

WPŁYW SPOSOBU ZAGĘSZCZANIA GLEBY NA PRZEBIEG KRZYWYCH DOŚWIADCZALNYCH ORAZ WYZNACZANĄ WARTOŚĆ JEJ NAPRĘŻENIA GRANICZNEGO

Jarosław Wojciech

*Katedra Inżynierii Systemów Agrotechnicznych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*

Marek Śnieg

*Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*

Streszczenie. W artykule przedstawiono cztery sposoby zagęszczania modelowych próbek glebowych, podczas wyznaczania naprężenia granicznego gleby. Wyróżniono powszechny „stary” oraz zmodyfikowany „nowy” sposób pomiaru, a także uwzględniono występowanie możliwej i ograniczonej bocznej rozszerzalności. Badania przeprowadzono na glinie średniej, poddanej zagęszczaniu w metalowych cylindrach na maszynie wytrzymałościowej Instron 5582. Wyniki doświadczenia przedstawiono na wykresach krzywych odkształcenia gleby w funkcji nacisku wykazując, że w zmodyfikowanym sposobie nie występuje etap „dopasowania się” stempla do powierzchni próbki, przy przejściu z formowania pierwotnego w zagęszczenie wtórne. Miało to swoje odzwierciedlenie w wyznaczonych wartościach naprężenia granicznego gleby.

Słowa kluczowe: gleba, ugniatanie, zagęszczenie, naprężenie graniczne

Wstęp i cel pracy

Do podstawowych wskaźników określających podatność gleb na zagęszczenie zalicza się naprężenie graniczne gleby, które jest miarą naturalnej wytrzymałości gruntu. Odzwierciedla ono historię wpływu obciążeń na więzi wytworzone między cząsteczkami wody, a cząsteczkami fazy stałej. Po przekroczeniu wartości naprężenia granicznego następuje zniszczenie naturalnych powiązań i rozpoczyna się proces chaotycznego przemieszczania cząstek [Dawidowski 1995]. W badaniach Śniega [2005] potwierdzono, że naprężenie graniczne jest ściśle powiązane ze stanem gleby i może być używane jako czuły wskaźnik podatności gleby na ugniatanie.

Dane niezbędne do wyznaczenia naprężenia granicznego uzyskuje się najczęściej w laboratorium, w procesie jednoosiowego zagęszczania gleby, wykorzystując do tego celu maszynę wytrzymałościową (prasę) lub penetrometr glebowy [Dawidowski 1998]. Metoda jednoosiowego odkształcania gleby, polega na ściskaniu próbki w kształcie walca wzdłuż jej osi wzdłużnej i stosowana jest szeroko w inżynierii budowlanej do badań procesów osiadania gruntów. Coraz częściej test jednoosiowy znajduje również zastosowanie w badaniach procesów ugniatania gleby. Ściskanie próbki może się odbywać w warunkach możliwej lub ograniczonej rozszerzalności bocznej [Dawidowski 1995].

Metody wyznaczania (obliczania) naprężenia granicznego opierają się na analizie przebiegu zależności parametru charakteryzującego stan zagęszczenia gleby (odkształcenie) od logarytmu wywieranego nacisku. Należy tu wymienić metody graficzne i statystyczne wykorzystujące analizę regresji [Błazejczak 2010]. Do metod graficznych zalicza się przede wszystkim najczęściej wykorzystywaną na świecie metodę Casagrande, lub opracowane na jej podstawie metody klasyczna, Schmertmanna. Charakterystykę wybranych metod przedstawili Izbicki i Stróżyk [2006]. Dotychczas nie opracowano standardowej metody wyznaczania naprężenia granicznego. Używane są zarówno różne metody odkształcania próbek, jak i wyznaczania wartości naprężenia granicznego, na bazie uzyskiwanych krzywych doświadczalnych [Dawidowski i in. 2001]. Na wyrazistość krzywizny krzywej doświadczalnej („kolano”) w czasie przejścia z zakresu naprężeń wtórnych w pierwotne może mieć wpływ sposób przeprowadzenia testu zagęszczenia, czyli możliwość wystąpienia rozszerzalności bocznej gleby w trakcie jej obciążania [Mosaddeghi i in. 2006; Śnieg 1999].

