

JAN PABIN, ANDRZEJ BISKUPSKI, STANISŁAW WŁODEK

ZALEŻNOŚĆ WARTOŚCI KRYTYCZNYCH GĘSTOŚCI I OPORÓW PENETROMETRYCZNYCH OD ZAWARTOŚCI IŁU KOLOIDALNEGO, WĘGLA ORGANICZNEGO I WILGOTNOŚCI GLEBY

DEPENDENCE OF THE VALUES OF CRITICAL BULK DENSITIES AND PENETROMETRIC RESISTANCES ON THE CONTENTS OF CLAY, ORGANIC CARBON AND SOIL MOISTURE

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy,
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli, Wrocław

Abstract: The aim of the research was to find out the significance of soil bulk density and compaction to the development and yielding of crops, regarding the influence of organic carbon, clay and water contained in the soil. The determined critical values of soil bulk density and compaction are not constant quantities, because they are significantly correlated with the contents of clay, organic carbon and water contained in the soil. Negative correlation of the critical values of soil density and compaction with the content of clay makes the restrictive character of the factors to appear with lower magnitudes in soils with higher content of the clay than in those with its lower content. However, a positive correlation with organic carbon and water makes their increase to contribute to raising the threshold quantities of soil density and compaction. The strongest absolute influence on the determined critical value of soil bulk density was exerted by the content of clay, and on soil compaction – by organic carbon.

Słowa kluczowe: części ilaste, węgiel organiczny, wilgotność gleby, krytyczna gęstość i opór penetrometryczny gleby.

Key words: clay content, organic carbon, soil water content, critical soil bulk density and penetrometric resistance.

WSTĘP

Gęstość i opory penetrometryczne (zwięzłość) należą do najważniejszych charakterystyk opisujących stan fizyczny gleby. Znaczenie ich dla wegetacji roślin modyfikowane jest między innymi zawartością części ilastych, węgla organicznego i wilgotnością utworu glebowego [Miatkowski 2001; Pabin i in. 1991; Lipiec i in. 1998]. Znajomość tych relacji jest niezbędna do racjonalnej oceny wpływu gęstości i zwięzłości gleby na rozwój i plonowanie roślin [Pringle,

Lark 2007; Clark i in. 2005; Whalley i in. 2006]. Istnieje zatem potrzeba poznania wspomnianych związków przyczynowo-skutkowych umożliwiających właściwą interpretację cech fizycznych badanej gleby i ich możliwości oddziaływania na roślinę.

Celem badań było poznanie znaczenia gęstości i zwięzłości gleby dla rozwoju i plonowania roślin z uwzględnieniem wpływu zawartości w glebie węgla organicznego, iltu koloidalnego i wody.

METODYKA

Badania przeprowadzono na materiale glebowym reprezentującym warstwę próchniczną czterech różnych gatunków gleb uprawnych, zlokalizowanych w SD IUNG-PIB w Jelczu-Laskowicach i w Dobrogostowie. Zawartość części ilastych w poszczególnych partiach pobranego materiału glebowego wahała się w granicach 5–15%, Corg. – od 0,72 do 1,57%, a ilość wody przy polowej pojemności wodnej od 9,8 do 20,7% suchej masy gleby. Testowane utwory glebowe nawilżano do 5 różnych poziomów wilgotności nieprzekraczających wielkości polowej pojemności wodnej. Nawilżanie do zakładanych stanów uwilgotnienia uzyskiwano na skutek dokładnego wymieszania (w wyliczonej proporcji) materiału glebowego z wodą. Przygotowanym w ten sposób materiałem glebowym napełniano metalowe cylinderki o pojemności 100 cm³. Poszczególne porcje materiału glebowego przed napełnieniem dzielono na 3 równe części i wsypywano kolejno do cylinderka, ugniatając każdą część do pożądanej objętości. Po ugnieceniu każdej części powierzchnię ugniataną płytko spulchniano, aby zminimalizować efekty brzegowe. Do wszystkich gatunków gleby i stanów uwilgotnienia stosowano następujące poziomy zagęszczenia: 1,30; 1,40; 1,50; 1,60 i 1,70 g·cm⁻³. Poszczególne warianty zagęszczenia i wilgotności wykonano w 10 powtórzeniach. Do każdego cylinderka wysadzano po dwa podkiełkowane nasiona grochu, umieszczając ich kiełki w otworach wykonanych na głębokość 1,5 cm. Następnie zasypywano je luźno ułożoną, jednocentymetrową warstwą gleby o tej samej wilgotności, jaką miała dolna warstwa. Potem cylinderki szczelnie zamykano i pozostawiano na 2–3 doby w temperaturze 18–23°C. Bardziej szczegółową charakterystykę analizowanych utworów glebowych i metodykę badania zależności wzrostu korzeni siewek grochu od gęstości gleby i jej oporów penetrometrycznych oraz zawartości wody i Corg. oraz części spławialnych, podano w pracy Pabina i in. [1999]. W obecnej wersji opracowania przy wyznaczaniu związków korelacyjnych między wzrostem korzeni siewek grochu i czynnikami fizycznymi analizowanych utworów glebowych wprowadzono zamiast zawartości części spławialnych – ilość części ilastych (< 0,002 mm). Co uzasadnia się brakiem wyodrębnienia frakcji granulometrycznej „części spławialne” w obecnie obowiązującym podziale na frakcje i grupy granulometryczne [PN-R-04033] oraz olbrzymim znaczeniem zawartości iltu dla kształtowania właściwości gleby.

