

BADANIA WPŁYWU BEZPOŚREDNIEGO ŚCINANIA GLEBY NA JEJ ZAGĘSZCZENIE PRZY STAŁYCH I NARASTAJĄCYCH NAPRĘŻENIACH NORMALNYCH

Zbigniew Błaszkiwicz

Instytut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Poznaniu

Streszczenie. W pracy przedstawiono stanowiskowe badania wpływu ścinania gleby na jej zagęszczenie w aparacie bezpośredniego ścinania gleby. Pomiary przeprowadzono metodą standardową przy stałych naprężeniach normalnych oraz metodą zmodyfikowaną przy naprężeniach normalnych narastających w czasie procesu ścinania dla różnych wartości poziomego przemieszczenia gleby (5, 10 i 20 mm). Wykazano, że ścinanie gleby zmienia nieznacznie zagęszczenie gleby w teście standardowym przy niskiej wilgotności gleby 4 i 10% i w teście zmodyfikowanym tylko przy wilgotności 4%. Natomiast w teście zmodyfikowanym przy wilgotności gleby 10% wykazano znaczny wpływ ścinania gleby na przebieg zmian i na wartość końcową gęstości objętościowej, które zależą od wartości poziomego przemieszczenia, podczas którego narastają naprężenia normalne i różnych wartości końcowych naprężeń normalnych (70 i 130 kPa)

Słowa kluczowe: bezpośrednie ścinanie, zagęszczenie gleby, naprężenia normalne, poziome przemieszczenie, wilgotność gleby

Wstęp

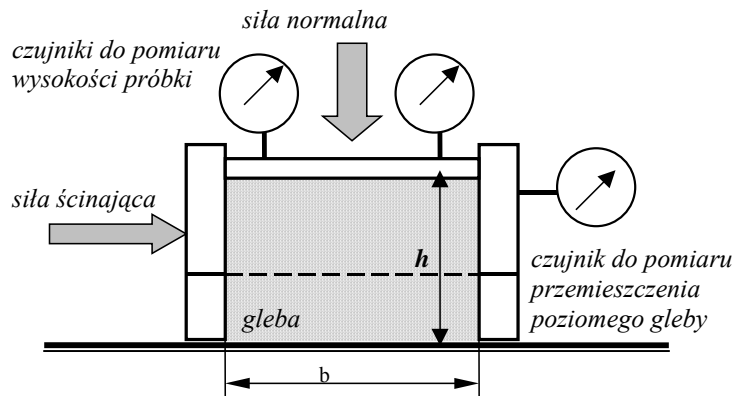
Koła napędowe pojazdów rolniczych wywierają oprócz obciążeń normalnych na glebę także naprężenia ścinające powodując odmienne zagęszczenie gleby od wywoływanego tylko obciążeniami normalnymi [Raghavan i in. 1978; Błaszkiwicz 1985, 1988, 2002]. Dotychczas nie jest wystarczająco rozpoznana i opisana zależność zagęszczenia gleby od działających na nią naprężeń ścinających (stycznych), mogąca być przydatna w modelowaniu układu koło–gleba lub narzędzie–gleba. Przyjmuje się, że ścinanie gleby w aparacie bezpośredniego ścinania jest zbliżone do zachodzącego pod oponami napędowymi [Okello 1991]. Testy takiego ścinania gleby są jednak przeprowadzane przy stałych zewnętrznych naprężeniach normalnych, podczas gdy pod kołami ma miejsce narastanie tych naprężeń na długości kontaktu opony z podłożem od zera na początku styku koła z glebą do maksymalnej wartości występującej za pionową osią koła. Wyniki badań wstępnych przeprowadzonych przez autora [Błaszkiwicz 2002] w aparacie bezpośredniego ścinania wskazują, że na wzrost i na wartość końcową zagęszczenia gleby ma wpływ to czy podczas procesu ścinania naprężenia normalne są stałe czy narastające, co wskazuje na kontynuację badań nad tymi zagadnieniami z uwzględnieniem wpływu także innych parametrów.