Celem niniejszej pracy było porównanie czterech sposobów zagęszczania gleby podczas wyznaczania jej naprężenia granicznego. Porównania dokonano zarówno pod kątem przebiegu krzywych zagęszczenia gleby, jak i wyznaczonych wartości naprężenia granicznego.

Metodyka badań

Badania prowadzono na glebie pobranej z pola położonego w miejscowości Skarbimierzyce (województwo zachodniopomorskie). Analizę składu granulometrycznego gleby wykonano w Katedrze Erozji i Rekultywacji Gleby. Wyniki badań wykazały, że pobrana gleba była gliną średnią (wg Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego). Jej charakterystykę przedstawiono w tabeli 1.

Wilgotność gleby wykorzystywanej do badań wynosiła 13%. Oznaczono ją za pomocą metody suszarkowo-wagowej na podstawie PN-88/B-04481 [1988].

W badaniach doświadczalnych porównywano cztery sposoby zagęszczania gleby, podczas wyznaczania jej naprężenia granicznego. Modelowe próbki glebowe poddawane były formowaniu wstępnemu i następnie zagęszczeniu wtórnemu. Formowanie wstępne wynosiło odpowiednio: 50, 100, 150, 200, 250 kPa. Natomiast zagęszczenie wtórne prowadzono do osiągnięcia nacisku 500 kPa.

Tabela 1. Charakterystyka badanej gleby wg Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego [1989]

Table 1. Characteristics of the researched soil according to the Polish Society of Soil Science [1989]

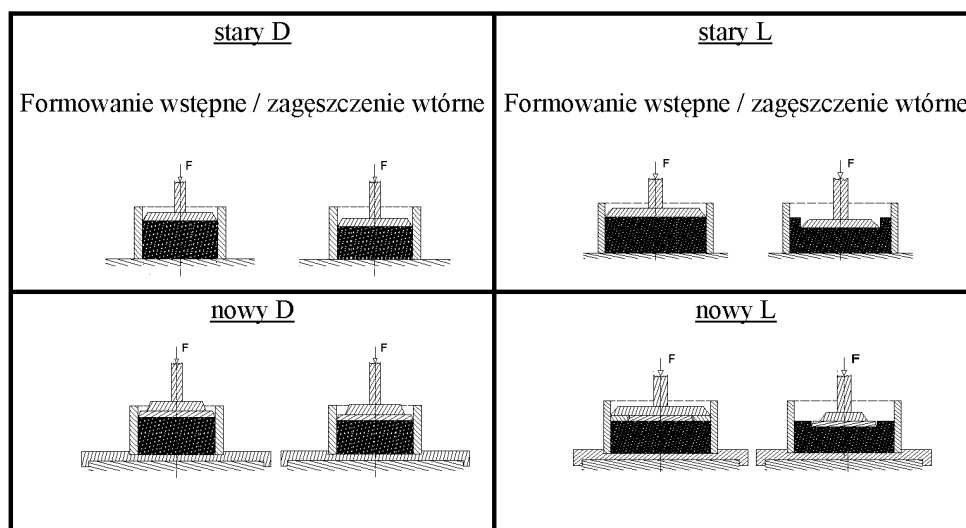
Skarbimierz	Gatunek gleby	Frakcje wg klasyfikacji PTG								
	gs (głina średnia)	>1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,005	0,005-0,002	<0,002
		%								
		5,44	6,38	11,75	23,13	11,75	8,00	9,00	8,00	22,00

Źródło: opracowanie własne

Sposoby te różniły się między sobą wykorzystaniem w doświadczeniach zestawu dwóch metalowych płytek, a także występowaniem możliwej, lub ograniczonej rozszerzalności bocznej gleby (tab. 2). Pierwsza (górną) płytka miała na celu ograniczenie naruszania powierzchni gleby w czasie przejścia stempla z formowania wstępnego w naprężenie wtórne. Druga (dolną) zapewniła współosiowe ustawienie cylindra względem stempla zagęszczającego.

