

NAPRĘŻENIE GRANICZNE PRÓBEK GLEBY O NIENARUSZONEJ STRUKTURZE W ZALEŻNOŚCI OD WARUNKÓW ICH ODKSZTAŁCANIA

Dariusz Błazejczak

Instytut Inżynierii Rolniczej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Streszczenie. Badano naprężenie graniczne gleby dla dwóch stanów jej uwilgotnienia – aktualnego i przy potencjale pF 2. Próbkę o średnicach 50 i 100 mm ugniatano dynamicznie w warunkach niemożliwej lub możliwej rozszerzalności bocznej gleby. Stwierdzono, że warunki wstępnego odkształcania próbki nie mają istotnego wpływu na naprężenie graniczne wyznaczone podczas obciążania wtórnego w warunkach możliwej rozszerzalności bocznej gleby. Wykazano także, że sposób realizacji obciążeń wtórnych próbek gleby tj. z możliwą i niemożliwą rozszerzalnością boczną gleby, ma wpływ na wartość wyznaczonego naprężenia granicznego tylko w przypadku próbek o wilgotności odpowiadającej sile ssącej pF 2.

Słowa kluczowe: gleba, ściskanie, naprężenie graniczne

Wstęp i cel

Nadmierne zagęszczenie gleb jest jednym z ważniejszych problemów współczesnego rolnictwa [Hakansson i in. 1995; Van den Akker i in. 2003]. Takie zjawisko występuje zawsze wtedy, gdy zostaje przekroczona wytrzymałość graniczna gleby na ściskanie (zagęszczanie) [Dawidowski 1995]. Wytrzymałość graniczną gleby na ściskanie można scharakteryzować za pomocą naprężenia granicznego. Znajomość naprężenia granicznego gleby pozwala sterować doбором mechanizmów jezdnych, tak aby ich stosowanie nie powodowało nadmiernego jej zagęszczenia [Horn, Fleige 2003; Van den Akker 2004]. Złożoność środowiska glebowego i ciągłe zmiany jego właściwości powodują jednak, że dotychczas nie opracowano standardowej metody wyznaczania tego parametru [Dias, Pierce 1995]. Jego wartość wyznacza się na podstawie danych uzyskiwanych podczas obciążania gleby, analizując przebieg zmian jej odkształcenia jako funkcja wywieranego nacisku. Poszukuje się charakterystycznych zakresów odkształceń gleby, stanowiących punkt wyjścia do zastosowania określonej metody obliczeń. Jest to trudne, ponieważ przebieg krzywej doświadczalnej zależy nie tylko od właściwości gleby lecz także warunków (sposobu) jej odkształcania oraz rodzaju próbek [Horn, Lebert 1994]. Powoduje to podejmowanie kolejnych prób, ukierunkowanych na znalezienie metody obiektywnej, w oparciu o wyniki doświadczeń modelowych.

Badania modelowe prowadzone są na próbkach o naruszonej lub nienaruszonej strukturze, których przygotowanie polega na wstępnym ich odkształcaniu znanym naciskiem, w warunkach niemożliwej (częściej) lub możliwej (rzadziej) rozszerzalności bocznej gleby.

