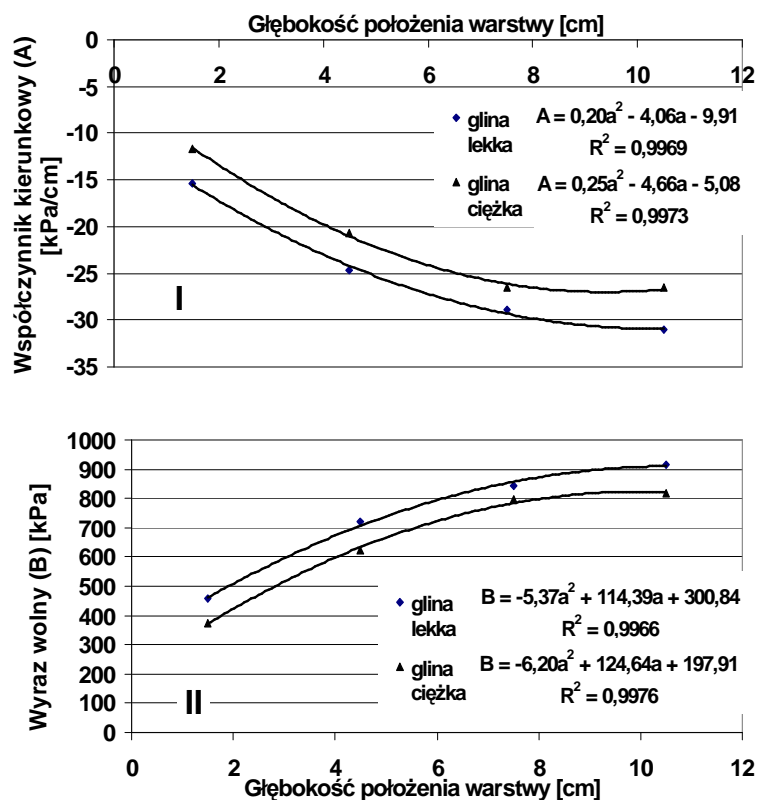


Rys. 2. Wpływ odległości od osi koleiny na wartości przyrostów zwięzłości gleb: A-gliniastej lekkiej, B-gliniastej ciężkiej

Fig. 2. Increments of soil cone index as a function of distance from wheel track axis: A-sandy loam soil, B-clay soil

Można również zaobserwować wyraźne przyrosty zwięzłości w strefie nieobjętej oddziaływaniem powierzchni czołowej opony tzn. w warstwie gleby znajdującej się obok koleiny, które można hipotetycznie przypisać ugniataniu gleby powierzchnią boczną opony oraz wypychaniu gleby spod koleiny w płaszczyźnie poprzecznej do kierunku jazdy. Jednocześnie można zauważyć, że przebiegi przyrostów zwięzłości w analizowanej warstwie są bardzo zbliżone do przebiegów zaobserwowanych w warstwie 0–3 cm.

Przedstawione na rys. 2 przebiegi przyrostów zwięzłości (Δz) w zależności od odległości od osi kolejiny (s) opisano równaniami prostych o ogólnej postaci $\Delta z = As + B$. Wartości współczynników równań oraz wartości współczynników determinacji przedstawiono w tabeli 2. Analizując zmienność przedstawionych w tabeli współczynników można zauważyć tendencję do spadku wartości współczynnika kierunkowego oraz wzrostu wartości wyrazu wolnego wraz ze wzrostem głębokości położenia warstwy. Przedstawione tendencje opisano równaniami parabol i zilustrowano na rys. 3, przy czym jako zmienną niezależną przyjęto średnią głębokość położenia poszczególnych warstw. Stwierdzono bardzo zbliżone przebiegi zmian współczynników dla obu gatunków gleb, przy czym nieco wyższe wartości współczynników kierunkowych oraz niższe wartości wyrazów wolnych występują dla gleby ciężkiej.



