

SZACOWANIE GRANICY PLASTYCZNOŚCI GLEBY ZA POMOCĄ JEJ SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO

Dariusz Błażejczak, Jan B. Dawidowski

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

Streszczenie. W pracy podjęto próbę prognozowania granicy plastyczności wybranych gleb z rejonu Niziny Szczecińskiej. Do prognozowania wykorzystywano dane o składzie gleb lub jego wybrane wskaźniki. Stwierdzono, że dokładność prognozy granicy plastyczności zależy od składu granulometrycznego utworu glebowego. Ustalono również, że zastosowanie do modelowania przeciętnej średnicy ziarna, zewnętrznej powierzchni właściwej i stopnia dyspersji, zamiast informacji o zawartości wybranych frakcji składu granulometrycznego gleby, nie wpływa istotnie na jakość prognozy granicy plastyczności.

Słowa kluczowe: gleba, granica plastyczności, prognozowanie

Wstęp i cel

Nowoczesne rolnictwo ukierunkowane na maksymalizację zysków, uzyskiwanych z produkcji roślinnej przy zachowaniu wymogów ochrony środowiska, wymaga znajomości informacji o wielu właściwościach gleb. Znajomość właściwości gleb i procesów w niej zachodzących pozwalają bowiem na przeciwdziałanie różnym niekorzystnym zjawiskom, do których zalicza się m.in. pogarszanie się fizycznego stanu gleb uprawnych, będące wynikiem jej nadmiernego ugniatania przez sprzęt rolniczy.

Z punktu widzenia wytrzymałości gleby, a co za tym idzie jej podatności na ugniatanie pożądana jest znajomość jej granic konsystencji [Canarache 2001]. Wiedza ta, dotycząca szczególnie wartości granicy plastyczności gleby, może być przydatna dla praktyków pod kątem maksymalizacji efektu agrotechnicznego uprawy gleby oraz jej ochrony przed dalszą degradacją [Domżał 1978, Larson i in. 1994]. Można również wykorzystać tę wiedzę do klasyfikacji [Wiłun 2003] lub grupowania gleb na potrzeby prognozowania jej właściwości mechanicznych [Błażejczak 2010]. Istniejące dane o właściwościach gleby rzadko dotyczą informacji o jej granicach konsystencji. Stosunkowo często (np. opisy map glebowo – rolniczych) można natomiast pozyskać dane o składzie gleby. Powszechność stosowania tej charakterystyki wynika z faktu, że stosunki ilościowe ziaren o różnej średnicy decydują o wszystkich właściwościach gleb [Brogowski 1990; Raczuk 1987], w tym również o wartości granicy plastyczności.

W przeszłości podejmowano wiele prób prognozowania wartości granicy plastyczności na podstawie składu granulometrycznego gleby [Canarache 2001; Larson i in. 1994]. Jednak niejednorodność klasyfikacji stosowanych w różnych krajach oraz różne pochodzenie gleb powodują, że przydatność tych modeli jest ograniczona. Zasadnym jest zatem tworze-

nie metod przewidywania tej cechy na podstawie danych pochodzących z określonego regionu. Dlatego w niniejszej pracy podjęto próbę prognozowania granicy plastyczności wybranych gleb z rejonu Niziny Szczecińskiej. Realizując cel pracy testowano możliwość wykorzystania do prognozowania tej cechy informacji o zawartości poszczególnych frakcji składu gleb oraz wybranych, znanych wskaźników składu granulometrycznego.

