

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCINANIE WARSTWY PODORNEJ GLEB BRUNATNOZIEMNYCH NIZINY SZCZECIŃSKIEJ

Marek Śnieg, Dariusz Błażejczak

Instytut Inżynierii Rolniczej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,

Tomasz Tomaszewicz

Katedra Erozji i Rekultywacji Gleb, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Streszczenie. Celem pracy była identyfikacja spójności i kąta tarcia wewnętrznego gleby w warstwie 25÷60 cm. Badania prowadzono wiosną i jesienią, na próbkach o strukturze nie-naruszonej. Rezultaty badań potwierdziły zależność badanych parametrów od wilgotności gleby. Wyniki pomiarów mogą być pomocne w procesie konstruowania maszyn rolniczych oraz rozwoju technik zmierzających do redukcji nadmiernego zagęszczenia warstwy podornej gleb.

Słowa kluczowe: gleba, warstwa podorna, spójność i kąt tarcia wewnętrznego

Wstęp i cel

Charakterystyczną cechą współczesnego rolnictwa, wzorem innych gałęzi gospodarki, jest dążenie do wzrostu wydajności pracy i obniżania kosztów. W produkcji roślinnej oznacza to wzrost obszarów gospodarstw i stosowanie coraz wydajniejszego a zarazem cięższego sprzętu rolniczego. Obciążenie kół współczesnych pojazdów maszyn rolniczych przekracza często maksymalny nacisk na pojedynczą oś pojazdów drogowych. Tak duże obciążenie powierzchni pól sprawia, że gleby ulegają znaczącym odkształceniom objętościowym oraz postaciowym. Odkształcenia te pociągają za sobą niekorzystne zmiany fizyko-mechanicznych właściwości gleby, w warstwie uprawnej, jak i w warstwach położonych niżej, w literaturze nazywanych warstwą podorną. Liczne opracowania zwracają uwagę na szczególnie niekorzystne oddziaływanie na produktywność gleb i środowisko naturalne zmian zachodzących w nieuprawianych warstwach głębszych oraz na ich długotrwały charakter [Van den Akker i in. 2000]. Podatność gleb na odkształcanie zależy od ich wytrzymałości, na którą wpływa wiele różnych czynników [Horn, Lebert 1994]. Za najważniejszy z nich uważa się wilgotność gleby, która wartości zbliżone do połowej pojemności wodnej, sprzyjające nadmiernemu zagęszczeniu gleby, przyjmuje w okresie wiosennych i jesiennych prac polowych. Opisywane w literaturze badania wytrzymałości gleb na ścinanie dotyczą przede wszystkim warstwy ornej [Domżał 1971, Turski i in. 1979]. Brak jest natomiast informacji o wytrzymałości warstwy podornej. Dane te mogą być wykorzystywane na użytek projektowania lub eksploatacji sprzętu rolniczego [Horn, Fleige 2003].

Celem niniejszej pracy było znalezienie odpowiedzi na pytanie, jak kształtują się wartości spójności i kąta tarcia wewnętrznego podornej warstwy gleby przy wilgotnościach: aktualnej (wiosna i jesień) oraz zbliżonej do połowej pojemności wodnej.

Metodyka i zakres pracy

Do oznaczania wytrzymałości na ścinanie zastosowano metodę bezpośredniego ścinania próbek w aparacie skrzynkowym typu AB, przy stałej prędkości odkształceń $v_\varepsilon = 0,05 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Każdą próbkę poddawano tylko jednemu ścinaniu. Próbki ścinano przy naprężeniach normalnych, wzrastających od 40 do 300 kPa. Jako wartość wytrzymałości na ścinanie przyjmowano maksymalne wartości chwilowe τ_{gr} w zakresie odkształceń względnych $\varepsilon \leq 10\%$ [PN-88/B-04481]. Wartości spójności c i kąta tarcia wewnętrznego ϕ obliczono z zastosowaniem metody najmniejszych kwadratów wg wyrażenia Coulomba:

$$\tau_{gr} = \sigma \cdot \text{tg}\phi + c \quad (1)$$

gdzie:

- τ_{gr} – maksymalne naprężenia styczne,
- σ – naprężenia normalne.