Procedurę wyznaczania wartości krytycznych gęstości i oporów penetrometrycznych gleby przyjęto taką samą jak w cytowanej wyżej pracy. Informacje bardziej szczegółowe zostały podane w części dotyczącej wyników badań.

WYNIKI I DYSKUSJA

Wzrost korzeni siewek grochu opisany został następującym równaniem:

$$y = 177,11 - 96,15 g + 0,5786 w + 22,011 c - 2,6956 i; \quad R^2 = 0,7233; \quad (1)$$

a po standaryzacji:

$$y = 70,09 - 13,37 g + 10,51w + 7,5937 c - 12,6583 i; \quad (2)$$

gdzie:

y – względna długość korzeni siewek grochu (% maks.),

g – gęstość gleby ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$),

w – wilgotność gleby (% polowej pojemności wodnej),

c – zawartość węgla organicznego w glebie (%),

i – zawartość łu koloidalnego (średnica cząstek $< 0,002$ mm) (%).

Z wielkości współczynnika determinacji wynika, że ponad 70% zmienności występującej we wzroście korzeni siewek grochu była powodowana przez zmiany w gęstości, wilgotności, zawartości węgla organicznego i łu koloidalnego. Pod tym względem największy, negatywny wpływ miały gęstość i zawartość łu w glebie, natomiast dodatni wpływ na wzrost korzeni wywierała zawartość wody i węgla organicznego w glebie. Między analizowanymi wynikami wzrostu korzeni siewek grochu i oporami penetrometrycznymi (zwięzłoscia) gleby istnieje również istotny związek korelacyjny, który opisano w postaci równania regresji i graficznie w pracy Pabina i in. [1999]. Z przedstawionych w cytowanej pracy danych wynika, że całkowite zahamowanie wzrostu korzeni miało miejsce przy 40% maksymalnej ich długości (wielkość ta równa się długości początkowej, czyli 1,5 cm). Czynniki glebowe, które spowodowały wymienione ograniczenie wzrostu, mają charakter maksymalnie restrykcyjny lub krytyczny. Wprowadzając tę wartość (40%) do równania 1. można wyliczyć (przy ustaleniu pozostałych zmiennych) wartość krytyczną gęstości gleby. Nie trudno zauważyć, że wartość ta może ulegać zmianie, jeśli zmieni się choćby tylko jeden z parametrów występujących w analizowanym równaniu. Ustalona w ten sposób wartość krytyczna będzie informować o bezwzględnej potrzebie spulchnienia gleby [Gerard i in.1982]. Przyjęcie kryterium całkowitego zahamowania wzrostu korzeni jako krytycznego w odniesieniu do plonowania roślin wydaje się jednak zbyt drastyczne, ponieważ dotyczyłoby sytuacji, kiedy korzenie nie mogą przerastać ośrodka glebowego i roślina nie może się rozwijać i wydać plonu. Traktując wzrost korzeni siewek grochu jako pewnego rodzaju biologiczny miernik stanu fizycznego gleby, można przyjąć, że istotne zmniejszenie plonów w wyniku oddziaływania niekorzystnego dla vegetacji roślin stanu fizycznego gleby może mieć miejsce wówczas, gdy penetracja korzeni w glebie ulega tylko pewnemu ograniczeniu. Wyznaczenie takiego ograniczenia we wzroście korzeni siewek grochu przeprowadzono we wcześniejszej publikacji [Pabin i in. 1999]. Według danych we wspomnianej publikacji wartość 68% maksymalnej długości korzeni siewek grochu opisuje stan fizyczny gleby powodujący 10% obniżkę plonu różnych roślin. Wstawiając do równania 1, zamiast „y” wartość 68% można wyznaczyć krytyczne wartości zagęszczenia różnych utworów glebowych. W tabeli 1. zestawiono zakresy krytycznego zagęszczenia obejmujące stan, przy którym występuje całkowite zahamowanie