Celem badań przedstawionych w niniejszej pracy jest określenie wpływu bezpośredniego ścinania gleby na jej zagęszczenie przy stałych i narastających naprężeniach normalnych. Założono przeprowadzenie badań metodą standardową przy stałych naprężeniach normalnych oraz metodą zmodyfikowaną przy naprężeniach normalnych narastających podczas procesu ścinania. W tym zakresie badano również:

- wpływ długości drogi poziomego przemieszczenia gleby, w czasie którego występuje narastanie naprężenia normalnego, na przebieg zmian i na wartość końcową gęstości objętościowej,
- oraz wpływ na przebieg zmian gęstości objętościowej gleby podczas jej ścinania wartości końcowego naprężenia normalnego oraz wilgotności gleby.

Metody badań

Gleba użyta do badań była naruszona i miała skład granulometryczny piasku gliniastego. Glebę przed badaniami przesiewano przez sito o średnicy oczek 5 mm dla usunięcia kamieni i zanieczyszczeń. Dla uzyskiwania wymaganych wilgotności próbek glebę uzupełniano wodą, mieszano i odstawiano dla ujednorodnienia wilgotności. Pomiary przeprowadzono dla wilgotności gleby 4% i 10% wag.. W badaniach stosowano aparat bezpośredniego ścinania AP-2a wykonany przez Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, wyposażony w skrzynkę o wymiarach $b = 10 \times 10$ cm (rys. 1).



Rys. 1. Schemat skrzynki aparatu bezpośredniego ścinania

Fig. 1. Scheme of the box of the linear shear apparatus

W etapie pierwszym badań przeprowadzono pomiary procesu ścinania gleby metodą standardową przy stałych naprężeniach normalnych 70 i 130 kPa. Po napełnieniu skrzynki aparatu glebą i po jej obciążeniu (po konsolidacji próbki) rozpoczynano proces ścinania, który realizowano do przemieszczenia poziomego j górnej skrzynki aparatu wynoszącego 40mm. W czasie testu oprócz sił normalnych i stycznych działających na glebę mierzono

wartość przemieszczenia poziomego j górnej skrzynki aparatu i jednocześnie zmiany wysokości h próbki gleby w skrzynce za pomocą dwóch czujników umieszczonych po przekątnej (rys. 1). Na podstawie wymiarów podstawy próbki i jej wysokości obliczano aktualną objętość gleby.

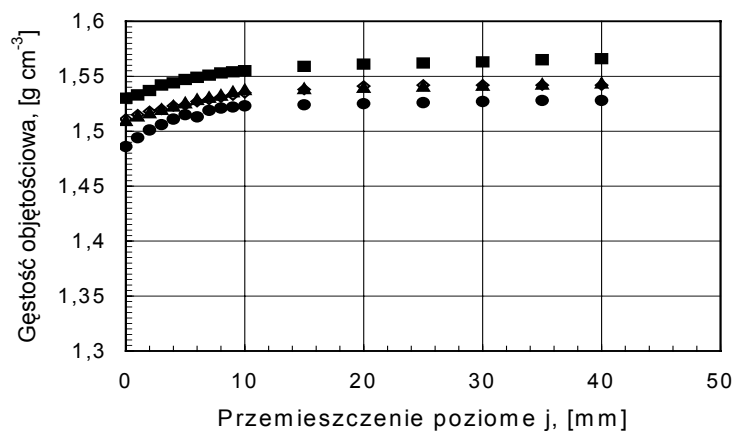
W etapie drugim pomiary przeprowadzono metodą zmodyfikowaną polegającą na tym, że w czasie ścinania gleby zastosowano ciągłe liniowe narastanie obciążenia normalnego na próbkę, od zera na początku procesu ścinania do maksymalnej wartości naprężenia normalnego, w określonym zakresie wzrastającego przemieszczenia poziomego górnej skrzynki aparatu. Wartość tego przemieszczenia poziomego gleby, do którego narastało to naprężenie normalne nazwano w pracy przemieszczeniem granicznym j_g . Pomiary przeprowadzono dla dwóch wartości maksymalnych naprężeń normalnych 70 i 130 kPa oraz dla trzech wartości granicznych przemieszczeń poziomych j_g wynoszących 5, 10 i 20 mm. W tym celu w aparacie bezpośredniego ścinania zamontowano układ mechaniczno-elektryczny umożliwiający regulowany wzrost nacisku na ścinaną glebę. Dla każdej wilgotności i wielkości granicznego obciążenia gleby oraz naprężeń normalnych przeprowadzono pomiary ścinania w trzech powtórzeniach. Wartości badanych zmiennych parametrów wybrano spośród występujących w praktyce rolniczej w glebie i pod kołami.