Obiektem badań były gleby brunatnoziemne, o wysokiej przydatności rolniczej [Koćmit i in. 2008]. Badania prowadzono na próbkach o strukturze nienaruszonej, o wilgotności aktualnej oraz stabilizowanej przy sile ssącej pF2 (100 hPa), której wartość utożsamiana jest często z uwilgotnieniem gleby zbliżonym do połowej pojemności wodnej. Stabilizację realizowano w cyklu osuszania próbek, po wcześniejszym ich pełnym nasyceniu wodą. Oznaczenia wykonano w dwóch powtórzeniach dla warstw: 0,25-0,30; 0,35-0,40; 0,45-0,50 i 0,55-0,60 m. Próbki do badań pobierano w wybranych punktach (cztery odkrywki dla obiektu) w okresie wiosny i jesieni. Odległość punktu poboru próbek jesienią w stosunku do wiosny – dzięki odbiornikowi GPS – nie przekraczała 3 m. Uziarnienie oznaczono metodą areometryczną, zaś stopień dyspersji wyliczono za pomocą programu Tekstura [Prusinkiewicz, Proszek 1990]. Zawartość próchnicy w glebie oznaczono metodą Tiurina, zaś granicę plastyczności metodą waleczkowania.

Wyniki badań i dyskusja

Charakterystykę obiektów badań przedstawiono w tabeli 1, która ukazuje gleby gliniaste, od gliny lekkiej do gliny ciężkiej [PN-98/R-04033], o wyrównanym stopniu dyspersji, w warstwie 0,35-0,50 cm. Wszystkie badane gleby zawierały materię organiczną.

W tabeli 2 podano średnie wartości kąta tarcia wewnętrznego (ϕ) oraz spójności (c), dla dwóch stanów uwilgotnienia gleb – zastanego na polu oraz odpowiadającego sile ssącej pF2.

Wytrzymałość na ścinanie...

Tabela 1. Wybrane własności warstwy podornej badanych gleb: zawartość próchnicy (H), stopień dyspersji (D), granica plastyczności (L_p) oraz zawartość frakcji granulometrycznych i grupa granulometryczna [PN-98/R-04033]

Table 1. Selected properties of sub-arable layer in analysed soils: humus content (H), degree of dispersion (D), yield point (L_p), and content of grain-size fractions and grain size group

Obiekt	Warstwa [m]	H [%]	D [m ² /m ³]	L _p [% wag.]	[%]				Grupa granulometryczna
					>2	2-0,05	0,05-0,002	<0,002	
Czachów	0,25-0,30	1,35	211,5	17,6	5,3	50,5	33,3	16,2	glina
	0,35-0,40	0,94	246,6	19,0	8,8	48,5	32,3	19,2	glina
	0,45-0,50	0,67	248,8	18,5	5,9	48,1	32,2	19,7	glina
	0,55-0,60	0,64	280,5	20,1	4,5	44,9	32,7	22,4	glina
Lubiechów G.	0,25-0,30	1,36	167,2	17,1	3,3	51,7	35,8	12,5	glina
	0,35-0,40	0,54	214,3	16,0	2,2	47,3	36,8	15,9	glina
	0,45-0,50	0,46	212,5	16,2	3,1	48,2	35,2	16,5	glina
	0,55-0,60	0,36	205,6	14,9	6,0	49,4	35,0	15,5	glina
Kurcewo	0,25-0,30	0,66	151,0	13,6	2,9	58,1	29,8	12,1	glina lekka
	0,35-0,40	0,40	186,7	16,8	1,4	54,3	27,0	18,7	glina
	0,45-0,50	0,37	232,8	16,9	1,7	55,3	25,3	19,4	glina
	0,55-0,60	0,31	308,3	21,1	1,7	43,3	30,7	26,0	glina ciężka
Nowielice	0,25-0,30	1,39	172,9	17,7	1,3	54,1	32,1	13,8	glina
	0,35-0,40	0,65	237,4	19,3	1,1	43,5	37,3	19,2	glina
	0,45-0,50	0,42	238,8	18,7	1,2	42,9	37,9	19,2	glina
	0,55-0,60	0,31	245,2	19,2	0,9	43,2	37,4	19,4	glina