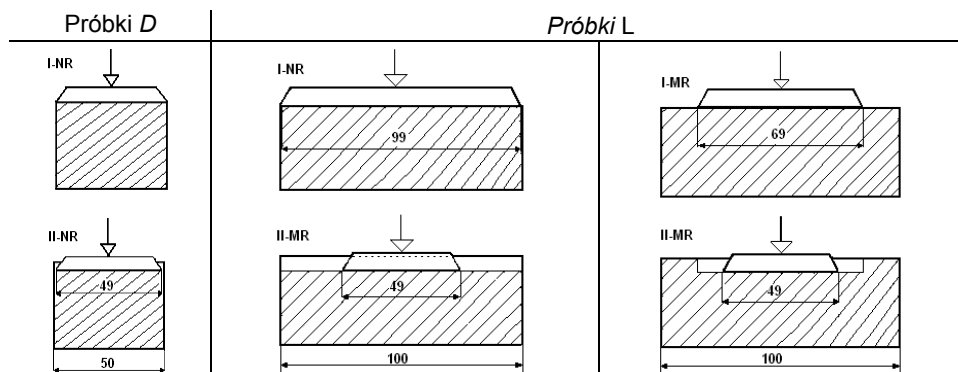
Zauważa się, że obciążanie gleby w warunkach możliwej jej rozszerzalności bocznej charakteryzuje się większą zmiennością gradientu przebiegu krzywej nacisk - odkształcenie, zwłaszcza przy znacznym uwilgotnieniu próbek [Mosaddeghi i in. 2007], co pozytywnie wpływa na dokładność wyznaczania naprężenia granicznego. Wyznaczanie naprężenia granicznego przy znacznym uwilgotnieniu gleby (odpowiadającemu sile ssącej pF 2), w warunkach braku możliwej jej bocznej rozszerzalności, może prowadzić do uzyskiwania błędnych, zawyżonych wartości tego parametru. Wskazują na to wyniki badań własnych wykonane na próbkach o nienaruszonej strukturze [Śnieg i in. 2008]. Wcześniejsze natomiast rezultaty, otrzymane na próbkach modelowych, wytwarzanych w warunkach laboratoryjnych, wskazywały odwrotnie, że wartość naprężenia granicznego wyznaczana w warunkach możliwej rozszerzalności bocznej gleby jest wyższa [Dawidowski i in. 2003].

W niniejszej pracy podjęto próbę wyjaśnienia przytaczanych w literaturze różnic, której celem było zbadanie wpływu warunków odkształcenia próbek o nienaruszonej strukturze na wyznaczaną wartość naprężenia granicznego gleby, dla dwóch stanów jej uwilgotnienia – aktualnego (zastanego w polu) i odpowiadającego sile ssącej pF 2. Realizując cel pracy szukano odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

1. Czy sposób wstępnego odkształcenia próbki (możliwa i niemożliwa rozszerzalność gleby) ma wpływ na naprężenia graniczne wyznaczone podczas obciążeń wtórnych realizowanych z możliwością rozszerzalności bocznej gleby?
2. Czy sposób wtórnego odkształcania próbek gleby tj. z możliwą i niemożliwą rozszerzalnością boczną gleby ma wpływ na wartość wyznaczanego naprężenia granicznego?