Tabela 2. Charakterystyka sposobów zagęszczenia modelowych próbek glebowych

Table 2. Characteristics of the compaction methods of the model soil samples



Źródło: opracowanie własne

W sposobach „starych” wykorzystano tylko cylindry i dwa rodzaje stempli - o średnicach: 49 mm (cylindry D o średnicy 50 mm; formowanie wstępne i wtórne zagęszczenie) i 99 mm (cylindry L o średnicy 100 mm; formowanie wstępne)/49 mm (cylindry L, wtórne zagęszczenie). W „nowych” sposobach dodatkowo występują metalowe płytki o średnicach

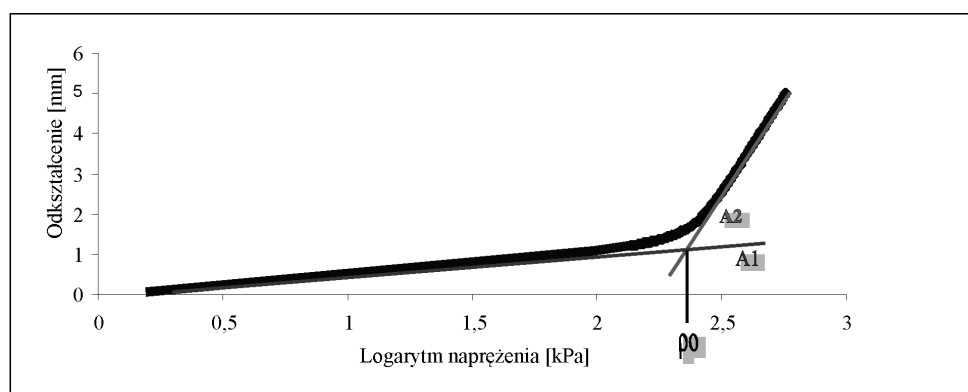
odpowiadających średnicom stempli zagęszczających. W sposobie nowym L zastosowano podkładkę dzieloną.

Przygotowanie próbek polegało na odważeniu na wadze ustalonej masy gleby i wysypianiu jej do cylindrów. Masy gleby dla cylindrów użytych w sposobach D i L wynosiły odpowiednio: 120 g i 400 g.

Doświadczenie wykonano przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Instron 5582. Podczas wywierania nacisku na glebę prowadzono ciągłą rejestrację nacisku i przemieszczenia. Obróbkę danych wykonano w arkuszu kalkulacyjnym Excel 2003.

Za pomocą regresji liniowej wyznaczono napężenie graniczne p_0 gleby. Wartość p_0 odczytano z osi rzędnych (ryc.1), na którą rzutowano punkt przecięcia dwóch linii:

- linii regresji liniowej odkształceń wtórnych gleby (linia A₁), odkształcenie 0 – 0,5 mm,
- linii regresji liniowej odkształceń pierwotnych gleby (linia A₂), odkształcenie 2–5 mm.



Rys.1. Metoda wyznaczania napężenia granicznego gleby metodą regresji liniowej

Fig. 1. Method of determining ultimate bearing capacity with the line regression method

