

WPLYW PRZYDATNOŚCI ROLNICZEJ GLEB PŁOWYCH
WYTWORZONYCH Z GLIN ZWAŁOWYCH NA ICH STRUKTURĘ
AGREGATOWĄ

Jan Paluszek

Instytut Gleboznawstwa, Inżynierii i Kształtowania Środowiska,
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. S. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin
e-mail: jan.paluszek@up.lublin.pl

Streszczenie. Celem pracy była ocena agregacji i wodoodporności agregatów w glebach płowych wytworzonych z glin zwałowych. Gleby te były zaliczane do różnych kompleksów przydatności rolniczej: pierwszego, drugiego i trzeciego. Próbkę gleb pobrano z poziomów Ap (z głębokości 0-25 cm) i z poziomów podpowierzchniowych Et, Bt i C (z głębokości 25-50 cm, 50-75 cm i 75-100 cm) po zbiorze pszenicy ozimej. Poziomy Ap badanych gleb charakteryzowały się większą zawartością powietrznie suchych agregatów o wymiarach 0,25-10 mm (w tym agregatów 1-5 mm), mniejszą zawartością brył >10 mm oraz większą zawartością wodoodpornych agregatów o wymiarach 0,25-10 mm, zwłaszcza 1-10 mm, niż poziomy podpowierzchniowe. Skład agregatowy w poziomach Ap gleb kompleksu pierwszego oceniono jako korzystny, a w poziomach Ap gleb kompleksu drugiego i trzeciego jako średnio korzystny. Skład agregatowy w poziomach podpowierzchniowych gleb oceniono najczęściej jako średnio korzystny. Wodoodporność agregatów w poziomach Ap gleb zaliczanych do kompleksu pierwszego i drugiego oceniono jako korzystną, a w poziomach Ap gleb kompleksu trzeciego jako średnią. Wodoodporność agregatów w poziomach podpowierzchniowych Et, Bt i C została oceniona jako średnia lub słaba.

Słowa kluczowe: gleby płowe, kompleks przydatności rolniczej, skład agregatowy, wodoodporność agregatów

WSTĘP

Korzystna struktura gleby charakteryzuje się dużą zawartością trwałych makroagregatów o wymiarach 0,25-10 mm, a zwłaszcza 1-10 mm, natomiast małym udziałem brył o wymiarach >10 mm i mikroagregatów <0,25 mm (Oades 1984, Braunack i Dexter 1989, Amézketa 1999, Bronick i Lal 2005). W warunkach polowych trwała struktura agregatowa zapobiega nadmiernemu zagęszczeniu gleby, zapewnia jej korzystną zawartość porów kapilarnych (o średnicy równo-

ważnej 0,2-20 μm) dla retencjonowania wody użytecznej dla roślin i odpowiednią zawartość makroporów o średnicy $>20 \mu\text{m}$, od których zależy przewodnictwo wodne oraz pojemność i przepuszczalność powietrzna (Amézketa 1999, Bronick i Lal 2005, Rząsa i Owczarzak 2005, Lipiec i in. 2007). Trwałość agregatów wpływa na rozwój mikroorganizmów glebowych, zwiększa aktywność biologiczną gleby, stwarza odpowiednie warunki dla kiełkowania, wschodów i rozwoju roślin, wpływa na długość ich korzeni i gęstość łanu. Ponadto wodoodporna struktura agregatowa chroni glebę przed zaskorupieniem powierzchniowym, zwiększa infiltrację wody opadowej, zmniejsza szybkość spływu powierzchniowego i erozję wodną (Le Bissonnais 1996, Darboux i Le Bissonnais 2007, Vermang i in. 2009).

Klasyfikacja rolniczej przydatności gleb uwzględnia typ, rodzaj i gatunek gleby, jej budowę morfologiczną, niektóre właściwości fizyczne, fizykochemiczne i chemiczne, stopień kultury rolnej, rzeźbę terenu i warunki wilgotnościowe (Strzemski i in. 1973). Według tej klasyfikacji gleby zaliczane do kompleksu pierwszego charakteryzują się dobrą strukturą, a w glebach drugiego kompleksu przyczyną obniżenia żyzności może być słabsza strukturalność.

Celem badań było szczegółowe porównanie oraz ocena składu agregatowego i wodoodporności agregatów w glebach płowych wytworzonych z glin zwałowych, zaliczanych do różnych kompleksów rolniczej przydatności.