Z pomiarów otrzymano ciągłą zależność zmian wysokości próbki gleby h w skrzynce aparatu od przemieszczenia poziomego j . Wielkość ta służyła do obliczenia zmieniającej się objętości próbki gleby podczas ścinania ze wzoru $V = b^2 \cdot h$. Odnosząc masę próbki suchej gleby (po wysuszeniu w 105-110°C), która dla całej serii pomiarów była stała, obliczano gęstość objętościową. Uzyskane zależności gęstości objętościowej gleby podczas procesu ścinania od wartości przemieszczenia poziomego j ścinanych warstw, dla założonych parametrów badań, przedstawiono na rysunkach od 2 do 6.

Omówienie wyników badań

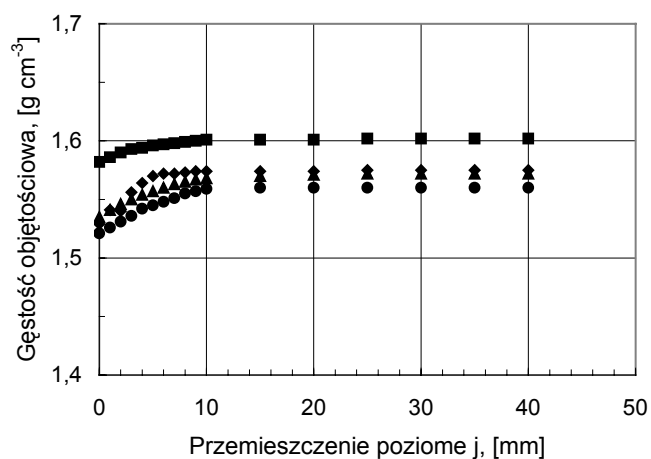
Wyniki badań przedstawione w niniejszej pracy na rysunkach od 2 do 5 potwierdzają wykazaną wstępnie przez autora [Błaszkiwicz 2002] zależność, że sposób stosowania obciążenia normalnego (stałe, narastające) na ścinaną glebę ma wpływ na jej zagęszczenie. Ponadto stwierdzono, że zakres i przebieg zmian zagęszczenia gleby pod wpływem naprężeń ścinających zależy od wartości przemieszczenia poziomego gleby, do którego narasta to naprężenie normalne, od wilgotności gleby i wartości działających naprężeń normalnych.

Przy niskiej wilgotności badanej gleby 4% obserwuje się mały wpływ powyższych czynników na zmiany zagęszczenia gleby (rys. 2 i 6). Przebieg zmian zagęszczenia podczas ścinania gleby prowadzonego metodą standardową i metodą zmodyfikowaną jest podobny. Ścinanie gleby powoduje w obydwu przypadkach wzrost gęstości objętościowej gleby maksymalnie o $0.050 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (odchylenie standardowe dla całej serii pomiarów gęstości gleby podczas ścinania nie przekraczało wartości $0.004 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Ponadto występuje mały wpływ wartości granicznego przemieszczenia poziomego jak i badanych wartości naprężeń normalnych na gęstość objętościową gleby. Parametry te także w nieznacznym stopniu różnicują maksymalne zagęszczenie gleby występujące po zakończeniu procesu ścinania (rys. 5).