Rys. 3. Wpływ głębokości położenia warstwy na wartości współczynników równania $\Delta z = As + B$: I-współczynnik kierunkowy, II-wyraz wolny

Fig. 3. Influence of layer depth location on values of coefficients from equation $\Delta z = As + B$: I-slope, II-intercept

Tabela 2. Wartości współczynników A i B równania $\Delta z = As + B$
 Table 2. Values of coefficients A and B from equation $\Delta z = As + B$

Warstwa [cm]	Gлина lekka			Gлина ciężka		
	A	B	R ²	A	B	R ²
*	-14,2	428	0,99	-8,47	251	0,36
0 - 3	-15,4	456	0,92	-11,7	375	0,63
3 - 6	-24,6	721	0,91	-20,6	622	0,89
6 - 9	-28,9	843	0,93	-26,5	795	0,98
9 - 12	-31,0	915	0,94	-26,6	819	0,93

*warstwa usytuowana z boku koleiny

Przeprowadzona wcześniej analiza wariancji sugerowała brak istotnego wpływu gatunku gleby na wartości średnich przyrostów zwięzłości, co potwierdzają zbliżone przebiegi przedstawionych funkcji. Charakter tych przebiegów wskazuje również na bardzo zbliżone przyrosty zwięzłości w obydwu gatunkach gleb dla analogicznych głębokości położenia warstw.

Wnioski

1. Odległość od osi koleiny oraz głębokość położenia warstwy wpływają istotnie na wartość przyrostów zwięzłości gleb gliniastej lekkiej i gliniastej ciężkiej zagęszczanych kołami ciągnika.
2. Stwierdzony brak istotnego wpływu gatunku gleby na wartości przyrostów zwięzłości sugeruje, że, prowadząc prace polowe w różnych glebach, lecz w tym samym terminie i przy porównywalnych zwięzłościach początkowych, możemy się spodziewać zbliżonych skutków ugniatania gleby.
3. Przyrosty zwięzłości gleby maleją liniowo wraz ze wzrostem odległości od osi koleiny, niezależnie od gatunku gleby i głębokości położenia warstwy, przy czym gradienty przyrostów zwięzłości rosną wraz ze wzrostem głębokości położenia warstwy.
4. Przyrosty zwięzłości w glebie gliniastej lekkiej i gliniastej ciężkiej są bardzo zbliżone dla analogicznych głębokości położenia warstw.
5. Zauważalne przyrosty zwięzłości w odległości 30 cm od osi koleiny obserwuje się jedynie w warstwach znajdujących poniżej 6 cm licząc od dna koleiny, natomiast w warstwie obok koleiny wyraźne skutki ugniecenia występują jedynie do odległości 9 cm od boku koleiny.

Bibliografia

- Błaszkiwicz Z. 1998. Badania rozkładu oporu penetracji gleby lekkiej powodowanego oponami ciągników rolniczych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, nr 1, 5-14.
- Błaszkiwicz Z. 2000. Badania oporu penetracji gleby lekkiej w przestrzeni oddziaływania koła. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, nr 4, 5-12.
- Gill R. 1968. Influence of compaction hardening of soil on penetration resistance. *Transactions of the ASAE*, 741-745.
- Mulqueen J., Stafford J.V., Tanner D. 1977. Evaluation of penetrometers for measuring soil strength. *Journal of Terramechanics*, Vol. 13, nr 3, 137-151.
- Okello J.A. 1991. A review of soil strength measurement techniques for prediction of terrain vehicle performance. *J. agric. Engng. Res.* 50, 129-155.
- Schafer R.I., Johnson C.E., Koolen A.J., Gupta S.C., Horn R. 1992. Future research needs in soil compaction. *Transactions of the ASAE* 35 (6), 1761-1769.
- Upadhyaya S.K., Kemble L.L., Collins N.E., Williams T.H. 1982. Cone index prediction equations for Delaware soils, ASAE Paper No. 17, 85-1542, ASAE, St. Joseph, MI 49085
- Walczyk M. 1995. Wybrane techniczne i technologiczne aspekty ugniatania gleb rolniczych agregatami ciągnikowymi. *Rozprawy*, nr 202, Kraków.

CONE INDEX INCREMENTS OF THE CLAY SOILS COMPACTED BY TRACTOR WHEELS

Summary

Results of investigations on distribution of cone index increments in the soil compacted by tractor wheels are presented. Research was conducted in field conditions in sandy loam and clay soils. It has been found that cone index increments decrease linearly with the distance between the measuring point and the symmetry axis of wheel track and increase with measuring depth. Type of soil doesn't influence on the observed cone index increments

Key words: soil, tractor wheels, soil packing, cone index increments