MATERIAŁ I METODY

Badania terenowe prowadzono w latach 2008-2011. Do badań wybrano po 4 pedony z trzech kompleksów przydatności rolniczej gleb, pod uprawą pszenicy ozimej. Badaniami objęto łącznie 12 gleb w miejscowościach położonych w różnych mezoregionach fizycznogeograficznych Polski (Kondracki 2002):

- a) gleby płowe typowe wytworzone z glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego lub północnopolskiego, należące do kompleksu pszenego bardzo dobrego (pierwszego) i I-II klasy bonitacyjnej, o sekwencji poziomów genetycznych Ap-Et-Bt-C (PTG 2011): Karolew, Kozia Góra i Muchnice (Równina Kutnowska), Marcinkowo Górne (Pojezierze Gnieźnieńskie);
- b) gleby płowe typowe lub płowe opadowo-glejowe wytworzone z glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego, zaliczane do kompleksu pszenego dobrego (drugiego) i klasy bonitacyjnej IIIa-IIIb, o sekwencji poziomów Ap-Et-Bt-C: Wolica, Wielkolas (Wysoczyzna Lubartowska), Kock (Równina Łukowska) lub o sekwencji poziomów Ap-Etg-Btg-C: Dębiny (Wysoczyzna Lubartowska);
- c) gleby płowe typowe wytworzone z glin zwałowych zlodowacenia północnopolskiego, należące do kompleksu pszenego wadliwego (trzeciego) i klasy bonitacyjnej IVa, zerodowane i niecałkowicie napiaskowe: o sekwencji pozio-

mów Ap-Bt-C: Wszedzień, Gąsawa (Pojezierze Gnieźnieńskie), o sekwencji poziomów Ap-Bt-2C: Sobiejuchy, Wenecja (Pojezierze Gnieźnieńskie).

Próbki gleb do badań laboratoryjnych pobierano w sierpniu, wkrótce po zbiorze pszenicy lub w fazie jej dojrzałości pełnej. Pobrano je w ilości 1,5-2 kg z czterech warstw pedonu z głębokości: 0-25 cm (z poziomu Ap), 25-50 cm (z poziomów Et, Etg lub Bt), 50-75 cm (z poziomów Bt, Btg lub 2C) i 75-100 cm (z poziomów Bt, Btg, C lub 2C).

Skład granulometryczny gleb oznaczono metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, z rozdzielaniem frakcji piasku na sitach o wymiarach oczek 1; 0,5; 0,25 i 0,1 mm. Grupy granulometryczne określono według klasyfikacji Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego z 2008 r. (PTG 2009). Zawartość węgla organicznego oznaczano analizatorem Vario Max CNS Elementar w Centralnym Laboratorium Analiz Chemicznych IUNG w Puławach. Odczyn gleby określono na podstawie pomiaru pH w 1 mol KCl·dm⁻³ metodą potencjometryczną, stosując elektrodę zespoloną.

Skład agregatowy gleb (kg·kg⁻¹) oznaczono metodą przesiewania w stanie powietrznie suchym, przez zestaw sit o wymiarach oczek: 10; 7; 5; 3; 1; 0,5 i 0,25 mm, stosując naważkę 500 g w dwóch powtórzeniach.

Zawartość wodoodpornych agregatów glebowych (kg·kg⁻¹) oznaczono metodą przesiewania w wodzie, za pomocą zmodyfikowanego aparatu Bakszejewa, wykonanego w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie. Stosowano naważkę gleby o masie 25 g (w 4 powtórzeniach), złożoną z agregatów powietrznie suchych proporcjonalnie do ich rozkładu według wymiarów. Naważkę umieszczano w zestawie sit o średnicy oczek: 7; 5; 3; 1; 0,5 i 0,25 mm. Zwilżanie agregatów następowało w wyniku podsiąku, a następnie zanurzano je w wodzie. Czas wodnego przesiewania w wyniku ruchu sit wynosił 12 minut. Następnie poszczególne wodoodporne frakcje agregatów przenoszono z sit na sączki, suszono i ważono.

Otrzymane wyniki zawartości poszczególnych frakcji powietrznie suchych i wodoodpornych agregatów (elementów strukturalnych) zsumowano i zestawiono w tabelach. Nie wprowadzano tzw. poprawki piaskowej na zawartość w glebach podfrakcji piasku bardzo grubego (o wymiarach 2-1 mm), grubego (1-0,5 mm) i średniego (0,5-0,25 mm) oraz drobnego żwiru >2 mm. Na podstawie wyników przesiewania obliczono średnie ważone średnice agregatów powietrznie suchych (mean weight diameter – MWD_{dry}) i agregatów wodoodpornych (MWD_{wet}) metodą Youkera i McGuinnessa (1957).

Wyniki badań poddano analizie wariancji z wykorzystaniem klasyfikacji podwójnej w układzie całkowicie losowym za pomocą programu STATISTICA 7 PL (StatSoft 2006). Analizowanymi czynnikami były kompleksy przydatności rolniczej i głębokości warstw gleby. Istotność uzyskanych różnic weryfikowano testem Tukeya. Obliczono również współczynniki korelacji prostej (r) pomiędzy

zawartością powietrznie suchych i wodoodpornych agregatów a zawartością poszczególnych frakcji granulometrycznych i węgla organicznego oraz pH gleb.

Ocenę składu powietrznie suchych agregatów i wodoodporności agregatów glebowych dokonano na podstawie wyników badań nad strukturą 100 pedonów należących do różnych jednostek systematycznych gleb Polski (Paluszek 2011a) oraz klasyfikacji Le Bissonnais (1996).