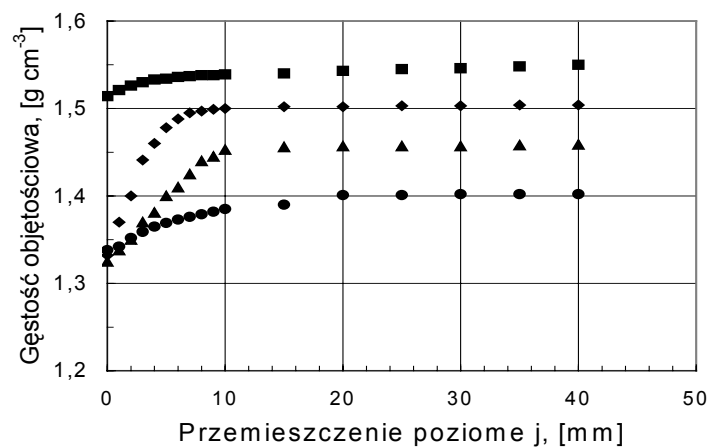
Rys. 2. Zależność gęstości objętościowej gleby (w $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) od przemieszczenia poziomego gleby j przy jej wilgotności 4% i dla maksymalnego naprężenia normalnego 70 kPa. Oznaczenia: ■ - test konwencjonalny ($j_g = 0$); test zmodyfikowany ścinania przy narastaniu naprężenia normalnego do wartości przemieszczenia poziomego j_g : ◆ - 5 mm, ▲ - 10 mm, ● - 20 mm. (Oznaczenia dotyczą także rysunków 3-5)

Fig. 2. Dependence of the dry soil bulk density ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) on the horizontal soil deformation j by water content 4% and for the maximal normal stresses 70 kPa. Designations: ■ - conventional test ($j_g = 0$); modify test by normal stresses increased till the boundary horizontal soil displacement j_g : ◆ - 5 mm, ▲ - 10 mm, ● - 20 mm. (Designations for the Figures 2-5)



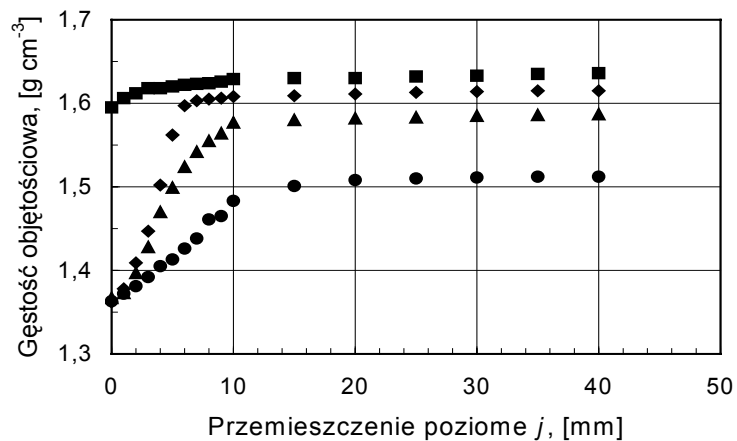
Rys. 3. Zmiany gęstości objętościowej gleby suchej (w $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) w zależności od przemieszczenia poziomego gleby j przy jej wilgotności 4% i dla maksymalnego naprężenia normalnego 130 kPa

Fig. 3. Dependence of the dry soil bulk density ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) on the horizontal soil deformation j by water content 4% and for the maximal normal stresses 130 kPa



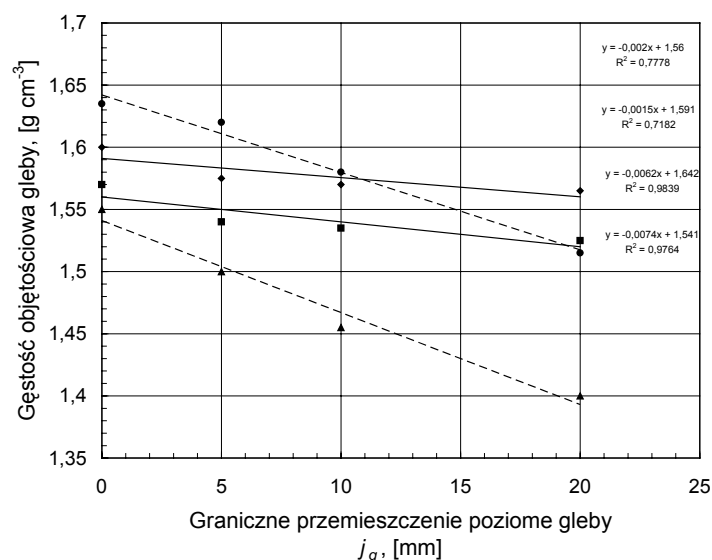
Rys. 4. Zmiany gęstości objętościowej gleby suchej (w $g\cdot cm^{-3}$) w zależności od przeszczenia poziomego gleby j przy jej wilgotności 10 % i dla maksymalnego naprężenia normalnego 70 kPa

