

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

WPLYW PRĘDKOŚCI PRZEMIESZCZANIA CIĄGNIKA NA ZMIANY ZWIĘZŁOŚCI GLEBY

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań wpływu prędkości jazdy ciągnika klasy 9 kN (0,5 - 4,0 m/s) na zmiany zwięzłości gleby pod koleiną. Badania przeprowadzono w warunkach polowych w glebie gliniastej lekkiej o wilgotności od 9 do 13% stosując trzy poziomy zagęszczenia wstępnego gleby. Pomiarów zwięzłości dokonywano w trzech punktach pomiarowych i analizowano jej zmiany w trzech przedziałach głębokości. Stwierdzono, że prędkość jazdy ciągnika i przedział głębokości wpływają istotnie na wartość zwięzłości, przy czym wzrost prędkości przejazdu ciągnika powoduje początkowo spadek zwięzłości zagęszczanej gleby, a następnie jej wzrost. Zaobserwowano również, że dla określonej głębokości istnieją optymalne prędkości przejazdu ciągnika, przy których skutki zagęszczenia będą najmniejsze, przy czym prędkości te maleją liniowo wraz ze wzrostem głębokości.

Słowa kluczowe: gleba, zwięzłość, ciągnik, prędkość, badania polowe

Wstęp i cel badań

Pomimo wieloletniej historii badań związanych z oddziaływaniem na glebę kół maszyn i pojazdów rolniczych zagadnienia te nadal nie są do końca rozpoznane, zwłaszcza w aspekcie wpływu prędkości przemieszczania agregatu. Analiza teoretyczna i badania laboratoryjne związane z zagadnieniem prędkości odkształcania gleby przynoszą dość jednoznaczne rozwiązania, tzn. wzrost prędkości powoduje zmniejszenie zagęszczenia gleby [Kruszewski 1996]. Jednoznaczności tej nie potwierdzają jednak wyniki badań uzyskiwane w warunkach polowych [Buliński 2000]. Może być to związane głównie z zastosowaniem do oceny skutków zagęszczania takich parametrów jak gęstość objętościowa i porowatość gleby. Wyznaczanie tych parametrów w warunkach polowych wiąże się z koniecznością pobierania próbek gleby o nienaruszonej strukturze, co pociąga za sobą generowanie dużego błędu pomiarowego. Prawidłowa analiza skutków zagęszczania gleby kołami agregatów rolniczych zależy głównie od poprawnego wyznaczenia jej chwilowych parametrów. Jednym z takich parametrów jest zwięzłość, przy czym przyjmuje się, że jej zmienność jest istotnie skorelowana ze stanem gleby [Lesiak i in. 2000, Upadhyaya 1982, Wells i in. 1978]. Dlatego zasadnym wydaje się prowadzenie badań wykorzystujących pomiary zwięzłości, przy

uwzględnieniu ich zmienności w profilu glebowym, do wyznaczania skutków ugniatania gleby kołami ciągników i agregatów rolniczych.

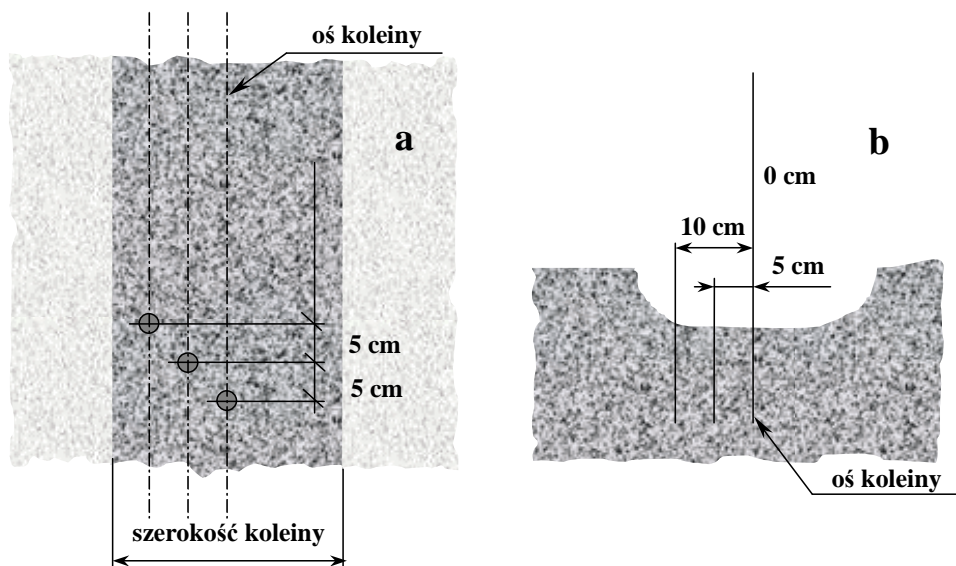
Celem badań było wyznaczenie wpływu prędkości przemieszczania ciągnika na zmiany zwięzłości gleby pod koleiną.