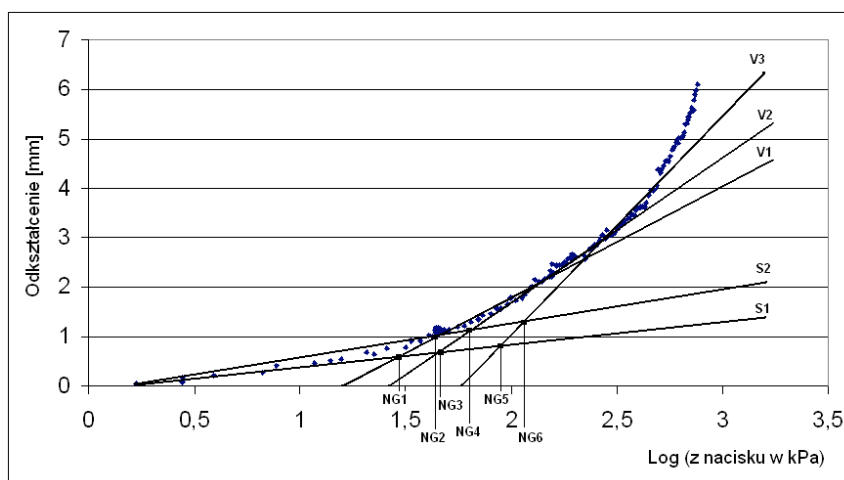
Material i metody

Material badawczy stanowiły próbki gleby o tzw. nienaruszonej strukturze, pobrane wiośną z warstwy położonej na głębokości od 45 do 50 cm, z odkrywki zlokalizowanej na Nizinie Szczecińskiej (obręb wsi Ostoja). Pole należało do wielkoobszarowego gospodarstwa rolnego, w którym stosowany był ciężki i wydajny sprzęt rolniczy (potencjalne zagrożenie nadmiernym ugniataniem). Próbki pobierano metalowymi cylinderkami oznaczonymi symbolami: *D* (o pojemności 100 cm³ i wysokości 50 mm) oraz *L* (o pojemności 392,5 cm³ i wysokości 50 mm). Badania przeprowadzono dla wilgotności aktualnej (zastanej w polu) oraz wilgotności odpowiadającej potencjałowi pF 2. Wybrano warstwę gleby o wilgotności aktualnej zbliżonej do połowej pojemności wodnej stwarzającej większe zagrożenie nadmiernego ugniatania oraz charakteryzującą się ustabilizowaną strukturą zapewniającą efektywną realizację założonych celów pracy. Próbek *D* i *L* pobrano odpowiednio 24 i 44 sztuk – w tym po cztery na potrzeby przeprowadzenia obciążeń testujących. Przed przystąpieniem do obciążania (odkształcania) gleby połowę liczby próbek każdego rodzaju poddano (na płycie gipsowej) działaniu podciśnienia wynoszącym pF 2. Oba rodzaje próbek obciążano (odkształcano) wstępnie i wtórnie w zróżnicowanych warunkach rozszerzalności bocznej, stosując stemple o różnych średnicach (rys. 1). Obciążanie wstępne prowadzono za pomocą prasy ręcznej, stosując, dla próbek o wilgotnościach aktualnej i przy pF 2, odpowiednio naciski 200 i 100 kPa. Wartości nacisków wstępnych dobrano po analizie danych zarejestrowanych podczas wykonywania obciążeń testujących. Odpowiadały one wartościom występującym pomiędzy zakresami odkształceń sprężystych i plastycznych.



Rys. 1. Schemat sposobu obciążenia wstępnego (I) i wtórnego (II) próbek *D* i *L* oraz warunki bocznego odkształcenia gleby: NR - niemożliwa rozszerzalność boczna, MR - możliwa rozszerzalność boczna

Fig. 1. Diagram showing the method of preloading (I) and fictitious loading (II) for samples *D* and *L*, and conditions of lateral soil deformation: NR – lateral expansion not possible, MR – lateral expansion possible



Rys. 2. Sposób wyznaczenia wartości naprężenia granicznego każdej próbki gleby (NG1 – NG6) dla różnych zakresów odkształceń wtórnych *S1* (0 – 0,5 mm) i *S2* (0 – 1 mm) oraz pierwotnych *V1* (1–2 mm), *V2* (2 – 3 mm) i *V3* (3 – 4 mm)

Fig. 2. The method used to determine the boundary stress values for each soil sample (NG1 – NG6) for different ranges of fictitious strain - *S1* (0 – 0.5 mm) and *S2* (0 – 1 mm) and prestrain *V1* (1–2 mm), *V2* (2 – 3 mm) and *V3* (3 – 4 mm)

Wtórne ugniatanie gleby wykonywano dynamicznie zmodyfikowanym penetrometrem z napędem elektrycznym [Dawidowski i in. 2001], rejestrując przebieg zmian odkształcenia próbki jako funkcja nacisku. Naprężenie graniczne wyznaczano metodą regresji liniowej przedstawioną przez Dawidowskiego i in. [2003]. Dla każdej próbki gleby (cylinderka D lub L) obliczano sześć naprężeń granicznych, stosując dwa zakresy odkształceń wtórnych i trzy zakresy odkształceń pierwotnych (rys. 2). Przyczyną takiego postępowania były wyniki wcześniejszych badań własnych, w których wykazano, że stosowanie stałego „sztywnego” zakresu danych dla wyznaczenia linii regresji opisującej odkształcenia pierwotne może być źródłem błędnego wnioskowania [Błażejczak 2008]. Dlatego, w niniejszej pracy w celu wyeliminowania zakłóceń, zależność badano dla różnych zakresów odkształceń wtórnych i pierwotnych. Parametry początkowe próbek gleby scharakteryzowano za pomocą wilgotności aktualnej i gęstości objętościowej. Określono także, powszechnie stosowanymi metodami, skład granulometryczny gleby oraz zawartości w niej próchnicy i węgla wapnia. Stwierdzono, że badana gleba to glina lekko pylasta, o zawartości próchnicy 0,65 %, nie zawierająca węgla wapnia.