Materiał i metody

Badano wybrane gleby (pola) z obszaru Niziny Szczecińskiej, o zróżnicowanej budowie profilu, w obrębie miejscowości: Nowy Przylep, Słotnica, Reńsko, Nowielice, Dębica, Obojno, Ostoja, Stobno, Skarbmierzyce. Materiał glebowy pobierano z warstw leżących na głębokościach: 5-10, 15-20, 25-30, 35-40, 45-50 i 55-60 cm. Skład granulometryczny oznaczono metodą Bouyoucosa-Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego (frakcje piasku obmywano na sicie o wymiarach oczek 0,1 mm). Zawartość próchnicy określano metodą Tiurina, a odczyn gleby – metodą elektrometryczną. Zawartość węgla wapnia oznaczano metodą Scheiblera. Granicę plastyczności oznaczano zgodnie z PN-88/B-04481, na próbkach glebowych przesianych przez sito o średnicy oczek równej 1 mm. Do obliczeń przeciętnej średnicy ziarna (GSS), zewnętrznej powierzchni właściwej (S) oraz stopnia dyspersji (D) stosowano użyzony przez Prusinkiewicza i Proszka [1990] program obliczeniowy TEK-STURA. Uzyskany zbiór danych podzielono na główny, służący do budowy modelu oraz walidacyjny, który wykorzystano do jego oceny.

Realizując cel pracy przyjęto niżej opisany tok postępowania. Na podstawie analizy aktualnego stanu wiedzy stwierdzono brak ogólnego modelu teoretycznego przedstawiającego zależność granicy plastyczności od parametrów składu granulometrycznego gleb plastycznych. Dlatego uznano, że zależności te będą poszukiwane na drodze doboru równań regresji dla określonego przedziału zmienności badanych gleb. Założono przy tym, że do budowy modelu wystarczy zastosować regresję wieloraką. Za podstawę podziału gleb na podzbiory przyjęto zawartość cząstek spławialnych (<0,02 mm), ponieważ decydują one o właściwościach gleb, co potwierdzono w licznych badaniach. Granice charakterystycznych przedziałów (do 35, 35 – 50, powyżej 50%) oraz nazwy grup granulometrycznych przyjęto wg tzw. „starej” klasyfikacji PTG [1989], ponieważ jest ona zgodna z oznaczeniami stosowanymi na mapach glebowo – rolniczych. Wybierając zmienne niezależne odrzucono te, które były słabo skorelowane z objaśnianą (zależną) lub wysoko skorelowane z inną niezależną, przy czym odrzucano tę, której określenie jest bardziej pracochłonne, lub jest ona rzadziej stosowana. Podstawą walidacji uzyskanych równań regresji był błąd względny prognozy (δ_p), który obliczano z zależności:

$$\delta_p = \frac{|P_L - P_{LP}|}{P_L} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

gdzie:

- P_L – oznaczona wartość granicy plastyczności [% wag.],
- P_{LP} – prognozowana wartość granicy plastyczności [% wag.].

Przyjęto, że równanie należy uznać za dobre, gdy błąd względny prognozy nie przekracza 10%. Jako możliwe do zaakceptowania, dla potrzeb zgrubnego szacowania wartości granicy plastyczności, traktowano te równania, dla których błąd ten nie przekraczał 20%.

Wyniki i dyskusja

Wyniki oznaczeń i obliczeń wybranych właściwości gleby zamieszczono w tabeli 1. Na podstawie tych danych można stwierdzić, że gatunek badanych gleb mieścił się w przedziale od gliny lekkiej pylastej (*glp*) do łu (*i*), a ich odczyn był zróżnicowany, od kwaśnego do zasadowego i mieścił się w granicach od 4,67 do 7,50 pH (w KCl). Zawartość próchnicy (P_r) kształtowała natomiast się pomiędzy 0,25-4,17%, co odpowiadało glebie próchniczej. Granica plastyczności (P_L) zawierała się przedziale od 14,1 do 40,4%. Obliczona przeciętna średnica ziarna (GSS) oscylowała pomiędzy 0,003-0,046 mm, a zewnętrzna powierzchnia właściwa (S) od 35,4 do 187,8. Stopień dyspersji (D) zawarty był zaś w przedziale 93,7-497,5. Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 1 można zatem uznać, że materiał badawczy był zróżnicowany i obejmował stosunkowo szeroki zakres zmienności wykorzystanych w modelowaniu parametrów gleb. Można także zauważyć, że zakresy zmienności parametrów zbioru głównego i walidacyjnego były zbliżone.