Fig. 4. Dependence of the dry soil bulk density ($g\cdot cm^{-3}$) on the horizontal soil deformation j by water content 10% and for the maximal normal stresses 70 kPa.



Rys. 5. Zależność gęstości objętościowej gleby (w $g\cdot cm^{-3}$) od przeszczenia poziomego gleby j przy jej wilgotności 10 % i dla maksymalnego naprężenia normalnego 130 kPa.

Fig. 5. Dependence of the dry soil bulk density ($g\cdot cm^{-3}$) on the horizontal soil deformation j by water content 10% and for the maximal normal stresses 130 kPa.



Rys. 6. Zależność maksymalnej gęstości objętościowej gleby (w $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) od wartości granicznego przemieszczenia poziomego gleby dla dwóch badanych końcowych naprężeń normalnych i dwóch wilgotności gleby. Oznaczenia: wilgotność gleby 4% (linia ciągła): ■ - naprężenie normalne 70 kPa, ◆ - naprężenie normalne 130 kPa; wilgotność gleby 10% (linia kreskowa): ▲ - naprężenie normalne 70 kPa, ● - naprężenie normalne 130 kPa

Fig. 6. Dependence of the maximal value of the dry soil bulk density ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) on the horizontal soil deformation j for the two water contents and for the two maximal normal stresses. Designations: water content 4% (solid line): ■ - normal stresses 70 kPa, ◆ - normal stresses 130 kPa; water content 10%w.b. (dashed line): ▲ - normal stresses 70 kPa, ● - normal stresses 130 kPa

Można przypuszczać, że te wykazane małe zmiany gęstości gleby powstałe pod wpływem działania sił ścinających są rezultatem znacznej początkowej jej gęstości, wynoszącej około $1,530 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ przy niskiej wilgotności 4% (odchylenie standardowe dla całej serii pomiarów gęstości gleby nieugniesionej wynosiło średnio około $0,008 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Powstałe małe agregaty glebowe wskutek niskiej zawartości wody powodują po napełnieniu duże zagęszczenie gleby w skrzynce aparatu, które może wzrosnąć pod wpływem sił zewnętrznych już tylko w małym stopniu.

Przy wyższej wilgotności gleby 10%, w teście standardowym prowadzonym przy stałych naprężeniach normalnych, obserwuje się także mały wpływ ścinania gleby na jej zagęszczenie, powstałe głównie pod wpływem naprężeń normalnych działających na próbkę przed ścinaniem, (rys. 3 i 6). Natomiast w teście zmodyfikowanym prowadzonym przy tej samej wilgotności gleby 10% (rys. 4 i 5) stwierdzono podczas ścinania znaczący wpływ na zagęszczenie gleby wartości działającego naprężenia normalnego oraz wartości granicznego przemieszczenia poziomego gleby. W tym przypadku obydwa badane czynniki mają duże znaczenie, bowiem powodują znaczne zróżnicowanie w przebiegu zmian zagęszcze-

nia gleby podczas jej ścinania. Podczas przemieszczenia poziomego gleby do wartości granicznych j_g występuje znaczny wzrost gęstości objętościowej gleby o wartość dochodzącą nawet do $0,25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Przy czym tempo wzrostu jest tym mniejsze im większe wartości przyjmuje graniczne przemieszczenie poziome gleby. Natomiast uzyskane maksymalne zagęszczenie gleby było tym mniejsze im większe wartości przyjmowało to graniczne odkształcenie (rys. 6). Przy większym badanym końcowym naprężeniu normalnym 130 kPa zmiany zagęszczenia gleby podczas ścinania zachodzą przy wyższych wartościach gęstości objętościowych oraz większe obserwuje się przyrosty tej gęstości.