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Badane gleby płowe wytworzone z glin zwałowych, zaliczane do różnych kompleksów przydatności rolniczej, zawierały w poziomie Ap (0-25 cm) 0,1-8,9% frakcji żwiru >2 mm, a w składzie części ziemistych 45-76% frakcji piasku (2-0,05 mm), 16-50% pyłu (0,05-0,002 mm) i 5-18% łu <0,002 mm. Pod względem granulometrycznym stanowiły najczęściej gliny lekkie, rzadziej gliny piaszczyste, gliny piaszczysto-ilaste lub gliny zwykłe. W poziomach głębszych (25-100 cm) badane gleby zawierały 0,1-9,2% żwiru, 37-95% piasku, 11-33% pyłu i 5-30% łu (tab. 1). Gleby zaliczane do kompleksu drugiego zawierały więcej pyłu niż gleby kompleksu pierwszego i trzeciego.

Tabela 1. Skład granulometryczny gleb, zawartość C org. i odczyn (zakres wartości z 4 pedonów)
Table 1. Soil texture, Corg. content and pH (range of values from 4 pedons)

Kompleks Complex	Głębokość Depth (cm)	Poziom Horizon	% frakcji o średnicy w mm % fraction with diameter in mm				C org. (g·kg ⁻¹)	pH KCl
			>2	2-0,05	0,05-0,002	<0,002		
Pierwszy First	0-25	Ap	1,0-8,9	67-76	18-28	5-8	6,66-10,20	5,34-6,46
	25-50	Et	1,8-3,3	63-68	14-28	5-23	1,80-2,68	4,51-6,37
	50-75	Bt	0,4-9,2	56-75	17-21	11-27	0,60-2,46	5,65-6,28
	75-100	Bt	0,7-8,5	57-75	11-20	12-23	0,90-1,92	5,79-6,48
Drugi Second	0-25	Ap	0,1-1,6	45-56	35-50	5-12	6,00-8,52	4,01-5,37
	25-50	Et	0,2-4,2	54-61	21-29	10-21	1,32-2,82	4,15-4,55
	50-75	Bt, Btg	0,1-1,5	37-55	21-33	21-30	1,56-1,92	4,18-4,99
	75-100	Bt, Btg	0,1-0,5	41-56	20-29	21-29	0,42-2,04	4,21-5,18
Trzeci Third	0-25	Ap	1,2-5,4	58-76	16-26	7-18	4,86-9,36	6,03-6,48
	25-50	Bt	0,2-4,1	46-69	10-33	16-24	1,08-1,98	5,20-6,36
	50-75	Bt, 2C	0,1-2,6	48-95	3-32	2-20	0,90-2,10	6,37-6,61
	75-100	C, 2C	0,2-3,3	51-91	2-31	5-18	0,36-1,50	6,58-7,48

Zawartość węgla organicznego w poziomach Ap gleb wynosiła 4,86-10,20 g·kg⁻¹, a w poziomach podpowierzchniowych zmniejszała się do 0,36-2,82 g·kg⁻¹ (tab. 1). Odczyn gleb zaliczanych do kompleksu pierwszego był najczęściej słabo kwaśny lub kwaśny (pH 4,51-6,48), a gleb kompleksu drugiego silnie kwaśny lub kwaśny (pH 4,01-5,37). Natomiast gleby kompleksu trzeciego miały najczęściej odczyn słabo kwaśny lub obojętny (pH 6,03-6,61) a w niektórych poziomach C zawierających węglan wapnia – odczyn zasadowy (pH 7,22-7,48).

Uzyskane wyniki badań wykazały znaczne zróżnicowanie składu agregatowego i zawartości wodoodpornych agregatów zarówno pomiędzy glebami należącymi do poszczególnych kompleksów rolniczej przydatności, jak również pomiędzy poziomami i warstwami w obrębie pedonów.

W składzie agregatowym poziomów Ap (0-25 cm) badanych gleb płowych makroagregaty (powietrznie suche elementy strukturalne) o wymiarach 0,25-10 mm stanowiły średnio 0,567 kg·kg⁻¹ i przeważały nad bryłami o wymiarach >10 mm (0,372 kg·kg⁻¹) i mikroagregatami <0,25 mm (0,061 kg·kg⁻¹) (tab. 2).

Poziomy Ap charakteryzowały się istotnie większą zawartością agregatów powietrznie suchych 0,25-10 mm o 0,131 kg·kg⁻¹ od poziomów podpowierzchniowych w warstwie 75-100 cm. Ponadto w poziomach Ap stwierdzono istotnie więcej agregatów 1-5 mm (o 0,072-0,080 kg·kg⁻¹) niż w warstwie 50-100 cm i mniej brył >10 mm (o 0,121-0,147 kg·kg⁻¹) niż w warstwie 25-100 cm. W rezultacie średnia ważona średnica agregatów powietrznie suchych w poziomach Ap wynosiła 10,9 mm i była istotnie mniejsza niż w poziomach głębszych (14,6-16,2 mm).