Tabela 1. Charakterystyka zbiorów danych - wyniki oznaczeń wybranych właściwości gleb
Table 1. Description of data collection - results of abbreviations of selected soil properties

Zawartość cząstek <0,02 mm [%]	Oznaczone					Obliczone		
	Grupa granulotryczna (liczba próbek)	pH	P_r	$ZCaCO_3$	P_L	GSS	S	D
		[-]	[%]	[%]	[% wag.]	[mm]	[m ² ·g ⁻¹]	[m ² ·cm ⁻³]
Zbiór główny								
≤35	glp(5), gs(1), pl(1), plz(19), plz/pli(5)	4,77-7,50	0,43-3,93	0,0-5,0	15,1-23,7	0,019-0,046	35,4-69,4	93,7-184,0
(35-50>	gs(11), gs/gc(1), gsp(6), pli(3)	4,67-7,38	0,42-2,30	0,0-2,86	14,8-23,7	0,015-0,035	47,7-110,2	126,5-292,0
>50	gc(13), gc/i(1), gcp(3), i(12), ip(2), ipl(3)	5,19-7,18	0,25-4,17	0,0-22,18	17,9-40,4	0,003-0,017	83,9-187,8	220,5-497,5
Zbiór walidacyjny								
≤35	plz(8), plz/pli(1), glp(2)	4,97-7,48	0,38-4,12	0,0-5,12	14,1-25,9	0,020-0,045	44,3-69,4	117,5-184,0
(35-50>	gs(4), gsp(3), gs/gc(1)	5,11-7,33	0,29-1,78	0,0-0,21	17,2-22,4	0,012-0,041	70,3-115,0	186,3-304,7
>50	gc(4), i(3), ipl(1)	5,60-7,07	0,47-4,17	0,0-19,62	20,3-39,2	0,003-0,015	101,7-170,6	269,6-452,2

Objaśnienia: pH - odczyn, P_r - zawartość próchnicy, $ZCaCO_3$ - zawartość $CaCO_3$, P_L - granica plastyczności, GSS - przeciętna średnica ziarna, S - zewnętrzna powierzchnia właściwa, D - stopień dyspersji glp - glina lekka pylasta, gs - glina średnia, gsp - glina średnia pylasta, gc - glina ciężka, gcp - glina ciężka pylasta, ip - łu pylasty, i - łu, plz - pył zwykły, plg - pył gliniasty, pli - pył ilasty

Legend of abbreviations: pH - reaction, P_r - humus content, $ZCaCO_3$ - $CaCO_3$ content, P_L - plasticity limit, GSS - mean grain diameter, S - outer specific surface, D - dispersion diameter, glp - light silty loam, gs - medium loam, gsp - medium silty loam, gc - medium silty loam, gcp - heavy silty loam, ip - silty clay, i - clay, plz - silt, plg - mould silt, pli - clay silt

W tabeli 2 zamieszczono wyniki poszukiwań równań regresji do prognozowania wartości granicy plastyczności gleby dla określonego przedziału zmienności badanych gleb. Otrzymane równania (R_{F_x} i R_{P_x}) charakteryzują się tym, że wymagają zastosowania stosunkowo niewielkiej liczby predyktorów – maks. 3. Zastosowanie ich wymaga znajomości zawartości próchnicy, a więc tej charakterystyki gleby, która jest powszechnie stosowana.

Analizując równania $R_{F_1} - R_{F_3}$, uzyskane na podstawie szczegółowych danych o zawartości poszczególnych frakcji składu granulometrycznego, można zauważyć, że szczególnie przydatne do prognozowania wartości granicy plastyczności gleby są informacje o zawartości drobniejszych frakcji części ziemistych. Należy dodać, że znaczenie tych frakcji rośnie wraz ze wzrostem tzw. ciężkości składu gleby.

W przypadku równań $R_{P_1} - R_{P_3}$, które uzyskano z wykorzystaniem syntetycznych wskaźników opisujących uziarnienie gleby (GSS - przeciętna średnica ziarna, S - zewnętrzna powierzchnia właściwa i D - stopień dyspersji), okazało się, że najlepszym predyktorem była przeciętna średnica ziarna. W przypadku równania R_{P_2} istotnie statystycznym predyktorem okazał się także odczyn gleby, czyli parametr, który jest również, podobnie jak zawartość próchnicy, powszechnie oznaczany.

