

INTERPRETACJA WYNIKÓW TESTÓW JEDNOOSIOWEGO ZAGĘSZCZANIA GLEBY

Krzysztof Lejman, Zygmunt Owsiak, Antoni Szewczyk

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Przedstawiono wyniki testów jednoosiowego zagęszczania gleby w warunkach możliwej bocznej rozszerzalności. Badania przeprowadzono w wannie glebowej stosując materiał badawczy o składzie granulometrycznym gliny lekkiej, średniej i ciężkiej przy dwóch wilgotnościach. Wartości nacisków krytycznych wyznaczano opisywaną w literaturze metodą standardową oraz metodą zmodyfikowaną, opartą na zastosowaniu prostej stycznej do przebiegów eksperymentalnych, uzyskanych przy rosnących wartościach zagęszczeń. Stwierdzono, że wartość nacisku krytycznego wyznaczonego metodą zmodyfikowaną jest niższa od tego, jaki uzyskuje się przy użyciu metody standardowej.

Słowa kluczowe: gleba, nacisk krytyczny, porównanie metod

Wstęp

Obserwowany wzrost poziomu obciążeń przekazywanych na glebę mechanizmami jezdnych maszyn i pojazdów rolniczych stwarza wiele zagrożeń powodowanych przekroczeniem naturalnej jej wytrzymałości. Metodę wyznaczania tej wytrzymałości w warunkach polowych przedstawili Dawidowski i Koolen [1994]. Przy jej zastosowaniu wartości prognozowanych nacisków krytycznych są jednak wyższe od nacisków prekonsolidacyjnych [Dawidowski i in. 2001]. Niższe wartości nacisków krytycznych można uzyskać stosując metodę przedstawioną przez Lejmana [2009]. Metoda ta oparta jest na powtarzalności przebiegów krzywych konsolidacji, jakie uzyskuje się przy powtórnych zagęszczeniach.

Celem badań było wyznaczenie różnic pomiędzy wartościami nacisków krytycznych, wyznaczonymi w warunkach możliwej bocznej rozszerzalności gleby, metodą standardową i metodą polegającą na wyznaczeniu równoległych do siebie stycznych do kilku przebiegów eksperymentalnych, zarejestrowanych przy różnych wartościach naprężeń prekonsolidacyjnych.

Zakres, metody i warunki badań

Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych. Doświadczalny materiał glebowy o składach granulometrycznych (BN-79/9180-11) gliny lekkiej, średniej i ciężkiej (tab. 1) umieszczano w wannie glebowej (rys. 1). Stosowano dwa poziomy wilgotności (tab. 2), które uzyskiwano pobierając każdą z gleb w dwóch różnych terminach. Wyższy poziom wilgotności dobrano w taki sposób, żeby odpowiadał w przybliżeniu wilgotności odpowiadającej granicy plastyczności.

Tabela 1. Charakterystyka doświadczalnego materiału glebowego
Table 1. Characteristics of experimental soil material

Gatunek gleby	Udział grupy frakcji [%]			Gęstość właściwa skieletu [g·cm ⁻³]	Granica plastyczności [%]	Granica płynności [%]	Zawartość próchnicy [%]
	Piasek	Pył	II				
Gлина lekka	63,0	9,0	27,0	2,61	16,00	24,00	1,61
Gлина średnia	44,0	16,0	39,0	2,60	18,00	26,00	2,28
Gлина ciężka	20,0	22,0	57,0	2,63	22,00	42,00	2,55

Źródło: opracowanie własne

Tabela 2. Parametry charakteryzujące stan gleb dla kolejnych poziomów zagęszczenia*
Table 2. Parameters that characterise soil conditions for successive compaction levels*