Analizując kształtowanie się wartości ϕ oraz c (dla wszystkich obiektów) zauważa się, że w warunkach polowych są one znacznie zróżnicowane i wahają się odpowiednio w przedziałach: $13,8 \div 37,3^\circ$ i $11,6-65,8$ kPa. Przeciętna wartość kąta tarcia wewnętrznego i spójności gleby w warstwie podornej (25÷60 cm) była wyższa w okresie jesiennym niż wiosennym. Różnice ϕ oraz c pomiędzy okresami zawierały się odpowiednio w przedziałach $6,8 \div 17,2$ % i $2,3 \div 47,9$ %. Jedynie w Nowielicach nastąpił spadek spójności gleby o 13,6 %. Poszukując przyczyn tego zróżnicowania przeprowadzono analizę szczegółową (jednoczynnikowa analiza wariancji przy $\alpha=0,05$), która wykazała, że dla poszczególnych obiektów różnice w wartościach wyznaczonych parametrów pomiędzy wiosną i jesienią nie były w większości przypadków (wyjątek obiekt Czachów) uzależnione od gęstości objętościowej gleby. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic gęstości objętościowej gleby pomiędzy okresami pomiarowymi dla obiektów: Lubiechów G., Kurcewo i Nowielice. Wynika stąd, że znaczne zróżnicowanie wartości parametrów wytrzymałościowych w warstwie podornej było wynikiem oddziaływania innych czynników niż gęstość objętościowa. Zauważono, że znaczny wpływ na ϕ i c miała wilgotność gleby. Świadczą o tym otrzymane wartości współczynnika determinacji (wiosna: $R^2 = 0,52$ i $0,34$; jesień: $R^2 = 0,49$ i $0,40$), co jest zbliżone z rezultatami badań Domżała [1971] oraz Turskiego i in. [1972, 1975, 1979]. Należy dodać, że w niniejszej pracy, ze względu na mały zakres zmian wilgotności pomiędzy wiosną i jesienią, wartości badanych parametrów wytrzymałościowych nie zależały wyraźnie od terminu poboru prób.

Tabela 2. Średnie wartości wilgotności wagowej (W_{aw}), gęstości objętościowej (ρ_o) oraz kąta tarcia wewnętrznego (ϕ) i spójności (c), dla dwóch stanów uwilgotnienia gleb – polowego i pF2
 Table 2. Mean values of humidity by weight (W_{aw}), volumetric density (ρ_o) and internal friction angle (ϕ) and cohesion (c), for two soil moistening states: field and pF2