Zakres i metody badań

Badania przeprowadzono w warunkach polowych w glebie gliniastej lekkiej (piasek – 51%, pył – 15%, il – 34% według BN-79/9180-11), której wilgotność zmieniała się od 9% do 13%. Przed badaniami glebę spulchniano glebogryzarką, następnie zagęszczano wałem Croskill-Cambridge stosując dwa, cztery i sześć przejazdów na poszczególnych poletkach i uzyskując odpowiednio zwięzłości 600, 800 i 840 kPa, oznaczone dalej jako z_1 , z_2 i z_3 . Po tak przygotowanej glebie przejeżdżano ciągnikiem klasy 9 kN stosując prędkości przejazdu 0,5; 1,0; 2,0 i 4,0 ms^{-1} . Pomiarów zwięzłości penetrometrem elektronicznym z ciągłym zapisem [Lejman i Owsiak 2001], przy prędkości przesuwu sondy 3 cms^{-1} (stożek o polu podstawy 3 cm^2 i kącie wierzchołkowym 60°), dokonywano na poszczególnych poletkach po zagęszczeniu gleby wałem (zwięzłość wstępna - z_w) oraz po ugnieceniu kołami ciągnika (zwięzłość końcowa - z_k). Zwięzłość końcową obliczano jako średnią wartość z pomiarów wykonywanych w osi koleiny oraz w odległościach 5 i 10 cm od osi poprzecznie do kierunku jazdy (rys. 1). Zarówno zwięzłość wstępną jak i końcową oraz wynikające z ich różnic przyrosty zwięzłości analizowano w trzech przedziałach głębokości tzn. 0-5 cm, 5-10 cm i 10-15 cm, przy czym zwięzłość (z) obliczano dla poszczególnych przedziałów ze wzoru:

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

gdzie: x_1 – dolna granica całkowania (0, 5, 10 cm),
 x_2 – górna granica całkowania (5, 10, 15 cm),
 s – przemieszczenie stożka penetrometru [cm],
 F – opór penetracji [kN],
 P – pole powierzchni podstawy stożka [m^2].



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

Istotność wpływu poszczególnych czynników eksperymentu na wartość zwięzłości i przyrostów zwięzłości analizowano w oparciu o wieloczynnikową analizę wariancji typu $3 \times 4 \times 3$, a do wyznaczenia wpływu prędkości zastosowano analizę korelacji i regresji oraz wariancyjny test istotności korelacji.

Wyniki badań

Wyniki analizy wariancji wpływu poziomu zagęszczenia wstępnego, prędkości jazdy ciągnika i przedziału głębokości na zwięzłość i przyrosty zwięzłości gleby pod koleiną zamieszczono w tabeli 1. Przyjmując poziom istotności $\alpha = 0,1$ stwierdzono, że poziom zagęszczenia wstępnego wpływa istotnie tylko na przyrosty zwięzłości, natomiast prędkość przejazdu ciągnika oraz przedział głębokości wpływają istotnie zarówno na wartości zwięzłości końcowej, jak i na przyrosty zwięzłości gleby pod koleiną. Średnie wartości zwięzłości końcowych uzyskane dla kolejnych zagęszczeń wstępnych, obliczone dla wszystkich przedziałów głębokości i prędkości, wynosiły 1600, 1490 i 1500 kPa, natomiast średnie przyrosty zwięzłości wynosiły odpowiednio 960, 780 i 720 kPa. Wynika z tego, że maksymalne różnice w przyrostach zwięzłości były ponad dwukrotnie wyższe od różnic pomiędzy zwięzłościami końcowymi. Uzyskane wyniki badań sugerują, że w każdym przypadku wartości nacisków pod kołami ciągnika przekraczały wartości nacisków

prekonsolidacyjnych.