Wnioski

1. Ścinanie gleby w aparacie bezpośredniego ścinania powoduje zwiększanie jej zagęszczenia. Wartość wzrostu tego zagęszczenia i jego wartość końcowa zależą od tego czy obciążenie gleby podczas bezpośredniego ścinania jest stałe czy narastające, od wilgotności gleby, naprężeń normalnych i wartości granicznego przemieszczenia poziomego, do którego zachodzi narastanie naprężenia normalnego.
2. Bezpośrednie ścinanie wykonane według metody standardowej powoduje mały wzrost zagęszczenia gleby niezależny od jej wilgotności. Natomiast stosowanie obciążenia narastającego w metodzie zmodyfikowanej powoduje na ogół większy wzrost gęstości objętościowej gleby podczas jej ścinania, który zachodzi przy znacznie niższym zagęszczeniu gleby niż w teście standardowym.
3. Wzrost wartości granicznego przemieszczenia poziomego gleby prowadzi do mniejszego wzrostu zagęszczenia gleby podczas jej ścinania oraz do mniejszych wartości końcowych tego zagęszczenia. Natomiast większe wartości naprężeń normalnych powodowały większe zagęszczenie gleby.
4. Przy wyższej wilgotności badanej gleby 10% proces ścinania prowadzi do znacznie większych wzrostów zagęszczenia gleby i uzyskiwania większych jego wartości końcowych.

Bibliografia

- Błaszkiwicz Z.** 1985. Einfluss des Treibradschlupfes bei verschiedenen Schleppergeschwindigkeiten auf die Dichte sowie Bodenwasser und Bodenluft eines leichten Bodens. Grundlagen der Landtechnik, 35, 2. s. 55-62.
- Błaszkiwicz Z.** 1988. Wpływ poślizgu i nacisku jednostkowego kół napędowych ciągnika na zagęszczenie i właściwości wodno-powietrzne gleby lekkiej. Roczn. Nauk Roln. C, 78, 1. s. 27-48.
- Błaszkiwicz Z.** 2002. Badania zagęszczenia gleby w procesie bezpośredniego ścinania. Inżynieria rolnicza 5(38). s. 181-188.
- Raghavan G.S.V., McKyes E., Beaulieu B.** 1978. Clay soil compaction due to wheel slip. Trans. ASAE, 21, 4, pp. 646-649(653).
- Okello J.A.** 1991. A Review of Soil Strength Measurement Techniques for Prediction of Terrain Vehicle Performance, J. Agric. Engng. Res. 50. pp. 129-155.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE SHEAR PROCESS ON THE SOIL COMPACTION BY CONSTANT NORMAL STRESSES AND INCREASING NORMAL STRESSES

Summary. This work presents the investigation results of the effect of the soil shear stresses on the soil compaction. The measurements were performed in the direct shear apparatus according to the standard method by the constant normal stresses of 70 and 130 kPa, and using the modified method by increasing normal stresses from zero at the start of the shearing to the maximal value of the normal stresses. The growth of the normal stresses was performed during horizontal soil displacement j in the shear box till the assumed constant value amounted to 0, 5, 10 and 15 mm. In these investigations it was found that the external shear stresses changed the sandy soil compaction very little during the conventional shear test by water content of 4 and 10% (w.b.) and in the modify test only by the soil water content of 4% (w.b.). It was stated that direct shear process increased very strong the soil compaction in the modify test by the water content 10% (w.b.). In this case both factors, the value of the normal stresses and the values of the horizontal soil displacements while this normal stresses were increased, are the main factors affecting the soil compaction.

Key words: direct shear, soil compaction, normal stresses, horizontal displacement, soil water content

Adres do korespondencji

Zbigniew Błaszkiwicz; e-mail: blaszkie@au.poznan.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 50
60-625 Poznań