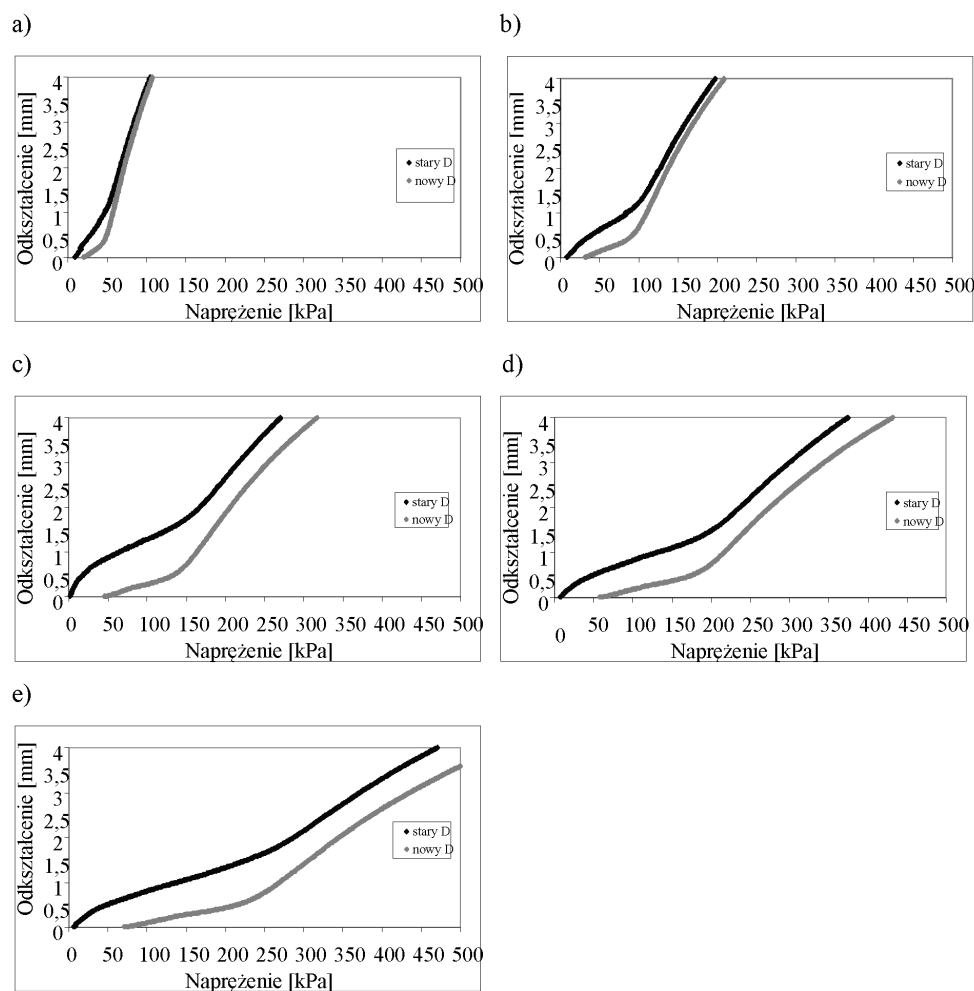
Uzyskane wyniki badań poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem programu STATISTICA 10.0, a także przeprowadzono test t-Studenta na poziomie istotności $\alpha=0,05$.

Wyniki badań

Na poniższych rysunkach zamieszczono wyniki badań wtórnego zagęszczania modelowych próbek glebowych dla następujących naprężeń formowania: 50, 100, 150, 200, 250 kPa. Rysunek 2a, b, c, d, e przedstawia zależność odkształcenia gleby od wywieranego na nią nacisku jednostkowego.

Przebieg odkształcenia próbek glebowych w funkcji naprężenia zmienia się wraz ze sposobem zagęszczenia (stary D i nowy D) i jest zależny od naprężenia formującego. Na rycinie 2a zaobserwowano, że przy naprężeniu formującym 50 kPa następuje szybszy przyrost odkształcenia w zależności od wywieranego nacisku w przypadku sposobu starego D. Krzywa ta jest przesunięta w lewą stronę, co oznacza, że wyznaczane naprężenia graniczne

osiągają mniejsze wartości. Podobną zależność zaobserwowano na wykresach przy wyższych naprężeniach formujących (ryc. 2b, c, d, e). Na kolejnych wykresach przesunięcie krzywych względem siebie wzrasta.