Wszystkie równania (R_{F_x} i R_{P_x}) charakteryzują się dobrym dopasowaniem do uzyskanych danych doświadczalnych. Świadczą o tym obliczone wartości współczynnika determinacji (R^2) mieszczące się w przedziale od 0,71 do 0,92. Zauważyć przy tym można, że najniższe wartości tego współczynnika uzyskano dla gleb o zawartości cząstek spławialnych (<0,02 mm) mieszczących się w przedziale od około 35 do 50%, których skład granulometryczny był najczęściej gliną średnią (zob. tab. 1). Uzyskane stosunkowo dobre dopasowanie równań do danych doświadczalnych ma swoje odzwierciedlenie w jakości uzyskiwanej prognozy. Świadczą o tym wyniki walidacji (tab. 2). Średni błąd względny prognozy (δ_p) nie przekraczał 10%. Takie wartości δ_p były obserwowane najczęściej dla gleb o składzie pyłu zwykłego i gliny średniej pylastej oraz utworów cięższych zawierających od 50 do około 70% cząstek spławialnych. Wyższe wartości δ_p (do 20%) były charakterystyczne dla glin średnich. Obliczona natomiast maksymalna wartość δ_p wynosiła 26,9% i została stwierdzona dla gleb o zawartości cząstek spławialnych równej 95%. Biorąc zatem pod uwagę zmienność δ_p , którą przedstawiono w nawiasach za pomocą wartości odchylenia standardowego, należy stwierdzić, że zaproponowane równania mogą służyć do zgrubnego szacowania wartości granicy plastyczności. Należy także dodać, że równania uzyskano dla przyjętych przedziałów zmienności gleb opisanych zawartością cząstek <0,02 mm. Dlatego w przyszłych badaniach ukierunkowanych na modelowanie granicy plastyczności należałoby przetestować możliwość zastosowania innych klasyfikacji utworów glebowych.

Z analizy danych zamieszczonych w tabeli 2 wynika również, że zastosowanie syntetycznych wskaźników opisujących uziarnienie gleby nie wpłynęło na polepszenie jakości prognozy granicy plastyczności, ponieważ wyniki walidacji równań serii R_{F_x} i R_{P_x} były do siebie zbliżone, co zostało potwierdzone statystycznym testem istotności.

Szacowanie granicy plastyczności...

Tabela 2. Równania regresji do prognozowania wartości granicy plastyczności gleby i ich ocena statystyczna oraz wyniki ich walidacji

Table 2. Regression equations for forecasting values of soil plasticity limit and their statistical estimation as well as the results of their validation

Numer równania	Zawartość cząstek <0,02 mm [%]	Równanie	Ocena statystyczna równania		Wynik walidacji równania
			p	R^2	δ_p [%]
Równania serii R_{Fx} uzyskane na podstawie szczegółowych danych o zawartości poszczególnych frakcji składu granulometrycznego					
R_{F1}	≤ 35	$16,7 + 2,09 \cdot P_r - 0,207 \cdot Z_{(0,5-0,25)}$	+++	0,92	9,2 (6,2 [#])
R_{F2}	(35 – 50>	$-13,53 + 2,36 \cdot P_r + 0,267 \cdot Z_{(0,05-0,02)} + 0,643 \cdot Z_{(<0,02)}$	+++	0,71	9,6 (7,3 [#])
R_{F2}	>50	$19,01 + 0,65 \cdot P_r + -0,373 \cdot Z_{(0,25-0,1)} + 0,305 \cdot Z_{(<0,002)}$	+++	0,92	6,8 (8,5 [#])
Równania serii R_{Px} uzyskane na podstawie parametrów opisujących skład granulometryczny					
R_{P1}	≤ 35	$18,32 + 1,99 \cdot P_r - 95,72 \cdot GSS$	+++	0,85	9,0 (6,9 [#])
R_{P2}	(35 – 50>	$35,77 + 2,18 \cdot P_r - 1,33 \cdot pH - 469,04 \cdot GSS$	+++	0,82	10,0 (6,7 [#])
R_{P3}	>50	$32,91 + 0,50 \cdot P_r - 875,2 \cdot GSS$	+++	0,90	6,1 (7,4 [#])

Objaśnienia: p - prawdopodobieństwo graniczne (+++ - $p < 0,001$), R^2 - współczynnik determinacji, δ_p - błąd względny prognozy; # - wartości odchylenia standardowego δ_p ; pozostałe symbole zob. tab.1.