Tabela 1. Analiza wariancji czynników wpływających na zwięzłość i przyrosty zwięzłości gleby pod koleiną

Table 1. Analysis of variance of factors affecting the cone index and cone index increments under the wheel track

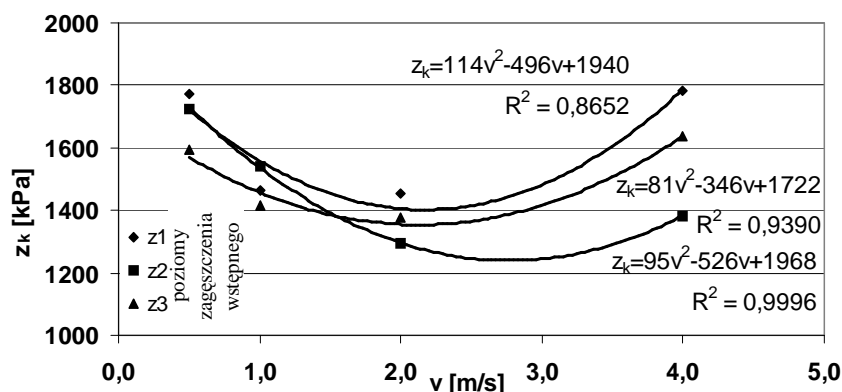
Zwięzłość pod koleiną			Przyrosty zwięzłości pod koleiną		
<i>Źródło zmienności</i>	<i>Wartość</i>	<i>Poziom</i>	<i>Źródło zmienności</i>	<i>Wartość</i>	<i>Poziom</i>
	<i>F</i>	<i>istotności</i>		<i>F</i>	<i>istotności</i>
Poziom zagęszczenia	1,844	0,1769	Poziom zagęszczenia	5,357	0,0107
Prędkość jazdy	5,498	0,0042	Prędkość jazdy	2,210	0,9897
Przedział głębokości	39,247	0,0000	Przedział głębokości	13,189	0,0001

Istotny wpływ prędkości potwierdza ogólną koncepcję o wrażliwości gleby na prędkość odkształcenia, czego nie udało się uzyskać w warunkach polowych, dla zbliżonych zakresów prędkości agregatów, przy zastosowaniu metod opartych na pomiarach gęstości objętościowej [Buliński 2000]. Potwierdza to zasadność stosowania metod penetrometrycznych do oceny skutków zagęszczania gleby kołami agregatów rolniczych.

Wzrost prędkości przejazdu ciągnika powoduje początkowo spadek, a następnie wzrost zwięzłości gleby, co można opisać równaniem paraboli stopnia drugiego (rys. 2). Przedstawione zależności uzyskano uśredniając wartości zwięzłości dla poszczególnych przedziałów głębokości. Przebiegi poszczególnych funkcji nie różnią się wyraźnie od siebie i brak jest jednoznacznego wpływu poziomu zagęszczenia wstępnego na wartości zwięzłości, co potwierdza przedstawione wcześniej wyniki analizy wariancji.

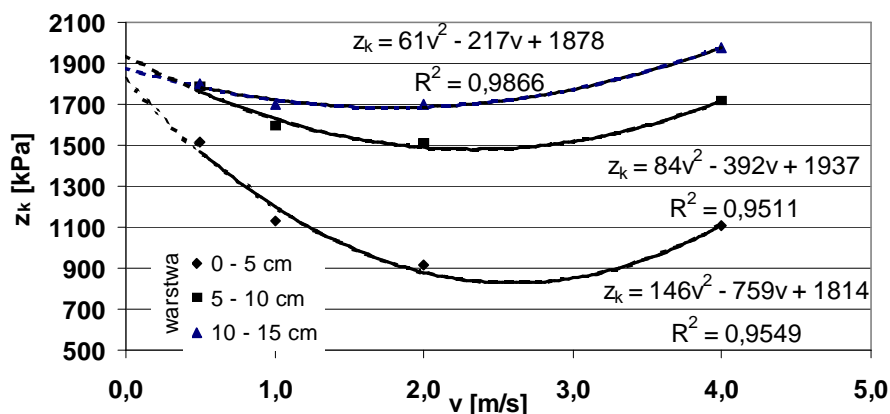
Opierając się na wynikach przedstawionych rozważań postanowiono połączyć wyniki uzyskane dla poszczególnych poziomów zagęszczenia wstępnego, co przedstawiono na rys. 3. Wpływ prędkości przejazdu na wartości zwięzłości dla poszczególnych przedziałów głębokości opisano równaniami o ogólnej postaci $z_k = Av^2 + Bv + C$. Zarówno paraboliczne przebiegi zwięzłości w funkcji prędkości, jak i malejące w głąb gleby wartości zwięzłości są dla autorów pewnym zaskoczeniem. Jedyne początkowy spadek wartości zwięzłości potwierdza ogólną koncepcję, zgodnie z którą wzrost prędkości powinien powodować zmniejszenie zagęszczenia gleby [Kruszewski 1996, Karczewski 1978]. Dalszy wzrost zwięzłości można przypisać wzrostowi dynamiki oddziaływania koła na glebę, a