Wyniki i dyskusja

Średnie wartości parametrów charakteryzujących stan początkowy próbek (przed obciążaniem) zamieszczono w tabeli 1. Wynika z nich, że stany początkowy próbek L i D nie różniły się wyraźnie. Zauważyć można, że wilgotność próbek, w momencie pobierania ich w polu, była zbliżona do połowej pojemności gleby, która bywa utożsamiana z warunkami zbliżonymi do tych jakie występują przy podciśnieniu pF 2.

Tabela 1. Gęstość objętościowa i wilgotność próbek L i D przed obciążaniem wstępnym
Table. 1. Volumetric density and humidity of samples L and D before preloading

Rodzaj próbki	Gęstość objętościowa [g·cm ⁻³]	Wilgotność aktualna [% wag.]	Wilgotność przy pF 2 [% wag.]
L	1,59	11,9	12,7
D	1,60	12,0	12,9

Rezultaty wyznaczania wartości naprężeń granicznych dla poszczególnych wariantów eksperymentu zamieszczono w tabeli 2. Można zauważyć, że zależnie od warunków wilgotnościowych (w_a - aktualna w polu lub przy pF 2) uzyskano odmienny wpływ warunków odkształcania gleby na wartość naprężenia granicznego. Przy wilgotności pF 2 wartości naprężeń granicznych (NG1-NG6), wyznaczone przy odkształcaniu gleby w warunkach niemożliwej rozszerzalności bocznej gleby (cylinderki D , wariant NR-NR), były wyższe od tych uzyskanych w warunkach możliwej rozszerzalności gleby (cylinderki L , wariant NR-MR). Odmiennie rezultaty, poza nielicznymi przypadkami (NG1 i NG4), uzyskano dla wilgotności aktualnej (w_a). Z tabeli 2 wynika również, że warunki odkształcania wstępnego (NR lub MR) mogą nie mieć większego wpływu na wynik wyznaczania naprężenia granicznego (próbki L), przy identycznym sposobie obciążania wtórnego (MR). Przy czym różnica pomiędzy wyznaczonymi średnimi wartościami naprężenia granicznego, dla wil-

Napężenie graniczne...

gotności gleby zbliżonej do pF 2, wahała się od 0 do 30 kPa, zaś dla warunków połowych od 10 do 45 kPa. Świadczyć to może o tym, że sztuczne wywieranie podciśnienia wpływało na strukturę wewnętrzną próbek i zmniejszało zmienność uzyskiwanych wyników napężenia granicznego. Powodem mogła być zastosowana procedura polegająca na uzyskiwaniu podciśnienia pF 2 w cyklu osuszania próbek, po uprzednim całkowitym nawilżeniu gleby, co powodowało jej pęcznienie i wzrost wysokości próbek o około 1–2 mm.

Tabela 2. Wartości naprężeń granicznych dla poszczególnych wariantów eksperymentu, obliczone dla przyjętych zakresów odkształceń wtórnych i pierwotnych (NG1 – NG6)

Table 2. The boundary stress values for individual variants of the experiment, computed for assumed ranges of fictitious strain and prestrain (NG1 – NG6)

Nacisk wstępny [kPa]	Warunki wilgotnościowe	Rodzaj cylinderek	Sposób odkształcania wstępnego	Sposób odkształcania wtórnego	Wartości naprężeń granicznych [kPa] dla poszczególnych zakresów odkształceń wtórnych (0–0,5; 0–1mm) i pierwotnych (1–2, 2–3, 3–4mm)											
					NG1		NG2		NG3		NG4		NG5		NG6	
					0–0,5	1–2	0–0,5	2–3	0–0,5	3–4	0–1	1–2	0–1	2–3	0–1	3–4
100	pF 2	L	MR	MR	45	99	170	58	117	118						
			NR	MR	51	82	140	58	94	146						
		D	NR	NR	54	145	230	78	182	264						
200	w_a	L	MR	MR	72	199	316	73	227	346						
			NR	MR	40	238	342	63	271	365						
		D	NR	NR	52	213	318	84	262	357						

