

Dariusz Błażejczak, Marek Śnieg, Tomasz Tomaszewicz, Jan B. Dawidowski
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza w Szczecinie

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ŚCINARKI OBROTOWEJ DO WYZNACZANIA SPÓJNOŚCI GLEBY

Streszczenie

Celem pracy było zbadanie zależności pomiędzy wartością wytrzymałości gleby, zmierzonej ścinarką obrotową (vane tester), a wartością spójności, wyznaczonej aparatem bezpośredniego ścinania. Badania przeprowadzono na glebach plastycznych (o uziarnieniu glina lekka - glina ciężka), w warstwach: 25-30, 35-40, 45-50 i 55-60 cm. Wykazano, że jest możliwe zastosowanie ścinarki obrotowej (w warunkach braku możliwości określenia naprężeń normalnych) do prognozowania spójności gleby w warunkach polowych.

Słowa kluczowe: gleba gliniasta, warstwa podorna, spójność, aparat bezpośredniego ścinania, ścinarka obrotowa

Wstęp i cel

W ostatnich latach dużo uwagi poświęca się problemowi pogarszania się fizycznego stanu gleb uprawnych, będącego często wynikiem niekorzystnych zmian w zmianowaniu roślin i technologiach ich uprawy. Jedną z wielu cech, wykorzystywanych do oceny stanu gleby, jest jej wytrzymałość, od której zależy podatność gleby na zagęszczanie sprzętem rolniczym, nakłady energetyczne na uprawę, opór na jaki napotykają korzenie roślin oraz odporność na działanie czynników erozyjnych. Znajomość wytrzymałości gleby stanowi zatem ważną informację zarówno dla producentów i specjalistów zajmujących się uprawą roślin, jak i konstruktorów sprzętu rolniczego oraz jego użytkowników.

Wytrzymałość gleby jako ośrodka jest uwarunkowana przede wszystkim wielkością sił występujących na granicy faz. Te bowiem decydują zarówno o spójności (c), jak i o wielkości tarcia wewnętrznego gleby (ϕ).

W celu wyznaczenia wartości c i ϕ wykonuje się badania laboratoryjne próbek glebowych w aparatach bezpośredniego lub trójosiowego ścinania. Metody te są kosztowne i czasochłonne. Stąd poszukuje się metod szybkich i tanich, które możliwe byłyby do zastosowania w warunkach polowych.

W geotechnice do określania wytrzymałości gruntu na ścinanie w terenie stosuje się obrotowe sondy krzyżakowe (ścinaraki obrotowe). Badanie sondą obrotową, ze względu na niemożność określenia w czasie pomiaru naprężeń normalnych, umożliwia wyznaczenie jedynie ogólnej wytrzymałości na ścinanie (τ_f), bez podziału na siły tarcia i spójności, występujące w równaniu Coulomba [Wiłun 2003]. Jednak zakładając, że kąt tarcia wewnętrznego gleb spoistych, w stanie zbliżonym do miękkoplastycznego (grunty słabe), jest bliski zeru można wynik pomiaru ścinarką obrotową utożsamiać ze spójnością ($c \approx \tau_f$), [Wiłun 2003]. Ponieważ wykonuje się w tym przypadku szybkie ścinanie (w porównaniu do ww. metod laboratoryjnych) uzyskiwana wartość τ_f jest zazwyczaj wyższa niż c . Wynika to stąd, że wraz ze wzrostem prędkości odkształcania gleby wartości spójności i współczynnika tarcia wewnętrznego rosną. Przy czym szybciej wzrasta wartość spójności [Szwaj 1966 za Byszewski Haman 1972]. Niektórzy badacze [Bjerrum 1972 za Bowle 1984] wprowadzają współczynnik redukcyjny, wiążący wartości c i τ_f , którego wartość jest uzależniana od rodzaju gruntu, charakteryzowanego za pomocą wybranego parametru (np. wartość granicy plastyczności).

Różnice pomiędzy glebą użytkowaną rolniczo (grunt orny) i gruntem (budowlanym) powodują, że przedstawione powyżej wyniki badań geotechnicznych nie mogą być bezpośrednio zastosowane dla celów rolniczych. Zwłaszcza, że gleba (w trakcie wykonywania prac polowych) jest najczęściej w stanie półzwartym (wilgotność aktualna jest pomiędzy granicą skurczalności i plastyczności) lub twardoplastycznym, a wówczas $c \neq \tau_f$ [Domżał 1971]. Stąd wynika potrzeba prowadzenia oddzielnych badań wytrzymałościowych gleb użytkowanych rolniczo. Szczególnie dotyczy to tzw. warstwy podornej, ze względu na to, że dotychczasowe badania tego typu skoncentrowane były na warstwie ornej gleby.