Gleby płowe należące do kompleksu pierwszego charakteryzowały się istotnie większą zawartością powietrznie suchych agregatów o wymiarach 0,25-10 mm (średnio o 0,098 kg·kg⁻¹), w tym agregatów 1-5 mm (o 0,036 kg·kg⁻¹) od gleb kompleksu drugiego (tab. 2). Gleby kompleksu pierwszego miały również istotnie większą zawartość agregatów o wymiarach 1-10 mm (średnio o 0,061 kg·kg⁻¹), w tym agregatów 5-10 mm (o 0,034 kg·kg⁻¹) od gleb kompleksu trzeciego. Z kolei gleby zaliczane do kompleksu drugiego zawierały istotnie więcej brył >10 mm (o 0,091 kg·kg⁻¹) od gleb kompleksu pierwszego. Decydowała o tym największa średnia ważona średnica agregatów powietrznie suchych w warstwie 50-100 cm (19,3-23,5 mm). Natomiast gleby kompleksu trzeciego zawierały istotnie więcej od gleb kompleksu drugiego agregatów 0,25-1 mm (o 0,103 kg·kg⁻¹), z których znaczna część stanowiła niepołączone ze sobą ziarna piasku grubego i średniego.

Powietrznie suche agregaty glebowe podczas przesiewania w wodzie rozpadały się na drobniejsze frakcje, w tym także na elementy strukturalne o wymiarach 1-3 mm, 0,25-1 mm i <0,25 mm, stanowiące w znacznej części oddzielne ziarna żwiru i piasku, zwłaszcza piasku średniego (0,25-0,5 mm). Zawartość wodood-

pornych elementów strukturalnych (agregatów i ziaren piasku) o wymiarach 0,25-10 mm w poziomach Ap gleb wynosiła średnio $0,605 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i była istotnie większa niż w poziomach podpowierzchniowych ($0,509\text{-}0,524 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) (tab. 3). Istotnie większa w poziomach Ap niż w warstwie 25-100 cm była zwłaszcza zawartość trwałych agregatów o wymiarach 1-10 mm (o $0,105\text{-}0,140 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$), w tym 5-10 mm (o $0,060\text{-}0,084 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) i 1-5 mm (o $0,045\text{-}0,056 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$). W rezultacie średnia ważona średnica agregatów wodoodpornych w poziomach Ap wynosiła 1,40 mm i była istotnie większa niż w poziomach głębszych ($0,63\text{-}0,83 \text{ mm}$).

Zawartość trwałych agregatów o wymiarach 0,25-10 mm w glebach kompleksu pierwszego i drugiego była istotnie większa niż w glebach kompleksu trzeciego, zarówno w poziomach Ap (o $0,166\text{-}0,179 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$), jak i w poziomach podpowierzchniowych (o $0,154\text{-}0,348 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) (tab. 3).

Istotnie większą zawartość w glebach kompleksu pierwszego i drugiego wykazywały także trwałe agregaty 1-10 mm (średnio o $0,092\text{-}0,118 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 5-10 mm (o $0,029\text{-}0,034 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 1-5 mm (o $0,058\text{-}0,089 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) i 0,25-1 mm (o $0,104\text{-}0,128 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$). W rezultacie średnia ważona średnica agregatów wodoodpornych w glebach kompleksu pierwszego i drugiego była istotnie większa, niż w glebach kompleksu trzeciego.

Analiza statystyczna wykazała, że zawartość brył $>10 \text{ mm}$ dodatnio korelowała na poziomie istotności 0,01 z zawartością frakcji iltu ($r = 0,79$) i ujemnie z zawartością piasku ($r = -0,59$) oraz na poziomie istotności 0,05 z zawartością żwiru ($r = -0,29$) (tab. 4). Udział agregatów 1-5 mm był na poziomie istotności 0,01 dodatnio skorelowany z zawartością C org. ($r = 0,47$) i zawartością żwiru ($r = 0,37$) oraz na poziomie istotności 0,05 z zawartością pyłu ($r = 0,35$).

Zawartość powietrznie suchych agregatów 0,25-1 mm była na poziomie istotności 0,01 dodatnio skorelowana z zawartością piasku ($r = 0,74$), podobnie jak zawartość mikroagregatów $<0,25 \text{ mm}$ ($r = 0,39$), co wynikało z dużego udziału tej frakcji w elementach strukturalnych, ponieważ nie uwzględniono poprawki piaskowej. Udział agregatów powietrznie suchych o wymiarach 0,25-10 mm korelował dodatnio na poziomie istotności 0,01 z zawartością piasku ($r = 0,58$) oraz na poziomie istotności 0,05 z zawartością żwiru ($r = 0,30$) i C org. ($r = 0,29$) (tab. 4). Ponadto ilość agregatów 1-5 mm, 0,25-1 mm, $<0,25 \text{ mm}$ i 0,25-10 mm ujemnie korelowała na poziomie istotności 0,01 z zawartością iltu. Średnia ważona średnica agregatów powietrznie suchych wykazywała na poziomie istotności 0,01 dodatnią korelację z zawartością iltu ($r = 0,71$), a ujemną z zawartością piasku ($r = -0,49$) i pH ($r = -0,30$).