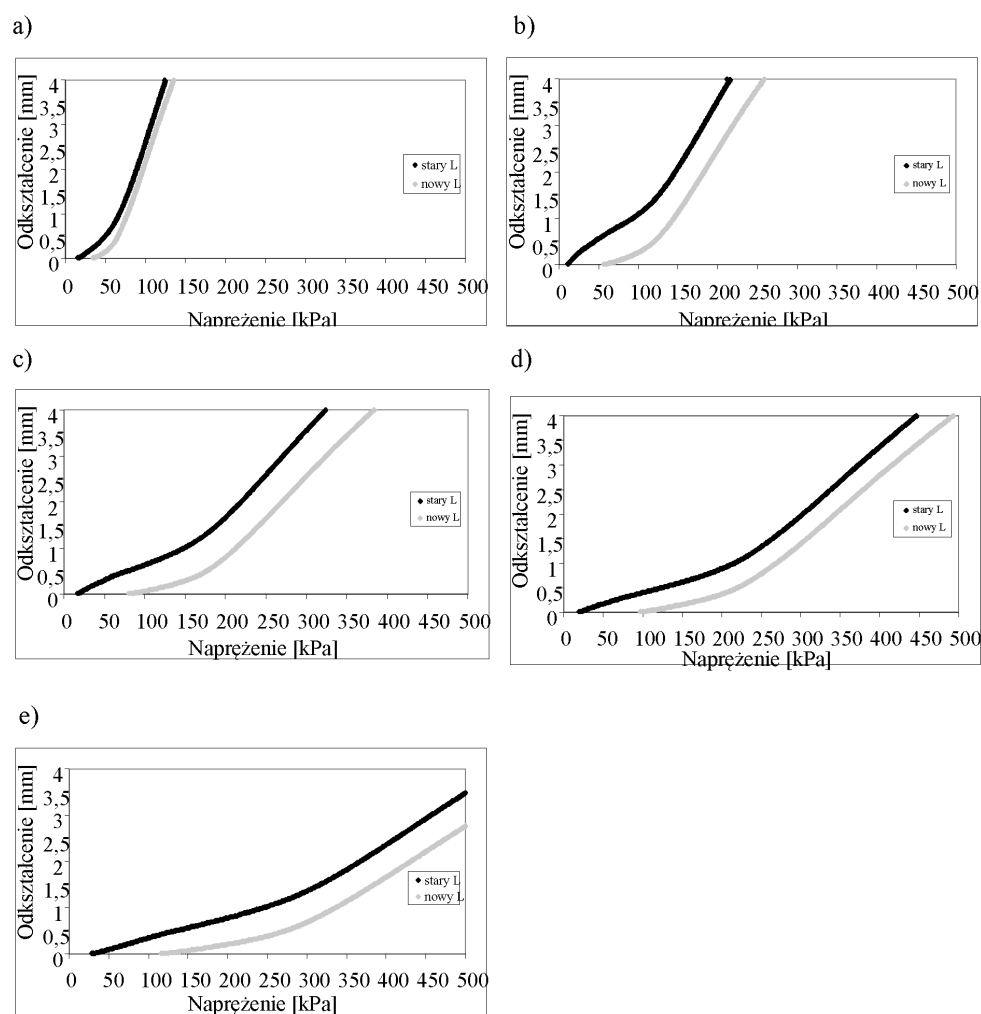


Rys. 2. Przebieg procesu wtórnego zagęszczania gleby, w warunkach ograniczonej bocznej rozszerzalności, dla próbek formowanych pod naciskiem: a) 50 kPa, b) 100 kPa, c) 150 kPa, d) 200 kPa, e) 250 kPa

Fig. 2. The course of the soil compaction process in the conditions of limited side expandability for samples formed under the following pressure: a) 50 kPa, b) 100 kPa, c) 150 kPa, d) 200 kPa, e) 250 kPa

Począwszy od naprężenia formującego 50 kPa na rysunku 2a w sposobie nowym D występuje „kolano”, gdzie w starym D występuje najpierw moment dopasowania się stempla do powierzchni próbki gleby. Jest to bardziej widoczne przy większych naprężeniach formowania (rys. 2b, c, d, e).