W niniejszej pracy podjęto próbę zbadania (dla różnych gleb) zależności pomiędzy wartością wytrzymałości gleby zmierzonej ścinarką obrotową (vane tester) a wartością spójności wyznaczonej aparatem bezpośredniego ścinania. Celem tych badań było znalezienie odpowiedzi na pytanie czy w warunkach polowych możliwe jest zastosowanie ścinarki (przy braku pomiaru naprężeń normalnych) do prognozowania spójności gleby.

Metodyka i zakres pracy

Pomiary wytrzymałości gleby na ścinanie prowadzono w warunkach polowych i laboratoryjnych. Badania laboratoryjne wykonywano metodą bezpośredniego ścinania próbek w aparacie skrzynkowym typu AB, przy stałej prędkości odkształceń ($v\epsilon = 0,05$ mm/min). Próbki do badań pobierano w okresie wykonywania wiosennych prac polowych, z warstw: 25-30, 35-40, 45-50 i 55-60 cm.

Jako wartość wytrzymałości na ścinanie przyjmowano maksymalne wartości chwilowe τ_{gr} w zakresie odkształceń względnych $\epsilon \leq 10\%$ [PN-88/B-04481]. Wartości spójności c i kąta tarcia wewnętrznego ϕ obliczano metodą najmniejszych kwadratów wg wyrażenia Coulomba, przy liczbie próbek $n = 5$. Każdą próbkę poddawano tylko jednemu ścinaniu. Próbki ścinano przy naprężeniach normalnych, wzrastających od 40 do 300 kPa. Do dalszych rozważań wykorzystano wyniki pomiarów spójności gleby (c). Do pomiarów (w warunkach polowych) wytrzymałości gleby na ścinanie w ruchu obrotowym (τ_f) zastosowano krzyżakową ścinarkę obrotową firmy Geonor (vane tester).

Ponadto, w celu określenia właściwości gleby, determinujących jej wytrzymałość, (spójność) pobrano z badanych warstw próbki:

- z zachowaniem naturalnej struktury gleby (cylinderki Kopecky'ego, poj. 100 cm^3), dla których określono gęstość objętościową i wilgotność aktualną,
- bez zachowania struktury, w których oznaczono: uziarnienie, granicę plastyczności, zawartość próchnicy i węgla wapnia.

Wyniki i dyskusja

Doświadczenia przeprowadzono na glebach zwięzłych, zasobnych w materię organiczną, o uziarnieniu glina lekka - glina ciężka. W momencie prowadzenia badań wilgotność gleb była zbliżona do ich granicy plastyczności (tab. 1).

Poszukując zależności pomiędzy wartościami wytrzymałości gleby zmierzonymi ścinarką obrotową a spójnością wyznaczoną aparatem bezpośredniego ścinania, ze względu na to, że uzyskane wyniki τ_f były wyższe od wartości c , wprowadzono współczynnik redukcyjny (W_r):

$$W_r = c/\tau_f \quad (1)$$

Współczynnik ten został wykorzystany do prognozowania (metodą regresji liniowej) spójności badanych gleb w zależności od ich wybranych parametrów: granica plastyczności (W_p), zawartość iłu koloidalnego ($W_{0,002}$) i części spławianych

($W_{0,02}$). Uzyskane równania regresji do obliczania prognozowanych wartości współczynnika redukcyjnego (W_{rp}) przedstawiają się następująco:

$$W_{rp} = -0,0088 W_p + 0,48 \quad R^2 = 0,54, \quad (2)$$

$$W_{rp} = -0,0077 W_{0,02} + 0,45 \quad R^2 = 0,70, \quad (3)$$

$$W_{rp} = -0,0027 W_{0,002} + 0,43 \quad R^2 = 0,74. \quad (4)$$

Tabela 1. Właściwości fizyko-mechaniczne warstwy podornej gleb w Obojnie, Stobnie, Ostoi: τ_f – opór ścinania ścinarką, c – spójność (aparatury skrzynkowej), ρ_o – gęstość objętościowa, W_a – wilgotność aktualna wagowa, W_p – granica plastyczności oraz zawartość ilu koloidalnego (<0,002 mm), części sypialnych (<0,02 mm), próchnicy i węglanu wapnia ($CaCO_3$)

Table 1. Physical and mechanical properties of the subsoil in Obojno, Stobno, Ostoja: τ_f – vane shear strength, c – cohesion (direct shear box), ρ_o – bulk density, W_a – water content, W_p – plastic limit and content of clay (<0,002 mm), fine particles (<0,02 mm), organic matter and calcium carbonate ($CaCO_3$)