Legend of abbreviations: p - maximum probability (+++ - $p < 0,001$), R^2 - coefficient determination, δ_p - forecast relative error; # - standard deviation values δ_p ; other symbols vide table 1.

Wnioski

1. Dokładność prognozy granicy plastyczności zależy od składu granulometrycznego utworu glebowego. W przypadku gleb o składzie pyłu zwykłego lub gliny średniej pylastej oraz utworów cięższych zawierających od 50 do około 70% cząstek spławialnych zaproponowane równania pozwalają na prognozowanie wartości tego parametru z błędem do 10%. Dla glin średnich lub ilów o zawartości cząstek spławialnych przekraczającym 90% należy się liczyć z dwu lub trzykrotnie większym błędem prognozy.
2. Zastosowanie do modelowania granicy plastyczności przeciętnej średnicy ziarna, zewnętrznej powierzchni właściwej i stopnia dyspersji, zamiast informacji o zawartości wybranych frakcji składu granulometrycznego gleby, nie wpływa istotnie na jakość prognozy tego parametru.

Bibliografia

- Błażejczak D.** 2010. Prognozowanie naprężenia granicznego w warstwie podornej gleb ugniatanych kołami pojazdów rolniczych. Wydawnictwo Uczelniane ZUT w Szczecinie. ISBN 978-83-7663-050-2.
- Brogowski Z.** 1990. Próba obliczania niektórych właściwości fizycznych gleb na podstawie analizy ziarnowej. Roczn. Glebozn. 41. z. 3/4. s. 17-28.

- Canarache A.** 2001. Research on Soil Mechanical Properties and Related Pedotransfer Functions in Romania – a Review Research Institute for Soil Science and Agrochemistry. Bucharest, Romania. pp. 221-226.
- Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A., Turski R.** 1978. Gleboznawstwo z elementami geologii i mechaniki gleby. Wyd. Akademii Rolniczej w Lublinie.
- Larson W.E., Eynard A., Hadas A., Lipiec J.**, 1994. Control and Avoidance of Soil Compaction in Practice. In: Soil Compaction in Crop Production. pp. 597-601.
- Prusinkiewicz Z., Proszek P.** 1990. Program komputerowej interpretacji wyników analizy uziarnienia gleb – TEKSTURA. Roczn. Glebozn. 41, z. 3/4. s. 5-16.
- Raczk J.** 1987. Niektóre właściwości fizyczne gleby brunatnej i jej frakcji granulometrycznych. Roczn. Glebozn. 38. s. 2.
- Wilun Z.** 2003. Zarys geotechniki. WKiŁ, Warszawa. ISBN 83-206-1354-X.
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze 1989. Systematyka Gleb Polski. Roczniki Gleboznawcze t. XL. Nr 3/4. PWN. Warszawa. s. 132-133.

ESTIMATION OF SOIL PLASTICITY LIMIT BY THE USE OF ITS GRAIN COMPOSITION

Abstract. The study attempts to forecast the plasticity limit of the selected soils from the region of Nizina Szczecińska. Data on soil composition or selected indexes were used for forecasting. It was determined that preciseness of the forecast of the plasticity limit depends on the grain composition of a soil formation. It was also determined that the application of outer specific surface and dispersion degree for modelling an average grain diameter, instead of information on the content of the selected fractions of soil grain composition, does not influence substantially the quality of the plasticity limit forecast.

Key words: soil, plasticity limit, forecasting

Adres do korespondencji:

Dariusz Błażejczak; e-mail: dariusz.blazejczak@zut.edu.pl
Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI/3
71-459 Szczecin