Na rysunku 3a, b, c, d, e przedstawiono wykresy dla próbek modelowych zagęszczanych w warunkach możliwej bocznej rozszerzalności gleby.

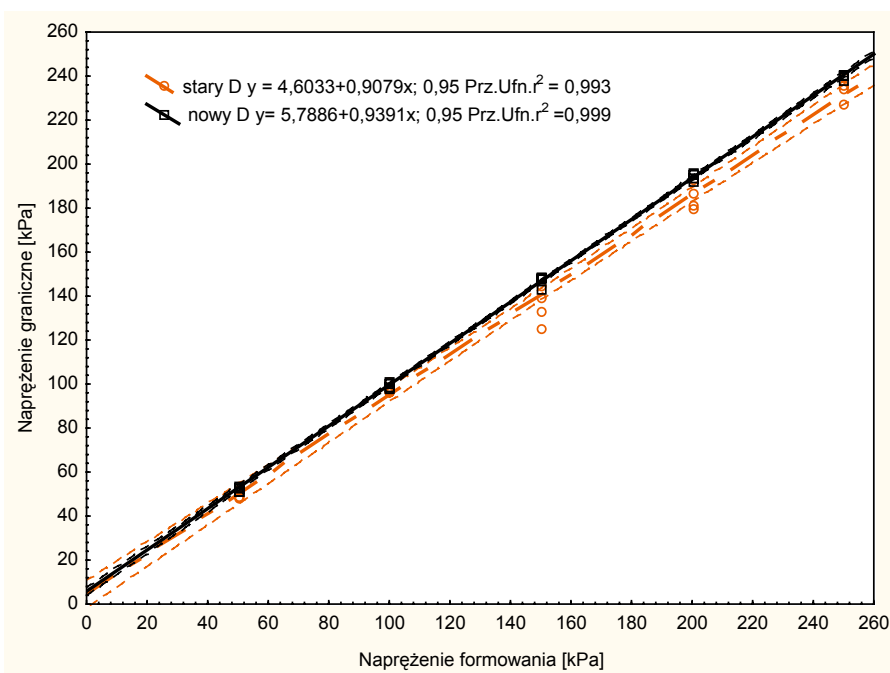


Rys. 3. Przebieg procesu wtórnego zagęszczania gleby, w warunkach możliwej bocznej rozszerzalności, dla próbek formowanych pod naciskiem : a) 50 kPa, b) 100 kPa, c) 150 kPa, d) 200 kPa, e) 250 kPa

Fig. 3. The course of the soil compaction process in the conditions of possible side expandability for samples formed under the following pressure: a) 50 kPa, b) 100 kPa, c) 150 kPa, d) 200 kPa, e) 250 kPa

Wybór sposobu pomiaru miał również swoje odzwierciedlenie w wynikach badań prowadzonych w warunkach możliwej bocznej rozszerzalności gleby. Uzyskiwane wyniki przebiegu zależności odkształcenia od wywieranego naprężenia kształtowały się podobnie, jak wyniki uzyskiwane w warunkach ograniczonej bocznej rozszerzalności gleby.

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wyniki wyznaczanych naprężeń granicznych gleby oraz ich ocenę statystyczną.