Warstwa [m]	τ_f [kPa]	c	ρ_o [g/cm]	W_a	W_p [% wag.]	Zawartość frakcji o średnicy [mm]		Próchnica	$CaCO_3$
						<0,002	<0,02		
Obojno									
0,25-0,30	176	44,9	1,49	20,4	26,8	25,0	66,8	3,44	0,10
0,35-0,40	183	43,1	1,45	21,7	27,7	27,5	70,8	2,92	0,07
0,45-0,50	165	37,6	1,42	23,7	29,4	30,0	76,5	1,73	2,99
0,55-0,60	129	26,3	1,41	24,7	28,0	29,0	81,0	1,08	11,41
Stobno									
0,25-0,30	119	44,8	1,64	17,8	18,5	13,8	32,5	2,31	0,0-0,43
0,35-0,40	104	39,7	1,62	18,5	19,2	15,0	34,0	1,87	0,00
0,45-0,50	102	34,4	1,58	18,8	19,2	14,8	34,0	1,89	0,00
0,55-0,60	112	41,1	1,64	17,1	18,3	15,8	36,8	1,08	0,0-0,21
Ostoja									
0,25-0,30	115	50,8	1,68	16,2	16,2	15,3	39,5	0,77	0,00
0,35-0,40	107	46,0	1,67	16,8	19,0	17,0	45,5	0,62	0,00
0,45-0,50	137	52,7	1,67	17,3	20,5	19,8	46,3	0,55	0,00
0,55-0,60	166	55,4	1,68	17,4	19,2	19,8	43,0	0,62	0,00

Otrzymane równania sprawdzono dla innej zbadanej gleby (Obojno Gospodarstwo), której wybrane właściwości przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wybrane właściwości warstwy podornej gleby (Obojno Gospodarstwo) zastosowanej do sprawdzenia równań regresji*

Table 2. Some properties of the subsoil (Obojno Gospodarstwo) used for testing regression equations

Warstwa [m]	τ_f [kPa]	c	ρ_o [g/cm]	W_a [% wag.]	W_p	Zawartość frakcji o średnicy [mm]	
						<0,002 [%]	<0,02
0,25-0,30	105	39	1,53	16,5	17,3	12,3	30,0
0,35-0,40	145	42	1,67	13,1	15,4	11,3	30,7
0,45-0,50	116	39	1,59	14,2	15,5	13,5	29,5
0,55-0,60	100	30	1,58	14,4	16,5	13,3	27,3

*- oznaczenia jak w tab. 1

Wyniki postępowania sprawdzającego, polegającego na porównaniu wartości spójności obliczonych i zmierzonych, przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Prognozowane (c_p – spójność) i uzyskane w badaniach empirycznych (c – spójność, τ_f – wytrzymałość na ścinanie zmierzona ścinarką obrotową) wartości oraz prognozowane (W_{rp}) i obliczone (W_r) współczynniki redukcyjne

Table 3. The estimated (c_p – cohesion) and the empirical (c – cohesion, τ_f – vane shear strength) values and the estimated (W_{rp}) and the calculated (W_r) reduction factors

Warstwa [m]	Numer równania	W_{rp} [-]	W_r	τ_f [kPa]	$c_p = W_{rp} \cdot \tau_f$	C
0,25-0,30	2	0,33	0,37	105	34	39
	3	0,22	0,37	105	23	39
	4	0,40	0,37	105	42	39
0,35-0,40	2	0,34	0,29	145	50	42
	3	0,21	0,29	145	31	42
	4	0,40	0,29	145	58	42
0,45-0,50	2	0,34	0,34	116	40	39
	3	0,22	0,34	116	26	39
	4	0,39	0,34	116	46	39
0,55-0,60	2	0,33	0,30	100	33	30
	3	0,24	0,30	100	24	30
	4	0,39	0,30	100	39	30

Z danych przedstawionych w tabeli 3 wynika, że największą przydatność do prognozowania wartości spójności gleby, w oparciu o wyniki pomiarów ścinania ścinarką obrotową, wykazuje granica plastyczności (W_p).

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że jest możliwe zastosowanie ścinarki obrotowej do prognozowania spójności gleby w warunkach polowych, bez konieczności określania naprężeń normalnych, będących składnikiem równania Coulomba.

Bibliografia

Bowle J., E. 1984. Physical and geotechnical properties of soils. McGraw-Hill Inc. USA.

Byszewski W., Haman J. 1972. Gleba maszyna roślina, PWN, Warszawa.

Domżał H., 1971. Zależność spójności od uwilgotnienia w glebach wytworzonych z różnych skał macierzystych, Annales UMCS Lublin, Vol. XXVI,10, Sectio E: 237-251.

Wiłun Z. 2003. Zarys geotechniki, WKiŁ, Warszawa.

Pracę wykonano w ramach projektu KBN 3PO6R 007 24

THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF SHEAR (TORE) VANE TO ASSESSMENT OF SOIL COHESION

Summary

The studies on relation between shear stress, measured by shear vane, and cohesion, determined using shear box, were carried out. The experiments were conducted on plastic soils (light loam and heavy loam), on different depths: 25-30, 35-40, 45-50 and 55-60 cm. It was found that the shear vane test can be used for estimation of the in situ value of soil cohesion.

Key words: loamy soil, subsoil layer, cohesion, shear box, shear vane