Tabela 2. Skład powietrznie suchych agregatów glebowych (wartości średnie z 4 pedonów)
Table 2. Air-dry soil aggregate distribution (mean values from 4 pedons)

Kompleks Complex	Warstwa – głębokość Layer – depth (cm)	Zawartość powietrznie suchych agregatów o średnicy w mm Air-dry aggregate content of diameter in mm (kg·kg ⁻¹)							Średnia ważona średnica MWD dry (mm)
		>10	5-10	1-5	0,25-1	<0,25	0,25-10	1-10	
Pierwszy First	0-25	0,285	0,155	0,245	0,267	0,048	0,667	0,400	8,8
	25-50	0,518	0,126	0,169	0,152	0,035	0,447	0,295	16,5
	50-75	0,482	0,179	0,163	0,126	0,050	0,468	0,342	13,9
	75-100	0,462	0,204	0,180	0,118	0,036	0,502	0,384	14,6
Drugi Second	0-25	0,378	0,127	0,216	0,187	0,092	0,530	0,343	11,3
	25-50	0,360	0,200	0,209	0,166	0,065	0,575	0,409	11,7
	50-75	0,627	0,188	0,109	0,054	0,022	0,351	0,297	19,3
	75-100	0,747	0,119	0,077	0,040	0,017	0,236	0,196	23,5
Trzeci Third	0-25	0,452	0,150	0,185	0,172	0,041	0,507	0,335	12,4
	25-50	0,601	0,125	0,159	0,090	0,025	0,374	0,284	15,7
	50-75	0,375	0,147	0,158	0,280	0,040	0,585	0,305	10,8
	75-100	0,348	0,106	0,147	0,316	0,083	0,569	0,253	10,6
Średnia Mean	0-25	0,372	0,144	0,215	0,208	0,061	0,567	0,359	10,9
	25-50	0,493	0,150	0,179	0,136	0,042	0,465	0,329	14,6
	50-75	0,495	0,171	0,143	0,153	0,038	0,467	0,314	14,6
	75-100	0,519	0,143	0,135	0,158	0,045	0,436	0,278	16,2
Pierwszy First		0,437	0,166	0,189	0,166	0,042	0,521	0,355	13,5
Drugi Second	średnia mean	0,528	0,159	0,153	0,111	0,049	0,423	0,312	16,4
Trzeci Third		0,444	0,132	0,162	0,214	0,048	0,508	0,294	12,4
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$):	kompleksy complexes K	0,090	0,034	0,032	0,080	r. n. n. s.	0,082	0,061	2,9
	warstwy layers W	0,114	r. n. n. s.	0,041	r. n. n. s.	r. n. n. s.	0,104	0,078	3,7
	interakcja interaction K×W	0,180	0,068	0,065	0,159	0,036	0,164	0,123	5,8

r. n. – n. s. – różnice nieistotne – non-significant differences.

Tabela 3. Zawartość wodoodpornych agregatów glebowych (wartości średnie z 4 pedonów)
Table 3. Water-stable soil aggregate content (mean values from 4 pedons)

Kompleks Complex	Warstwa – głębokość Layer – depth (cm)	Zawartość wodoodpornych agregatów o średnicy w mm Water-stable aggregate content of diameter in mm (kg·kg ⁻¹)					Średnia ważona średnica MWD wet (mm)
		5-10	1-5	0,25-1	0,25-10	1-10	
Pierwszy First	0-25	0,126	0,192	0,351	0,669	0,318	1,67
	25-50	0,061	0,143	0,379	0,583	0,204	1,06
	50-75	0,017	0,143	0,401	0,561	0,160	0,69
	75-100	0,008	0,124	0,401	0,533	0,132	0,60
Drugi Second	0-25	0,115	0,213	0,328	0,656	0,328	1,62
	25-50	0,039	0,146	0,387	0,572	0,185	0,89
	50-75	0,019	0,179	0,445	0,643	0,198	0,83
	75-100	0,019	0,186	0,468	0,673	0,205	0,85
Trzeci Third	0-25	0,051	0,129	0,310	0,490	0,180	0,92
	25-50	0,010	0,111	0,297	0,418	0,121	0,53
	50-75	0,003	0,072	0,256	0,331	0,075	0,39
	75-100	0,013	0,058	0,254	0,325	0,071	0,44
Średnia Mean	0-25	0,097	0,178	0,330	0,605	0,275	1,40
	25-50	0,037	0,133	0,354	0,524	0,170	0,83
	50-75	0,013	0,131	0,368	0,512	0,144	0,64
	75-100	0,013	0,122	0,374	0,509	0,135	0,63
Pierwszy First		0,053	0,150	0,383	0,586	0,203	1,01
Drugi Second	średnia mean	0,048	0,181	0,407	0,636	0,229	1,05
Trzeci Third		0,019	0,092	0,279	0,390	0,111	0,57
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$)	kompleksy complexes K	0,013	0,022	0,025	0,037	0,030	0,13
	warstwy layers W	0,016	0,028	0,032	0,047	0,038	0,16
	interakcja interaction K×W	0,026	0,045	0,051	0,075	0,059	0,26