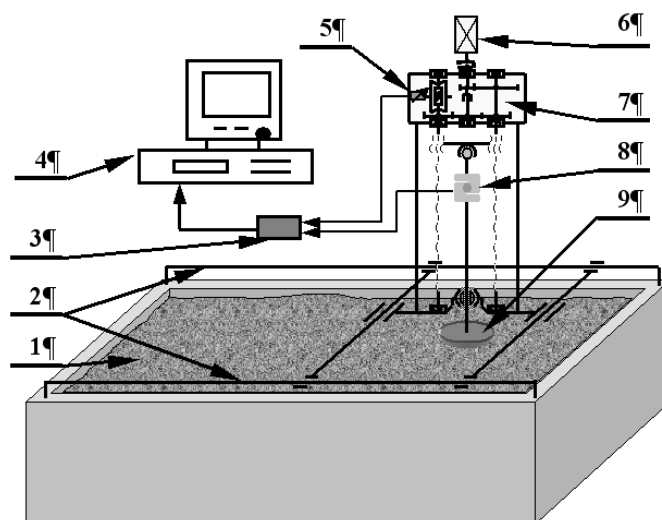
Gatunek gleby	Wilgotność m/m [%]	Poziom zagęszczenia	Gęstość objętościowa [g·cm ⁻³]	Wytrzymałość na ścinanie [kPa]	Zwiężłość [kPa]
gлина lekka	w1=13,6 σ=(0,8)	Z1	1,48 (0,01)	37 (15)	453 (43)
		Z2	1,51 (0,04)	53 (13)	786 (79)
		Z3	1,75 (0,01)	90 (18)	1184 (179)
		Z4	1,83 (0,03)	105 (18)	1375 (229)
	w2=15,4 σ=(0,4)	Z1	1,72 (0,06)	38 (8)	544 (51)
		Z2	1,79 (0,03)	52 (6)	685 (69)
		Z3	1,82 (0,04)	70 (12)	1181 (178)
		Z4	1,85 (0,03)	85 (14)	1433 (239)
gлина średnia	w1=16,4 σ=(0,8)	Z1	1,51 (0,02)	33 (15)	403 (38)
		Z2	1,55 (0,05)	51 (18)	720 (72)
		Z3	1,65 (0,09)	58 (16)	788 (119)
		Z4	1,77 (0,05)	75 (16)	883 (147)
	w2=18,5 σ=(0,4)	Z1	1,51 (0,05)	36 (10)	535 (50)
		Z2	1,51 (0,02)	46 (2)	652 (65)
		Z3	1,63 (0,01)	65 (8)	851 (129)
		Z4	1,75 (0,01)	76 (12)	1033 (172)
gлина ciężka	w1=20,1 σ=(0,6)	Z1	1,55 (0,05)	39 (8)	327 (31)
		Z2	1,60 (0,04)	52 (7)	440 (44)
		Z3	1,66 (0,04)	63 (8)	600 (91)
		Z4	1,70 (0,06)	65 (6)	660 (110)
	w2=23,9 σ=(0,5)	Z1	1,75 (0,04)	36 (6)	409 (38)
		Z2	1,80 (0,02)	55 (10)	534 (53)
		Z3	1,88 (0,01)	59 (5)	607 (92)
		Z4	1,99 (0,04)	65 (11)	670 (112)

*W nawiasach podano odchylenia standardowe pomiarów

Źródło: opracowanie własne

Umieszczoną w wannie glebę w stanie usypowym zagęszczano wałem gładkim o masie 120 kg i średnicy 30 cm. Szerokość wału odpowiadała szerokości wanny glebowej i wynosiła 105 cm. Stosowano 4 poziomy zagęszczenia (Z1-Z4), które uzyskano stosując różne krotności wałowań. Kolejne poziomy odpowiadały 2, 4, 8 i 12 przejazdom wału. Dla każdego poziomu zagęszczenia, w wydzielonym wcześniej sektorze wanny o długości 50 cm, przeprowadzano testy jednoosiowego zagęszczania gleby oraz pomiary parametrów charakteryzujących stan gleby. Zwięzłość mierzono sondą stożkową o kącie wierzchołkowym 60° i polu podstawy 3 cm^2 , przy prędkości penetracji $3 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Wytrzymałość na ścinanie mierzono sondą skrzydełkową VANE-H60. Gęstość wyznaczano przy użyciu standardowej metodyki. Parametry te wyznaczano w sześciu powtórzeniach, a ich wartości średnie wraz z odchyleniami standardowymi przedstawiono w tabeli 2. Po przeprowadzeniu pomiarów w wydzielonym sektorze, przeprowadzano zagęszczanie gleby w całej wannie glebowej i powtarzano pomiary przy kolejnym poziomie zagęszczenia w następnym sektorze.