TABELA 1. Wpływ zawartości łu koloidalnego i węgla organicznego na wartości krytyczne gęstości gleby [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}$] przy wilgotności 70% polowej pojemności wodnej
TABLE 1. Effect of soil clay fraction and organic carbon content on soil critical bulk density values [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}$] at 70% of field water capacity

Ił koloidalny Clay	Zakresy krytycznych wartości gęstości gleby przy zawartości Corg Ranges of critical values of the soil bulk density at Corg. content			
	0,7%	1,0%	1,3%	1,5%
5	1,58–1,87	1,64–1,94	–	–
10	1,44–1,73	1,50–1,80	1,57–1,86	1,62–1,91
15	–	1,36–1,66	1,43–1,72	1,48–1,77
20	–	–	1,29–1,58	1,34–1,63

TABELA 2. Wpływ wilgotności (% polowej pojemności wodnej, PPW) i zawartości węgla organicznego na wartości krytyczne gęstości gleby [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}$] zawierającej 5% łu koloidalnego
 TABLE 2. The influence of the moisture (% of field water capacity, FWC) and soil organic carbon content on the critical bulk density values [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}$] of soil containing 5% of clay fraction

Wilgotność gleby Soil moisture	Zakresy krytycznych wartości gęstości gleby przy zawartości Corg Ranges of critical values of the soil bulk density at Corg. content			
% PPW– FWC	0,7%	1,0%	1,3%	1,5%
50	1,46–1,75	1,52–1,82	1,59–1,88	1,64–1,93
60	1,52– 1,81	1,58–1,88	–	–
70	1,58–1,87	1,64–1,94	–	–
80	1,64–1,93	–	–	–

wzrostu korzeni (40%) i częściowe jego przyhamowanie (68%), przy różnej zawartości węgla organicznego. Wszystkie wartości wyliczono dla wilgotności odpowiadającej 70% PPW. Różnicując uwilgotnienie dla jednego rodzaju utworu glebowego (np. o zawartości 5% łu koloidalnego), lecz o różnej zawartości węgla organicznego, wyliczane zakresy krytyczne obejmują odmienne przedziały gęstości, które przykładowo zestawiono w tabeli 2. W obu tabelach dane świadczą o silnym wpływie zawartości węgla organicznego na wartość krytycznego zagęszczenia. Zależność ta ma charakter dodatni, to znaczy wzrost zawartości węgla organicznego zwiększa gęstość krytyczną. A więc wartość gęstości wpływająca niekorzystnie na vegetację roślin może utracić taką właściwość przy pewnej zawartości Corg, gdy zwiększy się jego ilość, np. na skutek stosowania nawożenia organicznego. Dla każdego gatunku gleby ma to istotne znaczenie w praktyce rolniczej, ponieważ stanowi wskazówkę, aby stosować takie zmianowanie roślin, które będzie powodować przyrost zawartości Corg w glebie [Parylak 1998] i w ten sposób oddalać możliwość wystąpienia krytycznego zagęszczenia gleby. Natomiast zawartość łu koloidalnego ma działanie przeciwne do opisanego w przypadku Corg. i jest od niego znacznie silniejsze, o czym świadczą odpowiednie współczynniki liczbowe w równaniu 2., otrzymanym po standaryzacji danych wprowadzanych do równania 1. W tabeli 1. widać też oprócz dodatniego wpływu zawartości Corg. podobne, lecz silniejsze oddziaływanie zwiększania wilgotności gleby na wartość krytycznej jej zagęszczenia. Należy zauważyć, że chociaż interpretacja oddziaływania obu czynników jest podobna, to powszechność zmienności uwilgotnienia gleby w okresie vegetacji sprawia, że jest to czynnik najczęściej określający stopień restrykcyjnego oddziaływania gęstości gleby na vegetację roślin. Trzeba, zatem podkreślić, że każdy gatunek gleby nie ma jednej krytycznej wartości gęstości, ponieważ zmienia się ona pod wpływem zmian uwilgotnienia. Określona gęstość gleby po zmniejszeniu się wilgotności może niekorzystnie oddziaływać na wzrost korzeni, a po zwiększeniu uwilgotnienia odzyskać charakter nierestykcyjny.