Tabela 4. Współczynniki korelacji (r) pomiędzy zawartością frakcji granulometrycznych, C org. i pH a składem agregatowym i zawartością wodoodpornych agregatów glebowych ($n = 48$)**Table 4.** Correlation coefficients (r) between content of granulometric fractions, C org. and pH and aggregate size distribution and water-stable aggregate content ($n = 48$)

Zmienna Variable	Zawartość frakcji – Content of fractions (%)				C org. (g·kg ⁻¹)	pH KCl
	>2 mm	2-0,05 mm	0,05-0,002 mm	<0,002 mm		
Agregaty powietrznie suche – Air-dry aggregates (kg·kg ⁻¹)						
>10 mm	-0,29*	-0,59**	0,09	0,79**	-0,28	-0,21
5-10 mm	0,06	-0,22	0,11	0,21	-0,02	-0,18
1-5 mm	0,37**	0,02	0,35*	-0,44**	0,47**	0,07
0,25-1 mm	0,15	0,74**	-0,34*	-0,75**	0,12	0,29*
<0,25 mm	0,13	0,39**	0,01	-0,61**	0,19	-0,02
0,25-10 mm	0,30*	0,58**	-0,11	-0,76**	0,29*	0,23
1-10 mm	0,25	-0,11	0,27	-0,15	0,26	-0,07
MWD _{dry}	-0,20	-0,49**	0,04	0,71**	-0,27	-0,30*
Agregaty wodoodporne – Water-stable soil aggregates (kg·kg ⁻¹)						
5-10 mm	0,17	-0,02	0,46**	-0,51**	0,79**	-0,13
1-5 mm	0,03	-0,50**	0,50**	0,17	0,44**	-0,40**
0,25-1 mm	-0,06	-0,36*	0,03	0,52**	-0,12	-0,44**
0,25-10 mm	0,03	-0,45**	0,40**	0,22	0,39**	-0,48**
1-10 mm	0,10	-0,34*	0,55**	-0,13	0,66**	-0,32**
MWD _{wet}	0,13	-0,19	0,52**	-0,31*	0,75**	-0,25

* poziom istotności $\alpha = 0,05$ – significance level 0.05, ** poziom istotności $\alpha = 0,01$ – significance level 0.01.

W badanej zbiorowości gleb zawartość wodoodpornych agregatów o wymiarach 5-10 mm, 1-5 mm oraz sumy trwałych agregatów 1-10 mm i 0,25-10 mm dodatkowo korelowały na poziomie istotności 0,01 z zawartością frakcji pyłu ($r =$ od 0,40 do 0,55) i C org. ($r =$ od 0,39 do 0,79). Ta dodatnia korelacja była uwarunkowana większym udziałem pyłu w poziomach Ap gleb, które charakteryzowały się większą wodoodpornością agregatów. Natomiast zawartość trwałych agregatów o wymiarach 0,25-1 mm dodatkowo korelowała na poziomie istotności 0,01 z ilością ilu ($r = 0,52$) (tab. 4). Ponadto zawartość wodoodpornych agrega-

tów o wymiarach 1-5 mm, 0,25-1 mm, 1-10 mm i 0,25-10 mm korelowała ujemnie z pH gleby ($r =$ od $-0,32$ do $-0,48$). Średnia ważona średnica agregatów trwałych wykazywała dodatnią korelację na poziomie istotności 0,01 z zawartością pyłu ($r = 0,52$) i C org. ($r = 0,75$) oraz ujemną na poziomie istotności 0,05 z zawartością ilu ($r = -0,31$).

Jakość składu agregatowego gleb można ocenić według zawartości agregatów 0,25-10 mm, 1-10 mm (Paluszek 2011a, 2011b) lub średniej ważonej średnicy agregatów powietrznie suchych – MWD_{dry} (Youker i McGuinness 1957). Dla badanych gleb wytworzonych z glin zwałowych zawierających znaczny udział piasku średniego i grubego (0,25-1 mm) oraz niewielki udział piasku bardzo grubego (1-2 mm) i żwiru (>2 mm) najlepszym kryterium oceny jest zawartość agregatów o wymiarach 1-10 mm. Na podstawie wyników badań 100 gleb mineralnych Polski (Paluszek 2011a) ustalono następującą klasyfikację jakości agregacji w zależności od zawartości powietrznie suchych agregatów o wymiarach 1-10 mm: $<0,150$ $kg \cdot kg^{-1}$ – skład agregatowy bardzo niekorzystny, $0,150-0,250$ $kg \cdot kg^{-1}$ – skład niekorzystny, $0,250-0,350$ $kg \cdot kg^{-1}$ – średnio korzystny, $0,350-0,450$ $kg \cdot kg^{-1}$ – korzystny i $>0,450$ $kg \cdot kg^{-1}$ – bardzo korzystny. Według tego kryterium poziomy Ap badanych gleb zaliczanych do kompleksu pierwszego charakteryzowały się składem agregatowym korzystnym, a poziomy podpowierzchniowe średnio korzystnym lub korzystnym. Natomiast w poziomach Ap gleb należących do kompleksu drugiego i trzeciego skład agregatowy można ocenić jako średnio korzystny, a w poziomach głębszych najczęściej jako średnio korzystny.