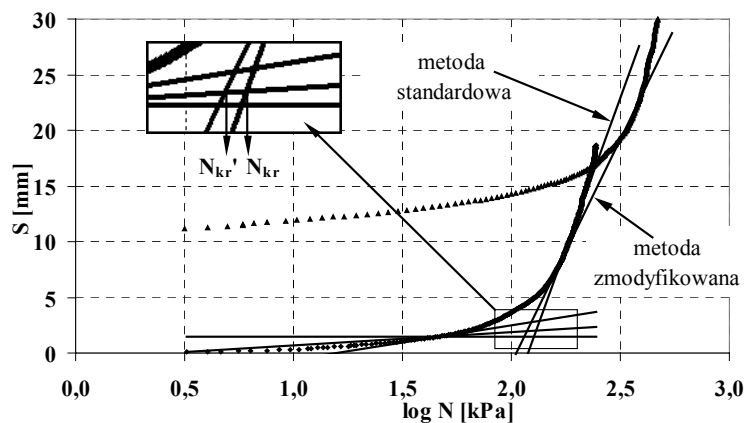
Testy jednoosiowego zagęszczania przeprowadzano w czterech powtórzeniach przy użyciu stanowiska przedstawionego na rys. 1. Do zagęszczania stosowano płytkę kołową o średnicy 100 mm. Prędkość zagęszczania wynosiła $0,3 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. W trakcie zagęszczania rejestrowano z częstotliwością próbkowania 20 Hz przemieszczenie płytki (S) i nacisk (N). Błędy pomiaru tych wielkości wynosiły odpowiednio 0,5 mm i 2 kPa. W celu uniknięcia wpływu warunków brzegowych oraz wpływu sąsiedniego pomiaru, testy przeprowadzano w miejscach oddalonych od siebie o nie mniej niż 20 cm i nie mniej niż 15 cm od krawędzi wanny.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – wanna glebowa, 2 – prowadnice, 3 – złącze pomiarowe, 4 – komputer, 5 – przetwornik drogi, 6 – silnik elektryczny, 7 – zespół przekładni, 8 – przetwornik siły, 9 – płytka pomiarowa

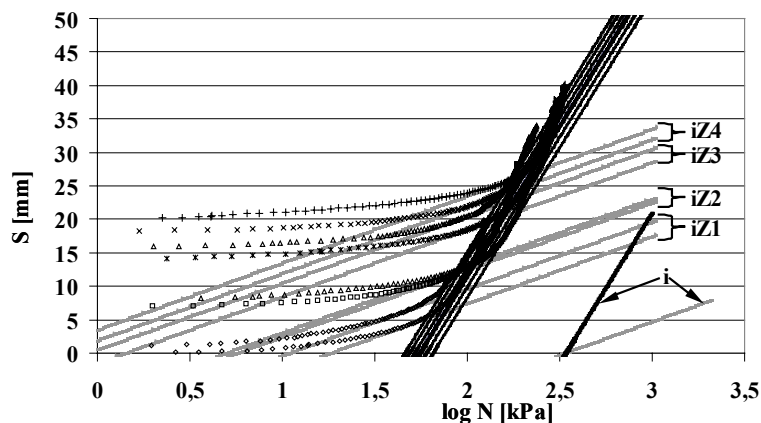
Fig. 1. Measurement setup layout: 1 – soil tub, 2 – guides, 3 – measurement connector, 4 – computer, 5 – route transducer, 6 – electric motor, 7 – block of transmission gears, 8 – force transducer, 9 – measurement plate