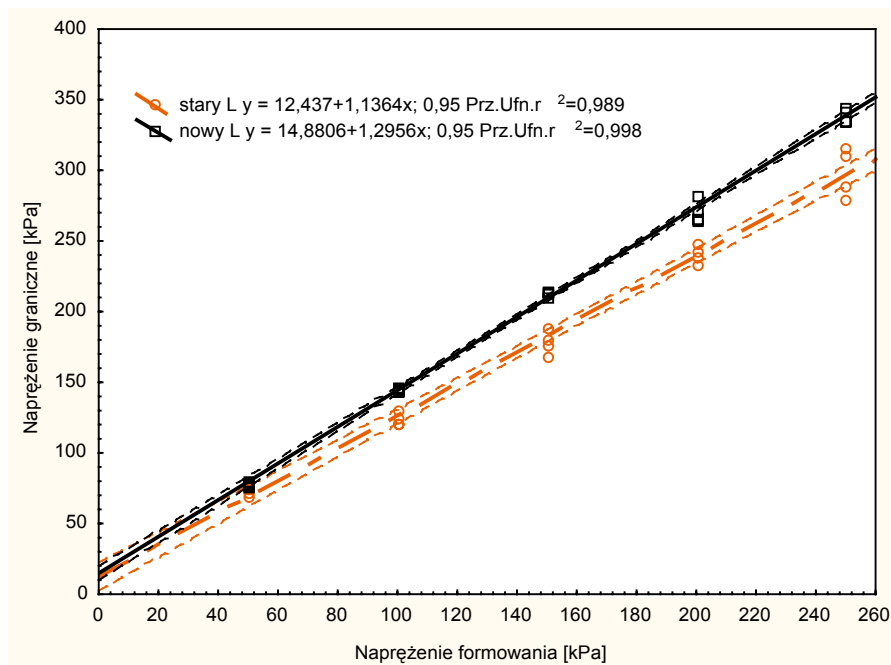


Rys. 4. Zależności naprężeń granicznych, od naprężenia formowania dla próbek glebowych odkształcanych w warunkach ograniczonej bocznej deformacji gleby z prędkością $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ oraz ich ocena statystyczna

Fig. 4. Relations of ultimate bearing capacities with forming stress for soil samples deformed in the conditions of the limited side soil deformation at the speed of $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ and their statistical assessment

Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczonego naprężenia granicznego gleby (rys. 4 i 5) stwierdzono, że większe wartości uzyskano zagęszczając modelowe próbki glebowe „nowymi” sposobami.

Po przeanalizowaniu wartości współczynników kierunkowych i wyrazów wolnych równań regresji (rys. 4) można stwierdzić, iż bardziej czuły jest sposób nowy (większy współczynnik kierunkowy), natomiast bardziej dokładny sposób stary (mniejszy wyraz wolny) [Gawęcki i Wagner 1988].



Rys. 5. Zależności naprężeń granicznych, od napężenia formowania dla próbek glebowych odkształcanych w warunkach możliwej bocznej deformacji gleby z prędkością $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ oraz ich ocena statystyczna

Fig. 5. Relations of ultimate bearing capacities to forming stress for soil samples deformed in the conditions of the possible side soil deformation at the speed of $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ and their statistical assessment

Po przeanalizowaniu wartości współczynników kierunkowych i wartości wyrazów wolnych (rys. 5) można stwierdzić, że również w tym przypadku bardziej dokładny jest sposób stary. Nowy sposób zagęszczania gleby jest bardziej czuły. Przeprowadzony test t-Studenta wykazał istotne różnice pomiędzy porównywanymi sposobami (tabela 3).

Tabela 3. Prawdopodobieństwa (p) statystyki testu t-Studenta uzyskane przy porównaniu prostych regresji przedstawiające zależności pomiędzy porównywanymi sposobami

Table 3. Probabilities (p) of the t-Student test statistics obtained at comparing simple regressions presenting relations between the compared methods

Warianty	Stary – Nowy	
	Współczynniki równania prostej	
	a	b
D	0,0001	0,0912
L	0,0001	0,0001

Źródło: opracowanie własne

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy ich wyników można sformułować następujące wnioski:

1. Sposób przeprowadzania pomiarów miał wpływ na przebieg krzywej zagęszczania gleby – w nowych sposobach nie występował moment dopasowywania się stempla do powierzchni próbki.
2. Wyznaczane wartości naprężenia granicznego gleby na podstawie danych pomiarowych uzyskanych starymi sposobami jej zagęszczenia są mniejsze od wartości naprężenia granicznego wyznaczonego na podstawie danych uzyskanych nowymi sposobami zagęszczenia.
3. Stwierdzono również istotne różnice pomiędzy porównywanymi sposobami zagęszczania gleby pod względem czułości i dokładności porównywanych sposobów.