Innym parametrem opisującym glebę, mogącym wpływać na vegetację i rozwój roślin jest jej zwięzłość (opory penetrometryczne). Wynikiem obliczeń korelacji między wzrostem korzeni siewek grochu a zwięzłością, wilgotnością oraz zawartością Corg. i łu koloidalnego w glebie jest następujące równanie:

$$y = 35,59 - 5,0803 z + 0,4337 w + 24,47c - 1,4738 i; \quad R^2 = 0,5247; \quad (3)$$

a po standaryzacji:

$$y = 70,09 - 12,00 z + 7,8802 w + 9,4786 c - 6,9208 i; \quad (4)$$

gdzie:

z – zwięzłość gleby (MPa), pozostałe, jak w równaniu 1.

TABELA 3. Wpływ zawartości iłu koloidalnego i węgla organicznego na wartości krytyczne zwięzłości gleby przy wilgotności 70% polowej pojemności wodnej
 TABLE 3. Effect of soil clay fraction and organic carbon content on critical values of soil compaction at 70% of field water capacity

Ił koloidalny Clay	Zakresy krytycznych wartości zwięzłości gleby [MPa] przy zawartości Corg Ranges of critical values of the soil compaction [MPa] at Corg. content			
	0,7%	1,0%	1,3%	1,5%
5	1,93–7,44	3,55–9,06	–	–
10	–	2,10–7,61	3,72–9,24	–
15	–	–	2,27–7,78	3,36–8,87
20	–	–	–	1,90–7,42

W tym zestawieniu zmienność wzrostu korzeni siewek grochu wyjaśniana jest wpływem wyszczególnionych w równaniu czynników w ok. 52%. Działanie zwięzłości i zawartości iłu koloidalnego jest negatywne, a wilgotności i zawartości Corg. dodatnie. Wstawiając do równania 3., podobnie jak przy rozpatrywaniu gęstości, zamiast „y” wartość 40% możemy wyliczyć wielkość zwięzłości, która całkowicie hamuje wzrost korzeni siewek, a po wstawieniu 68% zwięzłość, która ogranicza wzrost korzeni i wskutek tego powoduje istotne obniżki plonów roślin. Z wyliczeń tych dla określonych gatunków gleby i przy wilgotności 70% PPW uzyskano zakresy (tab. 3), w których zwięzłość gleby wpływa niekorzystnie na rozwój i plonowanie roślin. Zakresy te, podobnie jak dla gęstości, zależą od zawartości Corg. i iłu koloidalnego. Przy czym należy zaznaczyć, że w tym przypadku znaczenie zawartości Corg. odgrywa największą rolę w określaniu funkcji zwięzłości gleby (p. równanie 4.).

Nieco mniejsze znaczenie ma tu zawartość wody w glebie, chociaż dla określonego gatunku gleby jest to czynnik odgrywający bardzo ważną rolę w kształtowaniu znaczenia zwięzłości gleby w okresie wegetacji roślin. Świadczą o tym również dane zestawione w tabeli 4. dotyczące różnych poziomów wilgotności gleby zawierającej 5% iłu koloidalnego, na przykład wspomniana gleba mająca 1% Corg. może oddziaływać niekorzystnie na rozwój i plonowanie, jeśli przy wilgotności 50% PPW cechuje się zwięzłością ok. 1,8 MPa, ale przy wilgotności 70% PPW efekt restrykcyjny występuje dopiero, gdy zwięzłość wzrośnie do ok. 3,5 MPa. Można zatem powiedzieć, że charakterystyki najpowszechniej stosowane do opisu stanu fizycznego gleby nie mają jednolitego znaczenia funkcyjnego w oddziaływaniu na wzrost i plonowanie roślin. Wartości te zarówno w przypadku gęstości, jak i zwięzłości zależą od zawartości iłu koloidalnego, Corg. i wody w glebie.