Przebiegi eksperymentalne przemieszczenia płytki (S) w funkcji logarytmu nacisku (N) poddano procedurze wygładzania przy użyciu filtra H 4253H w module „SZEREGI CZASOWE I PROGNOZOWANIE” programu STATISTICA 8.0. Nacisk krytyczny wyznaczano metodą standardową [Dawidowski i Koolen 1994, Dawidowski i in. 1998, Dawidowski i in. 2001] oraz metodą zmodyfikowaną [Lejman 2009]. Różnica pomiędzy metodami (rys. 2) polegała na tym, że w metodzie standardowej prosta aproksymująca przebieg eksperymentalny w zakresie odkształceń pierwotnych wykreślana jest w punkcie o najmniejszej krzywiznie tego przebiegu, natomiast w metodzie zmodyfikowanej wykreślana jest jako styczna do przebiegów uzyskiwanych przy różnych wartościach nacisków prekonsolidacyjnych. Odcięte punktów przecięcia obu prostych z dwusieczną kąta utworzonego przez prostą poziomą i styczną wykreśloną w punkcie o największej krzywiznie przebiegu w zakresie odkształceń wtórnych wyznaczają wartości poszukiwanych nacisków krytycznych. Naciski te wyznaczone metodą standardową i zmodyfikowaną oznaczono na rys. 2 odpowiednio przez (N_{kr}) i (N_{kr}') . W praktyce wyznaczenie jednej stycznej do wszystkich przebiegów zarejestrowanych z powtórzeniami dla różnych wartości nacisków prekonsolidacyjnych jest niemożliwe. Jest to zdeterminowane brakiem powtarzalności parametrów gleby i błędami pomiarowymi, co skutkuje pionowym i poziomym przesunięciem poszczególnych przebiegów. Dlatego, stosując metody numeryczne oparte na zastosowaniu prostej obliczeniowej (i) [Lejman 2009], wyznaczano styczną do każdego przebiegu w taki sposób, żeby spełniony był warunek równoległości wszystkich stycznych przy zachowaniu minimalnej odległości pomiędzy nimi (rys. 3).



Rys. 2. Interpretacja graficzna wyznaczania nacisku krytycznego metodami standardową (N_{kr}) i zmodyfikowaną (N_{kr}')

Fig. 2. Graphical interpretation for determining critical pressure with the standard method (N_{kr}) and the modified method (N_{kr}')



Rys. 3. Położenie prostej obliczeniowej (i) i równoległych do niej stycznych do przebiegów eksperymentalnych (iZ1-iZ4) przed iteracją — i po iteracji —

Fig. 3. Position of analytical straight line (i) and parallel to it tangents to experimental curves (iZ1-iZ4) - before and after iteration -

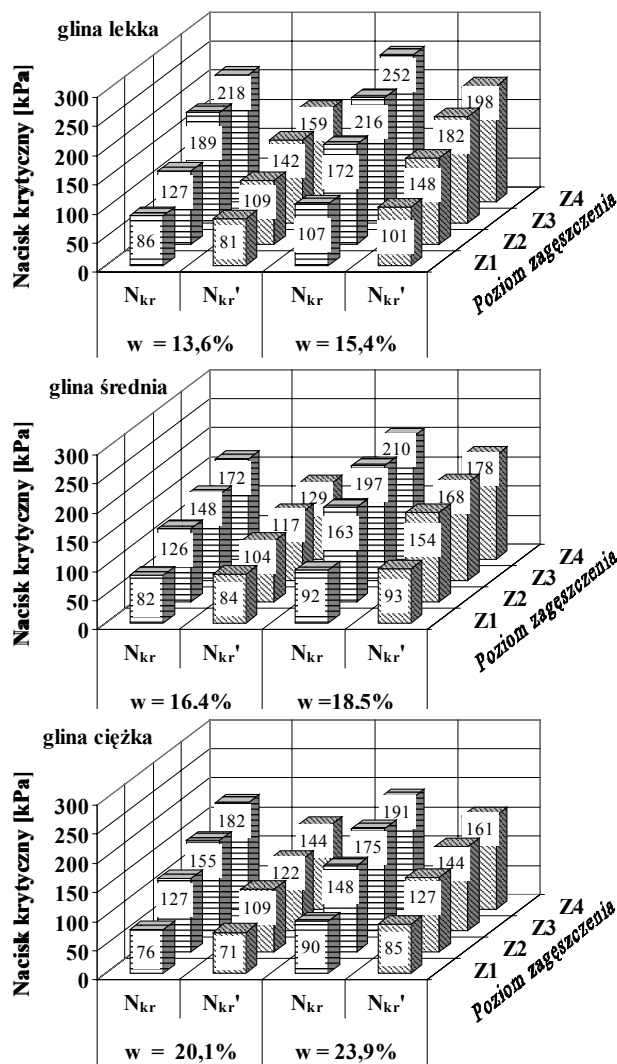
Wyniki badań

Zgodnie z oczekiwaniami, niezależnie od zastosowanej metody, naciski krytyczne rosną wraz ze wzrostem poziomu zagęszczenia gleby (rys. 4). Przy zastosowaniu takiej samej techniki zagęszczania, naciski te rosną również przy wzroście wilgotności i spadku zawartości frakcji spławialnych w glebie, co potwierdza wyniki badań uzyskanych wcześniej przez innych autorów [Gregory i in. 2006; Imhoff i in. 2004].