niemonotoniczność prezentowanych przebiegów może wynikać z nałożenia się co najmniej dwóch zjawisk towarzyszących wzrostowi prędkości przejazdu ciągnika.



Rys. 2. Wpływ prędkości przejazdu ciągnika (v) na wartość zwięzłości zagęszczanej gleby (z_k) przy zmiennych poziomach zagęszczenia wstępnego Z1, Z2, Z3

Fig. 2. Soil cone index (z_k) as a function of tractor speed (v): z – level of preliminary compaction



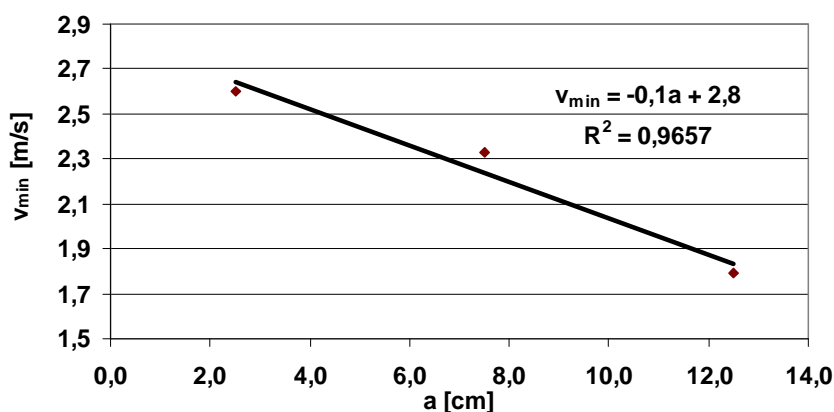
Rys. 3. Wpływ prędkości przejazdu ciągnika (v) na wartość zwięzłości zagęszczanej gleby (z_k) dla różnych warstw gleby

Fig. 3. Soil cone index (z_k) as a function of tractor speed (v) under varied intervals of depth

Rosnące wraz z głębokością wartości zwięzłości nie potwierdzają teorii rozprzestrzeniania się naprężeń w glebie, ponieważ wzrost głębokości powinien pociągać za sobą zmniejszenie wartości naprężeń. Trzeba jednak zaznaczyć, że siły styczne, jakie występują w trakcie oddziaływania koła napędowego na glebę, wymuszają powstawanie spulchniającego oddziaływania bieżnika, którego intensywność maleje wraz z głębokością. Tak więc i w tym przypadku o rozkładzie zwięzłości w glebie decyduje nałożenie się dwóch czynników. Jak wynika z prezentowanych badań, zmniejszenie zwięzłości w wierzchniej

warstwie gleby spowodowane spulchniającym oddziaływaniem bieżnika ma hipotetycznie większy wpływ na wartość zwięzłości gleby pod koleiną niż zwiększenie zwięzłości wynikające z rozkładu naprężeń w glebie. Nieistotne różnice pomiędzy wyrazami wolnymi równań opisujących wpływ prędkości na wartość zwięzłości sugerują, że przy prędkościach przejazdu zbliżonych do quasistatycznych zwięzłości będą miały zbliżone wartości niezależnie od głębokości, z czego wynika, że przy tych prędkościach następuje pełna kompensacja wpływu omawianych wcześniej czynników.

Na podstawie analizy matematycznej przedstawionych na rys. 2 funkcji stwierdzono, że współrzędne ich minimów zmieniają się dla poszczególnych przedziałów głębokości. Oznacza to, że dla ustalonych głębokości istnieją optymalne prędkości, przy których skutki zagęszczania będą najmniejsze. Na rys. 4 przedstawiono wpływ głębokości na wartości prędkości, przy których skutki zagęszczania będą najmniejsze, przy czym za wartości odciętych przyjęto głębokości odpowiadające połowom przedziałów analizowanych przedziałów głębokości. Przedstawione wyniki aproksymowano równaniem prostej, z którego wynika, że wraz ze wzrostem głębokości maleją wartości prędkości, przy których skutki zagęszczania gleby kołami ciągnika będą najmniejsze.