Badane gleby płowe wytworzone z glin zwałowych należą do gleb o najlepszym składzie agregatowym, o czym świadczą wyniki badań innych autorów (Rzasa i Owczarzak 2004, Owczarzak i Rzasa 2006, Orzechowski i in. 2011). Najbardziej korzystnym dla właściwości wodno-powietrznych i wzrostu roślin uprawnych składem agregatowym poziomów Ap charakteryzowały się czarne ziemie wytworzone z utworów pyłowych lessopodobnych i wietrzeniowych (Paluszek 2011b).

Trwałość agregatów glebowych można oceniać za pomocą udziału poszczególnych wodoodpornych frakcji o określonych wymiarach, za pomocą sumy wodoodpornych agregatów o wymiarach 0,25-10 mm lub 1-10 mm (Amézketa 1999, Witkowska-Walczak 2000, Paluszek 2011a, 2011b), a także na podstawie syntetycznych wskaźników, takich jak średnia ważona średnica agregatów wodoodpornych – MWD_{wet} (Youker i McGuinness 1957) i wskaźnik trwałości agregatów – ASI (Niewczas i Witkowska-Walczak 2005). W badanych glebach wytworzonych z glin zwałowych, zawierających znaczne ilości piasku, najlepszym kryterium oceny jest zawartość wodoodpornych agregatów o wymiarach 1-10 mm. We wcześniejszej pracy autora (Paluszek 2011a) ustalono następujące liczby graniczne dla oceny

jakości wodoodporności agregatów na podstawie tego kryterium: $<0,070 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ – wodoodporność bardzo słaba, $0,070\text{-}0,150 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ – wodoodporność słaba, $0,150\text{-}0,250 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ – wodoodporność średnia, $0,250\text{-}0,400 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ – wodoodporność dobra i $>0,400 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ – wodoodporność bardzo dobra. Według tych ustaleń poziomy Ap badanych gleb zaliczanych do kompleksu pierwszego i drugiego charakteryzowały się dobrą wodoodpornością agregatów, a poziomy podpowierzchniowe wodoodpornością średnią lub słabą. Natomiast wodoodporność poziomów Ap gleb należących do kompleksu trzeciego można ocenić jako średnią, a poziomów głębszych jako słabą. Porównując uzyskane wyniki badań z danymi z wcześniejszej pracy (Paluszek 2011b), należy stwierdzić, że największą zawartością trwałych agregatów o wymiarach 1-10 mm ($>0,400 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) wyróżniają się niektóre czarne ziemie wytworzone z utworów pyłowych.

Według klasyfikacji Le Bissonnais (1996) agregaty z poziomów Ap badanych gleb zaliczanych do kompleksu pierwszego i drugiego można ocenić jako trwałe ($MWD_{\text{wet}} 1,3\text{-}2,0 \text{ mm}$), a z poziomów głębszych jako nietrwałe ($0,4\text{-}0,8 \text{ mm}$) lub średnio trwałe ($0,8\text{-}1,3 \text{ mm}$). Natomiast agregaty z poziomów Ap gleb należących do kompleksu trzeciego można ocenić jako średnio trwałe ($0,8\text{-}1,3 \text{ mm}$), a z poziomów głębszych jako nietrwałe ($0,4\text{-}0,8 \text{ mm}$) lub bardzo nietrwałe ($<0,4 \text{ mm}$). Ocena według tego kryterium pokrywa się z oceną wodoodporności agregatów według udziału wodoodpornych agregatów o wymiarach 1-10 mm.

WNIOSKI

1. Poziomy Ap gleb płowych wytworzonych z glin zwałowych charakteryzowały się istotnie większą zawartością agregatów powietrznie suchych 0,25-10 mm, w tym agregatów 1-5 mm od poziomów Et, Bt i C w warstwie 25-100 cm, natomiast mniejszą zawartością brył $>10 \text{ mm}$ i mniejszą średnią ważoną średnicą agregatów.

2. Na podstawie zawartości powietrznie suchych agregatów o wymiarach 1-10 mm oceniono, że poziomy Ap gleb zaliczanych do kompleksu pierwszego charakteryzowały się dobrym składem agregatowym, a poziomy podpowierzchniowe średnio korzystnym lub dobrym.

3. Skład agregatowy w poziomach Ap gleb należących do kompleksu drugiego i trzeciego oceniono jako średni, a w poziomach głębszych najczęściej jako średni, rzadziej jako słaby lub dobry.

4. Zawartość wodoodpornych agregatów glebowych o wymiarach 0,25-10 mm, w tym trwałych agregatów o wymiarach 1-10 mm, 5-10 mm i 1-5 mm oraz ich średnia ważona średnica były w poziomach Ap gleb istotnie większe niż w poziomach podpowierzchniowych.

5. Na podstawie zawartości trwałych agregatów o wymiarach 1-10 mm oceniono, że poziomy Ap gleb zaliczanych do kompleksu pierwszego i drugiego charakteryzowały się dobrą wodoodpornością agregatów, a poziomy podpowierzchniowe wodoodpornością średnią lub słabą. Wodoodporność agregatów w poziomach Ap gleb należących do kompleksu trzeciego oceniono jako średnią, a poziomów głębszych jako słabą.