TABELA 4. Wpływ wilgotności (% polowej pojemności wodnej, PPW) i zawartości węgla organicznego na wartości krytyczne zwięzłości gleby zawierającej 5% iłu koloidalnego
 TABLE 4. The influence of the moisture (% of field water capacity, FWC) and soil organic carbon content on the critical values of soil compaction at soil content 5% of clay fraction

Wilgotność gleby Soil moisture	Zakresy krytycznych wartości zwięzłości gleby [MPa] przy zawartości Corg Ranges of critical values of the soil compaction [MPa] at Corg. content			
	0,7%	1,0%	1,3%	1,5%
% PPW– FWC				
50	–	1,84–7,36	3,47–8,98	4,55–0,06
60	–	2,70–8,21	4,32–9,83	5,40–0,91
70	1,93–7,44	3,55–9,06	5,18–10,69	–
80	2,78–8,30	4,41–9,92	–	–
90	3,64–9,15	–	–	–

WNIOSKI

1. Wyznaczone wartości krytyczne gęstości i zwięzłości gleby nie są wielkościami stałymi, ponieważ są one w istotny sposób skorelowane z zawartością łu koloidalnego, węgla organicznego i wody w glebie.
2. Ujemna korelacja krytycznych wartości gęstości i zwięzłości gleby z zawartością łu koloidalnego sprawia, że restrykcyjny charakter tych czynników objawia się przy niższych wielkościach w glebach z większą ilością wspomnianego łu niż w glebach z jego niższą zawartością. Natomiast dodatnia korelacja z zawartością węgla organicznego i wody powoduje, że ich zwiększenie przyczynia się do podniesienia wielkości progowych gęstości i zwięzłości gleby.
3. Najsilniejszy wpływ bezwzględny na ustalaną wartość krytyczną gęstości gleby wywiera zawartość łu koloidalnego, a na zwięzłość – zawartość węgla organicznego.

LITERATURA

- CLARK L.J., GOWING D.J.G., LARK R.M., LEEDS-HARRISON P.B., MILLER A.J., WELLS D.M., WHALLEY W.R., WHITMORE A.P. 2005: Sensing the physical and nutritional status of the root environment in the field: a review of progress and opportunities. *J. Agric. Sci.* **143**: 347–358.
- GERARD C.J., SEXTON P., SHAW G. 1982: Physical factors influencing soil strength and root growth. *Agron. J.* **74**: 875–879.
- MIATKOWSKI Z. 2001: Wpływ zabiegów agromelioracyjnych na właściwości fizyczno-wodne gleb zwięzłych oraz ukorzenie i plony roślin. Wydawn. IMUZ **99**: 1–107.
- LIPIEC J., PABIN J., TARKIEWICZ S. 1998: Soil compaction in Poland: assessments and effects. Proceedings of the 1th workshop of the Concerted Action on Subsoil Compaction, 28–30 May 1998, Wageningen, The Netherlands. Part 1: 130–143.
- PABIN J., SIENKIEWICZ J., WŁODEK S. 1991: Effect of loosening and compacting on soil physical properties and sugar beet field. *Soil Till. Res.* **19**: 345–350.
- PABIN J., WŁODEK S., BISKUPSKI A. 1999: Wartości krytyczne gęstości różnych gatunków gleb mineralnych. *Fol. Univ. Agric. Stetin. 195 Agricultura* **74**: 81–86.
- PARYLAK D. 1998: Międzyplony ścierniskowe jako czynnik regeneracyjny w monokulturze pszenżyta ozimego uprawianego na glebie lekkiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* **460**: 709–718.
- POLSKA NORMA PN-R-04033, 1998: Gleby i utwory mineralne – podział na frakcje i grupy granulometryczne. Wyd. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- PRINGLE M. J., LARK R. M. 2007: Scale- and location-dependent correlations of soil strength and the yield of wheat. *Soil Till. Res.* **95**: 47–60.
- WHALLEY W.R., CLARK L.J., GOWING D.J.G., COPER E., LODGE R.J., LEEDS-HARRISON P.B. 2006: Does soil strength play a role in wheat yield losses caused by soil drying? *Plant Soil* **280**: 279–290.

Doc. dr hab. Jan Pabin

Zakład Herbolgii i Technik Uprawy Roli, IUNG-PIB

50-540 Wrocław, ul. Orzechowa 61

e-mail: j.pabin@iung.wroclaw.pl