Oznaczenia: wilgotność aktualna (w_a); niemożliwa (NR) i możliwa (MR) rozszerzalność boczna gleby

W celu potwierdzenia ww. spostrzeżeń przeprowadzono analizę statystyczną (jednoczynnikowa analiza wariancji; $\alpha=0,05$). Wyniki tej analizy przedstawiono w tabeli 3. Stwierdzono, że sposób odkształcania wstępnego próbek *L* (z możliwą i niemożliwą rozszerzalnością boczną) nie wpływał istotnie, przy jednakowym obciążaniu wtórnym, na wynik wyznaczania napężenia granicznego. Wykazano również, że sposób odkształcania wtórnego próbek (MR i NR) wpływał istotnie, przy jednakowym formowaniu wstępnym (NR), na wartość napężenia granicznego tylko przy wilgotności pF 2, z wyjątkiem niskich zakresów wartości odkształceń, przyjętych do wyznaczania linii regresji w zakresie odkształceń pierwotnych (1–2 mm). Mogło to wynikać z faktu, że w przypadku niektórych próbek przyjęty najniższy zakres (rys. 1) odkształceń pierwotnych (*V1*) mógł w rzeczywistości odpowiadać (częściowo lub całkowicie) odkształceniom wtórnym (*S1* lub *S2*), które charakteryzują się niską wartością kąta nachylenia linii regresji.

Niniejsze badania potwierdziły uzyskane wcześniej rezultaty przez Dawidowskiego i in. [2003] oraz Śniega i in. [2008]. Wykazano, że warunki odkształcania gleby (niemożliwa i możliwa rozszerzalność gleby) wpływają różnie na wyznaczaną wartość napężenia granicznego zależnie od poziomu uwilgotnienia gleby. Uzyskiwanie odmiennych wyników pomiarów napężenia granicznego modelowych próbek, poddawanych sztucznie działaniu podciśnienia na płycie pF, od uzyskiwanych dla wilgotności naturalnej, wskazały na występowanie wpływu sposobu nawilżania i osuszania próbek na uzyskiwane rezultaty i na

analizę tego zjawiska. W warunkach niniejszych badań potwierdzono także, że na wynik wyznaczonej wartości naprężeń granicznych mają wpływ wybrane zakresy odkształceń pierwotnych i wtórnych.

Tabela 3. Wyniki statystycznego porównania badanych wariantów wyznaczenia naprężenia granicznego, obliczone dla przyjętych zakresów odkształceń wtórnych i pierwotnych (NG1 – NG6)

Table 3. Results of the statistical comparison of the examined variants determining the boundary stress, computed for assumed ranges of fictitious strain and prestrain (NG1 – NG6)

Nacisk wstępny [kPa]	Warunki wilgotnościowe	Rodzaj cylindera	Sposób odkształcania wstępnego		Sposób odkształcania wtórnego		Wartości statystyki p dla poszczególnych zakresów odkształceń wtórnych (0–0,5; 0–1mm) i pierwotnych (1–2, 2–3, 3–4mm)											
							NG1		NG2		NG3		NG4		NG5		NG6	
							0–0,5	1–2	0–0,5	2–3	0–0,5	3–4	0–1	1–2	0–1	2–3	0–1	3–4
100	pF 2	L	MR	MR	0,671		0,258		0,180		0,946		0,110		0,192			
			NR	MR	0,745		***		***		0,078		***		***			
		D	NR	NR														
200	w_a	L	MR	MR	0,380		0,442		0,051		0,592		0,391		0,576			
			NR	MR	0,232		0,532		0,659		0,149		0,810		0,878			
		L	NR	MR														
		D	NR	NR														

Uwaga: różnica istotna przy $p < 0,05$; ***-wartość $p < 0,001$; w_a , NR i MR patrz tab. 2

Wnioski

W wyniku realizacji pracy sformułowano następujące wnioski:

1. Sposób wstępnego odkształcania próbki - możliwa lub niemożliwa rozszerzalność boczna gleby - nie ma istotnego wpływu na wartość naprężenia granicznego, wyznaczonego podczas obciążania wtórnego w warunkach możliwej rozszerzalności bocznej gleby. Brak tej zależności stwierdzono zarówno dla próbek o wilgotności aktualnej, jak i tych poddanych działaniu podciśnienia pF 2.
2. Wykazano, że sposób realizacji obciążeń wtórnych próbek gleby tj. z możliwą i niemożliwą rozszerzalnością boczną gleby, ma wpływ na wartość wyznaczonego naprężenia granicznego tylko w przypadku próbek o wilgotności odpowiadającej sile ssącej pF 2. Przy czym wyższe wartości naprężenia granicznego uzyskano dla próbek odkształczanych w warunkach niemożliwej rozszerzalności bocznej gleby.