Stwierdzono, że naciski krytyczne, obliczone przy użyciu metody polegającej na wyznaczeniu równoległych do siebie stycznych do kilku przebiegów eksperymentalnych, zarejestrowanych przy różnych wartościach naprężeń prekonsolidacyjnych (N_{kr}^*), są, w przeważającej większości przypadków, niższe od tych, które uzyskuje się przy zastosowaniu metody standardowej (N_{kr}), niezależnie od gatunku gleby, jej wilgotności i poziomu zagęszczenia. Jedynie w przypadku najniższego poziomu zagęszczenia (Z1) gliny lekkiej sytuacja ta była odwrotna, przy czym różnice uzyskanych nacisków były niewielkie i nie przekraczały 2 kPa, co jest wartością równą błędowi pomiaru nacisku. Największą różnicę, (59 kPa) pomiędzy naciskiem wyznaczanym metodą standardową i zmodyfikowaną, zaobserwowano dla czwartego poziomu zagęszczenia gleby gliniastej lekkiej. Stwierdzono również, że różnice w obserwowanych naciskach rosną wraz ze wzrostem poziomu zagęszczenia, niezależnie od gatunku gleby i jej wilgotności (rys.5b). Na obserwowane różnice nie wpływają natomiast wilgotność (rys.5a) i gatunek gleby (rys. 5c).

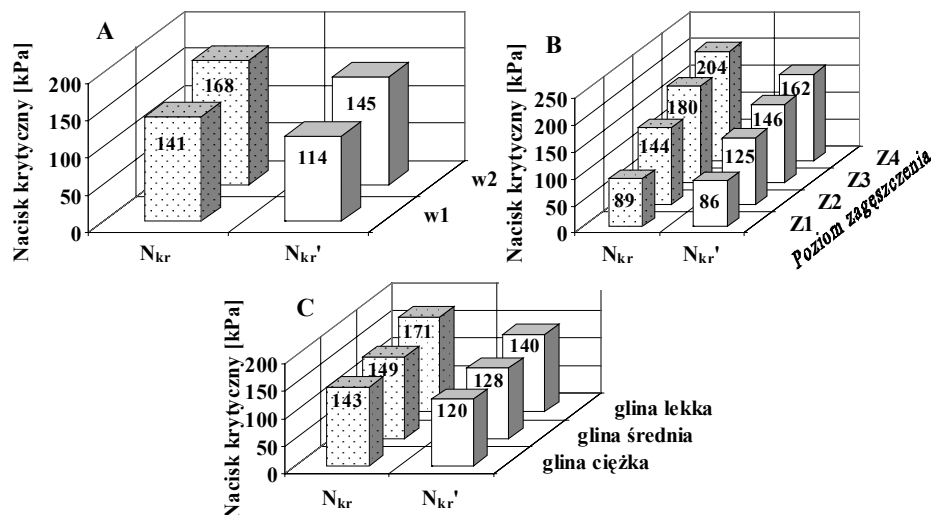
W celu oceny statystycznej omawianych tendencji przeprowadzono test wieloczynnikowej analizy wariancji z powtórzeniami ANOVA typu 2x3x2x3. Dla przyjętego poziomu prawdopodobieństwa $\alpha=0,05$ potwierdzono istotny wpływ zastosowanej metody na wartości obliczonych nacisków krytycznych (tab. 3). Na obserwowane różnice, pomiędzy wyznaczonymi naciskami, wpływa poziom zagęszczenia, o czym informuje istotne współ-

działanie metody i poziomu zagęszczenia. Brak istotnych interakcji pomiędzy metodą i wilgotnością oraz metodą i gatunkiem gleby sugerują, że gatunek i wilgotność gleby nie wpływają istotnie na obserwowane różnice pomiędzy wartościami nacisków krytycznych wyznaczanych porównywanymi metodami.