Obiekt	Okres	Warstwa [m]	ρ_o [g·cm ⁻³]	Warunki polowe			Warunki przy pF 2		
				W_{aw} [% wag.]	ϕ [°]	c [kPa]	W_{aw} [% wag.]	Φ [°]	c [kPa]
Czachów	wiosna	0,25-0,30	1,66	15,93	19,2	46,1	14,1	31,0	43,9
		0,35-0,40	1,49	14,13	25,0	38,9	17,1	16,6	61,9
		0,45-0,50	1,50	15,23	25,6	34,6	17,9	23,2	27,0
		0,55-0,60	1,52	14,93	27,7	29,3	19,3	24,6	26,9
	jesień	0,25-0,30	1,72	14,69	31,3	39,1	17,5	24,6	24,2
		0,35-0,40	1,62	16,46	24,1	46,3	19,0	20,2	31,4
		0,45-0,50	1,65	15,65	22,6	53,9	17,0	21,7	27,8
		0,55-0,60	1,73	12,90	30,5	35,7	16,41	23,2	28,1
Lubiechów G.	wiosna	0,25-0,30	1,66	14,41	23,0	42,0	15,58	24,3	28,0
		0,35-0,40	1,65	13,44	21,2	43,0	14,92	22,4	25,4
		0,45-0,50	1,68	12,73	26,4	40,3	13,12	27,0	40,2
		0,55-0,60	1,70	12,86	27,4	44,4	12,99	22,2	43,6
	jesień	0,25-0,30	1,70	11,29	32,5	38,5	15,32	29,7	4,5
		0,35-0,40	1,67	10,72	27,6	47,9	15,32	26,6	10,1
		0,45-0,50	1,67	11,14	28,4	42,6	14,75	23,3	20,4
		0,55-0,60	1,66	11,94	29,9	44,7	15,34	27,6	14,4
Kurcewo	wiosna	0,25-0,30	1,72	12,83	28,8	18,6	14,88	25,2	21,3
		0,35-0,40	1,63	13,49	30,0	15,6	15,55	18,7	30,2
		0,45-0,50	1,59	14,94	28,1	11,6	14,38	23,0	24,0
		0,55-0,60	1,67	11,80	27,0	28,4	13,19	25,3	27,6
	jesień	0,25-0,30	1,63	9,83	28,5	30,7	15,19	27,4	17,2
		0,35-0,40	1,61	12,02	30,3	36,0	18,37	26,2	12,2
		0,45-0,50	1,58	12,68	33,7	37,5	18,51	27,2	11,3
		0,55-0,60	1,54	13,41	37,3	38,2	18,58	19,7	24,2
Nowielice	wiosna	0,25-0,30	1,65	16,31	17,1	57,9	16,78	26,5	30,1
		0,35-0,40	1,68	15,65	24,5	45,1	16,32	19,2	46,3
		0,45-0,50	1,64	16,57	13,8	65,8	16,03	22,5	43,3
		0,55-0,60	1,66	16,48	14,1	64,1	15,85	19,8	53,5
	jesień	0,25-0,30	1,73	16,21	18,6	54,8	15,83	25,6	48,7
		0,35-0,40	1,52	18,54	21,6	43,5	15,61	22,5	50,3
		0,45-0,50	1,66	17,06	16,7	53,6	17,84	17,4	50,6
		0,55-0,60	1,67	16,87	17,7	53,1	17,72	14,1	59,1

Analizując wyniki badań spójności i kąta tarcia wewnętrznego gleby, uzyskane na próbkach poddanych stabilizacji przy sile ssącej pF2 (100 hPa), stwierdzono, że dla poszczególnych obiektów, poza nielicznymi przypadkami (wyjątek Kurcewo), brak jest statystycznych różnic w wilgotności gleby pomiędzy okresami pomiarowymi w badanych warstwach. Wynika stąd, że w tym przypadku źródłem zmienności wartości badanych

parametrów, dla większości obiektów, były inne czynniki m.in. własności gleby. Według Turskiego i in. [1972] na wytrzymałość gleby na ścinanie ma wpływ skład granulometryczny i zawartość próchnicy. Jednak w niniejszej pracy (w obrębie poszczególnych obiektów) nie stwierdzono istotnego wpływu zawartości próchnicy na wartość kąta tarcia wewnętrznego i spójność. W przypadku łu koloidalnego (ziarna mniejsze od 0,002 mm), stwierdzono zależność pomiędzy jego zawartością a badanymi parametrami wytrzymałościowymi. Wartość kąta tarcia wewnętrznego maleje w miarę wzrostu zawartości łu, zaś spójność wzrasta. Porównywalne zależności wystąpiły przy ocenie związku stopnia dyspersji i granicy plastyczności z parametrami wytrzymałościowymi. Zauważyć można także, że niektóre wartości spójności oznaczonej przy pF 2 (wyróżnione pogrubioną czcionką w tabeli 2), odbiegają znacznie od innych, uzyskanych w obrębie danego obiektu. Poszukiwanie przyczyn tych odstępstw nie dało jednoznacznego wyjaśnienia. Stwierdzono przy tym, że nie miały na nie wpływu gęstość i wilgotność gleby oraz jej własności przedstawione w tabeli 1. Prawdopodobnym czynnikiem powodującym wyraźną zmianę spójności mogły być różnice w wewnętrznej budowie próbek - na przykład rozmieszczenie ziaren lub materii organicznej w obrębie próbki.