6. Gleby kompleksu pierwszego i drugiego charakteryzowały się lepszą strukturą niż gleby kompleksu trzeciego. Gorszy skład ilościowy i jakościowy agregatów glebowych w kompleksie trzecim wynika z większej niż w kompleksach pierwszym i drugim zawartości ilu i mniejszej zawartości węgla organicznego.

PIŚMIENNICTWO

- Amézketa E., 1999. Soil aggregate stability: a review. *J. Sustain. Agricult.*, 14, 2/3, 82-151.
- Braunack M.V., Dexter A.R., 1989. Soil aggregation in the seedbed: a review. II. Effect of aggregate size on plant growth. *Soil Tillage Res.*, 14, 281-298.
- Bronick C.J., Lal R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124, 3-22.
- Darbox F., Le Bissonnais Y., 2007. Changes in structural stability with soil surface crusting: consequences for erodibility estimation. *Europ. J. Soil Sci.*, 58, 1107-1114.
- Kondracki J., 2002. *Geografia regionalna Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Le Bissonnais Y., 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Europ. J. Soil Sci.*, 47, 425-437.
- Lipiec J., Walczak R., Witkowska-Walczak B., Nosalewicz A., Słowińska-Jurkiewicz A., Sławiński C., 2007. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. *Soil Till. Res.*, 97, 239-246.
- Niewczas J., Witkowska-Walczak B., 2005. The soil aggregate stability index (ASI) and its extreme values. *Soil Till. Res.*, 80, 69-78.
- Oades J.M., 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant Soil.*, 76, 319-337.
- Orzechowski M., Smólczyński S., Strużyńska M. 2011. Struktura i wodoodporność agregatów w glebach antropogenicznie przekształconych w krajobrazie glacialnym. *Rocz. Glebozn.*, 62, 2, 295-304.
- Owczarzak W., Rząsa S. 2006. Trwałość struktury poziomów uprawnych gleb w aspekcie jej podatności na procesy erozyjne. *Rocz. AR w Poznaniu*, 375, Rolnictwo 65, 99-114.
- Paluszek J., 2011a: Kryteria oceny jakości fizycznej gleb uprawnych Polski. *Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie*, 191, 1-139.
- Paluszek J., 2011b: Ocena struktury gleb pługowych i czarnych ziem wytworzonych z utworów pyłowych. *Rocz. Glebozn.*, 62, 1, 117-120.
- PTG 2009: Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. *Rocz. Glebozn.*, 60, 2, 5-16.
- PTG 2011: Systematyka gleb Polski. Wydanie 5. *Rocz. Glebozn.*, 62, 3, 5-193.
- Rząsa S., Owczarzak W., 2004. *Struktura gleb mineralnych*. Wyd. AR w Poznaniu, Poznań.
- StatSoft 2006. *Elektroniczny podręcznik statystyki PL*, Kraków, WEB: <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>
- Strzemiński M., Siuta J., Witek T., 1973. *Przydatność rolnicza gleb Polski*. PWRiL, Warszawa.
- Vermang J., Demeyer V., Cornelis W.M., 2009. Aggregate stability and erosion response to antecedent water content of a loess soil. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 73, 718-726.

Youker R.E., McGuinness J.L., 1957. A short method of obtaining mean weight diameter values of aggregate analyses of soils. *Soil Sci.*, 83, 291-294.

INFLUENCE OF AGRICULTURAL SUITABILITY OF LUVISOLS DEVELOPED FROM MORAINÉ LOAMS ON THEIR AGGREGATE STRUCTURE

Jan Paluszek

Institute of Soil Science, Environment Engineering and Management,
University of Life Science in Lublin
ul. S. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin
e-mail: jan.paluszek@up.lublin.pl

Abstract. The objective of this study was to evaluate the soil aggregation and water aggregate stability of Luvisols developed from moraine loams. The soils were classified in various complexes of agricultural suitability: very good wheat (first), good wheat (second) and deficient wheat (third). Soil samples were taken from Ap horizons (from the depth of 0-25 cm) and from Et, Bt and C genetic horizons (from the depth of 25-50 cm, 50-75 cm i 75-100 cm) after the harvest of winter wheat. The Ap horizons of investigated soils were characterised by a higher content of air-dry aggregates in the 0.25-10 mm diameter range (inclusive of aggregates of 1-5 mm), a lower content of clods >10 mm and a higher content of water-stable soil aggregates in the 0.25-10 mm diameter class, especially 1-10 mm, than the subsoil. The aggregate-size distribution in Ap horizons of soils classified in the first complex was estimated as favourable, and in Ap horizons of soils classified in the second and third complexes was estimated as medium. The aggregate-size distribution in the subsoil was estimated mostly as medium. Aggregate water stability in Ap horizons of soils classified in the first and second complexes was estimated as favourable, and in Ap horizon of soils classified in the third complex was estimated as medium. Aggregate water stability in Et, Bt, BC and C horizons was classified as medium or weak.

Key words: Luvisols, complex of agricultural suitability, aggregate-size distribution, aggregate water stability