Rys. 4. Wartości nacisków krytycznych wyznaczone metodami standardową (N_{kr}) i zmodyfikowaną (N_{kr}')

Fig. 4. Critical pressure values determined using the standard method (N_{kr}) and the modified method (N_{kr}')



Rys. 5. Wpływ wilgotności gleby (a), poziomu zagęszczenia (b) i gatunku gleby (c) na średnie wartości nacisków obliczonych metodami standardową (N_{kr}) i zmodyfikowaną (N_{kr}')
 Fig. 5. The impact of soil humidity (a), compaction level (b) and soil type (c) on mean values of pressure, computed using the standard (N_{kr}) method and the modified (N_{kr}') method

Tabela 3. Wyniki testu analizy wariancji*
 Table 3. Variance analysis test results

Źródło zmienności	Liczba stopni swobody	Wartość funkcji testowej	Poziom istotności
Efekt główny			
Metoda	1	52,647	0,0001
Gatunek gleby	2	17,499	0,0001
Wilgotność	1	72,474	0,0001
Poziom zagęszczenia	3	149.018	0,0001
Współdziałania			
Metoda – gat. Gleby	2	0,911	0,4039
Metoda – wilgotność	1	0,265	0,6126
Metoda – poziom zag.	3	6,590	0,0003
Gat. Gleby - wilgotność	2	3,133	0,0461
Gat. Gleby – poziom zag.	6	2,024	0,0652
Wilgotność – poziom zag.	3	2,061	0,1073

*Pogrubioną czcionką oznaczono czynniki istotne na poziomie prawdopodobieństwa $\alpha=0,05$

źródło: obliczenia własne

Wnioski

1. Wartości nacisków krytycznych, obliczone przy użyciu metody polegającej na wyznaczeniu równoległych do siebie stycznych do kilku przebiegów eksperymentalnych zarejestrowanych przy różnych wartościach naprężeń prekonsolidacyjnych, są, w przeważającej większości przypadków, niższe od tych, które uzyskuje się przy zastosowaniu metody standardowej, niezależnie od gatunku gleby, jej wilgotności i poziomu zagęszczenia.
2. Wzrost poziomu zagęszczenia gleby, niezależnie od jej gatunku i wilgotności, powoduje istotne statystycznie zwiększenie różnic pomiędzy wartościami nacisków krytycznych wyznaczanych metodami standardową i zmodyfikowaną.
3. Gatunek i wilgotność gleby nie wpływają istotnie na obserwowane różnice w wartościach nacisków krytycznych wyznaczanych obydwoma metodami.

Bibliografia

- Dawidowski J. B., Koolen A. J.** 1994. Computerized determination of the preconsolidation stress in compaction testing of field core samples. *Soil & Tillage Res.* 31. s. 277-282.
- Dawidowski J. B., Śnieg M., Błażejczak D.** 1998. Preliminary studies on determination of soil precompaction stress from strain-stress relationship. In: *AgENG Oslo 98 International conference on agricultural engineering, 24-27 August, Oslo, Part 2.* s. 846-847.
- Dawidowski J. B., Morrison J. E., Śnieg M.** 2001. Measurement of Soil Layer Strength with Plate Sinkage and Uniaxial Confined Methods. *Transaction of the ASAE.* Vol. 44(5). s. 1059-1064.
- Gregory A.S., Whalley W.R., Watts C.W., Bird N.R.A., Hallett P.D., Whitmore A.P.** 2006. Calculation of the compression index and precompression stress from soil compression test data. *Soil & Tillage Res.* 89. s. 45-57
- Imhoff S., da Silva A.P., Fallow D.** 2004. Susceptibility to compaction, load support capacity, and soil compressibility of Hapludox. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68. s. 17-24.
- Lejman K.** 2009. Wyznaczanie nacisków krytycznych na podstawie wielokrotnych testów jednoosiowego zagęszczania gleby. *Inżynieria Rolnicza* 1(119). Kraków. s. 307-314.

INTERPRETATION OF TEST RESULTS FOR ONE-AXIAL SOIL COMPACTION

Abstract. The paper presents test results for one-axial soil compaction in the conditions of possible side expansion. The tests were carried out in soil tub using test material with grain composition of light, medium and heavy clay, for two humidity values. Critical pressure values were determined using the standard method and the modified method described in literature, based on the use of straight line tangent to experimental curves, obtained for increasing compaction values. It has been observed that the value of critical pressure determined with the modified method is lower than that obtained using the standard method.

Key words: soil, critical pressure, comparison of methods

Adres do korespondencji:

Krzysztof Lejman; e-mail: krzysztof.lejman@up.wroc.pl

Instytut Inżynierii Rolniczej

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

ul. Chełmońskiego 37/41

51-630 Wrocław