Podsumowanie

Wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności warstwy podornej (25-60cm) gleb brunatnoziemnych kształtowały się, zależnie od stanu ich uwilgotnienia, następująco:

- $\phi = 25 \pm 6^\circ$ i $c = 41 \pm 12$ kPa (dla wilgotności aktualnej – wiosna i jesień);
- $\phi = 23 \pm 4^\circ$ i $c = 31 \pm 15$ kPa (dla wilgotności uzyskanej przy podciśnieniu pF2).

Porównanie uzyskanych danych z wynikami wcześniejszych badań [Śnieg i in. 2007], upoważnia do stwierdzenia, że przeciętne wartości tych parametrów nie różnią się zasadniczo od otrzymanych dla czarnych ziem ($\phi = 24 \pm 6^\circ$ i $c = 37 \pm 10$ kPa – przy wilgotności aktualnej; $\phi = 18 \pm 4^\circ$ i $c = 34 \pm 14$ kPa – wilgotność przy pF2). Brak zasadniczych różnic mógł wynikać z faktu, że badano gleby o podobnym uziarnieniu. Wartości odchyleń standardowych wskazują na znaczną zmienność kąta tarcia wewnętrznego i spójności zarówno gleb brunatnoziemnych, jak i czarnych ziem.

Bibliografia

- Domżał H.** 1971. Zależność spójności od uwilgotnienia w glebach wytworzonych z różnych skał macierzystych. *Annales Universitatis Marie Curie-Skłodowska* Vol. XXVI, 10. Lublin. s. 238-251.
- 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*, B.D. Soane and C. Van Ouwerkerk (Eds.), Elsevier Science B.V. s. 45-69.
- Koćmit A., Tomaszewicz T. Podlasiński M.** 2008. Wpływ intensywnego użytkowania rolniczego na gleby średnie i ciężkie w warunkach Pomorza Zachodniego. Cz. I. Typologia gleb. *Rocz. Gleb. T. 40, z. ¾.* Warszawa. s. 134-141.

- Śnieg M., Błażejczak D., Tomaszewicz T., 2007. Badania wytrzymałości na ścinanie warstwy podornej czarnych ziem Niziny Szczecińskiej. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Inżynieria Rolnicza VI, 552. s. 41-47.
- Turski R., Domżał H., Słowińska A., 1972. Zależność tarcia wewnętrznego od wilgotności gleb wytworzonych z różnych skał macierzystych. Roczn. Gleb. T. 23, z. 1. Warszawa. s. 15-26.
- Turski R., Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A., 1975. Zmiany tarcia wewnętrznego w glebach wytworzonych z lessu w aspekcie ich podatności na erozję wodną. Annales Universitatis Marie Curie-Skłodowska Vol. XXX, 10. Lublin. s. 97-105.
- Turski R., Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A., 1979. Zmiany oporów ścinania gleby lessowej w zależności od jej zagęszczenia i wilgotności. Roczn. Gleb. T. 30, z. 2. Warszawa. s. 199-211.
- Van den Akker J.J.H., Canarache A., 2000. Concerted Actions on Subsoil Compaction in Western European Countries and on Subsoil Compaction in Central and Eastern European Countries. In: Experience with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Community. Proceedings of the 3rd workshop of the Concerted Action "Experience with the impact of subsoil compaction on soil, crop growth and environment and ways to prevent subsoil compaction". Uppsala, 14-16 June 2000. s. 7-19.
- PN-88/B-04481. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
- PN-R-04033. 1998. Gleby i twory mineralne: Podział na frakcje i grupy granulometryczne. s. 5.

SHEAR STRENGTH OF SUB-ARABLE LAYER IN BROWN SOILS OF SZCZECIN LOWLAND

Abstract. The purpose of the work was to identify cohesion and internal friction angle of soil in the 25÷60 cm layer. The tests were performed in spring and autumn, for samples with intact structure. Test results confirmed dependence of examined parameters on soil humidity. Measurement results may be helpful in farm machinery design process and development of techniques aimed to reduce excessive compaction of sub-arable layer in soils.

Key words: soil, sub-arable layer, cohesion and internal friction angle

Adres do korespondencji:

Marek Śnieg; e-mail: Marek.Snieg@zut.edu.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
ul. Papieża Pawła VI/3
71-459 Szczecin