Bibliografia

- Błażejczak D.** (2010): Prognozowanie naprężenia granicznego w warstwie podornej gleb ugniatanych kołami pojazdów rolniczych. Wydawnictwo ZUT w Szczecinie, ISBN 978-83-7663-050-2.
- Dawidowski J. B.** (1995): Proces ugniatania gleby i metoda prognozowania jej zagęszczenia w zmechanizowanych technologiach prac polowych. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie, Rozprawy, 163, ISSN 0239-6467.
- Dawidowski J.B., Błażejczak D.** (1998): Badania wstępne wpływu prędkości odkształcania na graniczne naprężenia gleby. Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, Poznań, 3, Vol.43, 40-43.
- Dawidowski J.B., Morrison J.E., Śnieg M.** (2001): Measurement of Soil Layer Strength with Plate Sinkage and Uniaxial Confined Methods. Transactions of the ASAE, 44(5), 1-6.
- Gawęcki J., Wagner W.** (1988): Podstawy doświadczalnictwa w nauce o żywieniu i żywności. Akademia Rolnicza w Poznaniu.
- Izbicki R., Stróżyk J.** Wpływ zastosowanej metody interpretacji wyników badań na wartość naprężenia uplastyczniającego σ_y oraz stopnia YSR [on-line]. XXIX Zimowa Szkoła Mechaniki. 2006, [dostęp 20-05-2012]. Dostępny w Internecie: <http://www.teberia.pl/bibliografia.php?a=showarticle&ArticleID=11341>
- Mosaddeghi M.R., Koolen A.J., Hajabbasi M.A., Hemmat A., Keller T.** (2006): Suitability of pre-compression stress as the real critical stress of unsaturated agricultural soils. Biosystems Engineering, Vol.98, 90-101.
- Śnieg M.** (1999): Metody wyznaczania podatności gleby na ugniatanie. Akademia Rolnicza w Szczecinie. Rozprawa doktorska. Maszynopis.
- Śnieg M., Błażejczak D., Tomaszewicz T.** (2005): Porównanie dwóch sposobów wyznaczenia naprężenia granicznego dla warstwy podornej czarnej ziemi pyrzyckiej. Inżynieria Rolnicza Vol. 4(64), 305-310.
- PN-88/B-04481. (1988): Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze (1989): Systematyka Gleb Polski. Roczniki Gleboznawcze, PWN, Warszawa, t. XL, 3/4, 132-133.

INFLUENCE OF THE SOIL COMPACTION METHOD ON THE COURSE OF EXPERIMENTAL CURVES AND ON THE DETERMINED VALUE OF ITS ULTIMATE BEARING CAPACITY

Abstract. Four methods of concentration of model soil samples during determination of ultimate bearing capacity of soil were presented. A popular "old" and a modified "new" method of measuring was singled out and occurrence of a possible and a limited side expandability was included. The research was carried out at medium loam, subjected to compaction in metal cylinders in Instron 5582 testing machine. Results of the experiment were presented on diagrams of soil deformation curves as the function of pressure, proving that in the modified method there is no stage of "adjustment" of a punch to the surface of a sample at the transfer from original forming into secondary compaction. It was reflected in the determined values of ultimate bearing capacity of soil.

Key words: soil, kneading, compaction, ultimate bearing capacity

Adres do korespondencji:

Jarosław Wojciech; e-mail: jwojciech@zut.edu.pl
Katedra Inżynierii Systemów Agrotechnicznych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI 1
71-459 Szczecin