Bibliografia

- Błażejczak D.** 2008. Badania zależności naprężeń pierwotnych od wtórnych i stanu początkowego próbki gleby. XIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa: Inżynieria Rolnicza a Środowisko. Międzyzdroje 19-21 maja 2008. AR Szczecin. s. 259-260.
- Dawidowski B.** 1995. Proces ugniatania gleby i metoda prognozowania jej zagęszczenia w zmechanizowanych technologiach prac polowych. Rozprawy nr 163. Akademia Rolnicza w Szczecinie. ISBN-83-86521-85-6.
- Dawidowski J.B., M. Śnieg, D. Błażejczak, J. E. Morrison, Jr.** 2003. Influence of Test Procedure on Indicated Values of Soil Precompaction Stress. Proceedings of 16th Triennial Conference of International Soil Tillage Organization: Soil Management for Sustainability, 13-18 July 2003. The University of Queensland. Brisbane, Australia. s. 344-350.
- 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). s. 1-6.
- Dias Junior M.S., Pierce F.J.** 1995. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. Soil & Technology 8. s. 139-151.
- Hakansson I., van Ouwerkerk C., Soane B.D.** 1995. Conclusions of the ISTRO Workshop on "The Effects of Soil Compaction on Physical, Chemical and Biological Factors in the Environment". 25 August 1993. Metropol, Ukraine. In: Soil & Tillage Research 35. s. 111-113.
- Horn R., Fleige H.** 2003. A method for assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. Soil & Tillage Research 73, s. 89-99.
- Horn R., Lebert M.** 1994. Soil Compactability and Compressibility. In: Soil Compaction in Crop Production, Soane B.D. and Ouwerkerk (Eds.), Elsevier Science B.V. s. 45-66.
- Mosaddeghi M.R., Koolen A.J., Hemmat A., Hajabbasi M.A., Lerink P.** 2007. Comparisons of different procedures of pre-compaction stress determination on weakly structured soils. Journal of Terramechanics 44. s. 53-63.
- Śnieg M., Błażejczak D., Dawidowski J. B., Tomaszewicz T.** 2008. Badanie podatności na zagęszczenie podornej warstwy czarnej ziemi gliniastej. Inżynieria Rolnicza. Nr 5 (103). s. 315-322.
- Van den Akker J.J.H.** 2004. SOCOMO: A soil compaction model to calculate soil stress and the subsoil carrying capacity. Soil & Tillage Research 79. s. 113-127.
- Van den Akker J.J.H., Arvidsson J., Horn R.** 2003. Introduction to the special issue on experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Union. Soil & Tillage Research 73. s. 1-8.

BOUNDARY STRESS OF SOIL SAMPLES WITH AN INTACT STRUCTURE DEPENDING ON THE DEFORMATION CONDITIONS

Abstract. The research involved an examination of the boundary stress for two soil humidity states – current and at potential pF 2. Samples, diameter 50 and 100 mm, were put to dynamic packing in conditions of possible or not possible lateral expansion of soil. It has been observed that the sample prestrain conditions have no substantial effect on the boundary stress determined by fictitious loading in conditions of possible lateral expansion of soil. Moreover, it has been proved that the way of executing fictitious loads of soil samples, that is by either possible or not possible lateral expansion of soil affects the value of boundary stress only in samples with humidity corresponding to capillary potential pF 2.

Key words: soil, compression, boundary stress

Adres do korespondencji:

Dariusz Błażejczak; e- mail: dariusz.blazejczak@zut.edu.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI/3
71-459 Szczecin