Rys. 4. Zależność prędkości odpowiadającej najmniejszemu zagęszczeniu gleby (v_{\min}) od głębokości (a)

Fig. 4. Relationship between depth (a) and tractor speed corresponding with the least soil compaction

Wnioski

1. Wzrost prędkości przejazdu ciągnika w zakresie od 0,5 do 4,0 ms⁻¹ istotnie wpływa na wartość zwięzłości zagęszczanej gleby powodując początkowo jej spadek, a następnie - wzrost, przy czym zależność tę można aproksymować parabolą stopnia drugiego niezależnie od poziomu zagęszczenia wstępnego i przedziału głębokości.
2. Zwięzłość gleby zagęszczanej kołami ciągnika rośnie wraz ze wzrostem głębokości w przedziale od powierzchni pola do głębokości 15 cm, przy czym wzrostowi głębokości towarzyszy również spadek różnic w zwięzłości spowodowany zmianą prędkości.
3. Brak istotnych różnic pomiędzy wartościami wyrazów wolnych funkcji opisujących wpływ prędkości na wartość zwięzłości sugeruje, że dla quasistatycznych prędkości przejazdu ciągnika zwięzłości będą miały zbliżone wartości niezależnie od głębokości.
4. Niemonotoniczność przebiegu zwięzłości oraz zróżnicowanie jej wartości dla poszczególnych przedziałów głębokości można hipotetycznie przypisać jednoczesnemu występowaniu trzech zjawisk towarzyszących zmianom prędkości przejazdu ciągnika tzn. spulchniającemu oddziaływaniu kół napędowych na glebę, wrażliwości gleby na prędkość odkształcenia i zmianie dynamiki oddziaływania koła na glebę.
5. Przeprowadzone badania sugerują, że dla określonej głębokości istnieją optymalne prędkości przejazdu ciągnika, przy których skutki zagęszczania gleby będą najmniejsze i na podstawie analizy matematycznej uzyskanych przebiegów można stwierdzić, że prędkości te maleją liniowo wraz ze wzrostem głębokości.

Bibliografia

- Buliński J., 2000. Wpływ prędkości ruchu i rodzaju agregatu ciągnikowego na zagęszczanie gleby kołami, *Inżynieria Rolnicza*, 6: 111-117.
- Karczewski T., 1978. Wpływ prędkości przejazdu na zmiany zagęszczenia gleby przez koła maszyn rolniczych, *Zesz. Probl. Post. Nauk Rolniczych* 201: 69-74
- Kruszewski Z., 1996. Prędkość przemieszczania elementu czynnego a wytrzymałość gleby, *Roczniki AR w Poznaniu, Rolnictwo CCLXXXVI*: 93-97
- Lejman K., Owsiak Z., 2001. Penetrometryczna metoda wyznaczania rozkładu gęstości w profilu glebowym, *Inżynieria Rolnicza* 1, 189-195
- Lesiak J., Lejman K., Owsiak Z., 2000. Wpływ głębokości pomiaru na relacje zachodzące pomiędzy wybranymi parametrami opisującymi stan gleby, *Inżynieria Rolnicza* 6: 185-191
- 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

Wells L. G., Baird R. D., 1978. A technique for predicting vehicular tractive performance, ASAE Paper No. 78-1000, ASAE, St. Joseph, MI 49085

INFLUENCE OF TRACTOR SPEED ON CHANGES OF SOIL CONE INDEX

Summary

The paper presents results of investigations on distribution of cone index in soil which was compacted by tractor wheels. Research was conducted in field conditions on loamy clay soil on three levels of preliminary compaction. The cone index was measured in the three points and its changes were analysed in three intervals of depth. Soil moisture was 9-13%. The travel speed of the tractor was in the range of 0.5-4.0 m/s. It was found that tractor speed and depth interval significantly influenced the cone index and that the increase of tractor speed generated at first decrease of the soil cone index and then – an increase of it. The tests also proved that there were optimum tractor speeds causing the least compaction and that these speeds decreased linearly with the increased soil depth.

Key words: soil, compactness, tractor, speed, field experiments