

ZALEŻNOŚĆ JAKOŚCI FIZYCZNEJ GLEB PŁOWYCH WYTWORZONYCH Z GLIN
ZWAŁOWYCH OD ICH PRZYDATNOŚCI ROLNICZEJ

Jan Paluszek

Institut 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 wodnych i powietrznych właściwości gleb płowych wytworzonych z glin zwałowych, zaliczanych do różnych kompleksów rolniczej przydatności. Gleby należące do kompleksu pierwszego charakteryzowały się istotnie większą zawartością makroporów o średnicy równoważnej $>20 \mu\text{m}$, natomiast mniejszą połową pojemnością wodną od gleb kompleksu drugiego. Gleby kompleksu pierwszego miały istotnie mniejsze przewodnictwo wodne w strefie nasyconej od gleb kompleksu trzeciego. Gleby kompleksu drugiego w porównaniu z glebami kompleksu trzeciego istotnie różniły się większą połową pojemnością wodną oraz mniejszą zawartością makroporów o średnicy $>20 \mu\text{m}$ i mniejszym przewodnictwem wodnym nasyconym. Gęstość gleby w poziomach Ap (0-25 cm) oceniono jako średnią, a w poziomach podpowierzchniowych Et, Bt i C (25-100 cm) jako dużą. Połową pojemność wodną w badanych glebach oceniono jako średnią. W poziomach Ap gleb zawartość makroporów o średnicy $>20 \mu\text{m}$ i retencję wody użytecznej dla roślin oceniono jako średnią lub dużą, przewodnictwo wodne nasycone oceniono jako małe lub średnie, a przepuszczalność powietrzną w stanie polowej pojemności wodnej – jako średnią lub dużą. Wartości bezwzględne wskaźnika jakości fizycznej S dla poziomów Ap gleb zaliczanych do kompleksu pierwszego i trzeciego wskazują na średnią jakość fizyczną, a poziomów Ap gleb kompleksu drugiego – na dobrą jakość. Jakość fizyczna poziomów podpowierzchniowych oceniona została najczęściej jako słaba lub bardzo słaba.

Słowa kluczowe: gleby płowe, kompleks przydatności rolniczej, właściwości wodno-powietrzne, wskaźnik S

WSTĘP

Jakość gleby jest definiowana jako jej zdolność do funkcjonowania w obrębie naturalnych lub przekształconych rolniczo ekosystemów, do utrzymywania produktywności roślinnej i zwierzęcej, do zachowania lub polepszenia jakości wody

i powietrza oraz do zapewnienia zdrowotności ludzi i ich środowiska (Karlen i in. 1997). Do wskaźników oceny jakości gleby zaliczane są m. in. gęstość gleby, pojemność wodna, retencja wody użytecznej, infiltracja i aeracja (Karlen i in. 1997, Arshad i Martin 2002, Reynolds i in. 2008). Właściwości wodne, zwłaszcza retencja wody użytecznej dla roślin oraz przewodnictwo wodne, mają decydujący wpływ na warunki wzrostu, rozwoju i plonowania roślin (Walczak i in. 2002, Kutilek 2004). Właściwości te determinują dostępność wody do systemu korzeniowego roślin oraz przemieszczanie się jej wraz z rozpuszczonymi składnikami pokarmowymi do głębszych poziomów genetycznych. Jakość fizyczną gleb można określać na podstawie oceny poszczególnych właściwości lub za pomocą syntetycznego wskaźnika *S* (Dexter 2004).

Klasyfikacja rolniczej przydatności gleb oparta jest głównie na ich budowie morfologicznej, niektórych właściwościach i położeniu w rzeźbie terenu (Strzemski i in. 1973). Według tej klasyfikacji gleby zaliczane do kompleksu pierwszego charakteryzują się średnim lub ciężkim składem granulometrycznym, dobrą przepuszczalnością wodną, połączoną z możliwością retencjonowania wody i przewiewnością. W glebach drugiego kompleksu przyczyną obniżenia żyzności może być za mała przepuszczalność, a w glebach kompleksu trzeciego zagrożenie erozją i niedostateczne uwilgotnienie. Celem pracy jest szczegółowe porównanie i ocena wodnych i powietrznych właściwości gleb pływowych wytworzonych z glin zwałowych, zaliczanych do trzech kompleksów rolniczej przydatności.

MATERIAŁ I METODY

Do badań prowadzonych w latach 2008-2011 wybrano 12 gleb pływowych, po 4 pedony z poszczególnych kompleksów rolniczej przydatności gleb, pod uprawą pszenicy ozimej. Wybrane gleby były położone w miejscowościach zaliczanych do różnych mezoregionów fizycznogeograficznych Polski (Kondracki 2002):

- a) gleby płowe typowe wytworzone z glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego lub północnopolskiego, należące do kompleksu pszennego bardzo dobrego (pierwszego), 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 pszennego dobrego (drugiego), o sekwencji poziomów Ap-Et-Bt-C lub Ap-Etg-Btg-C: Wolica, Wielkolas, Dębiny (Wysoczyzna Lubartowska), Kock (Równina Łukowska);
- c) gleby płowe typowe wytworzone z glin zwałowych zlodowacenia północnopolskiego, należące do kompleksu pszennego wadliwego (trzeciego), zerodo-

wane i niecałkowicie napiaskowe, o sekwencji poziomów Ap-Bt-C lub Ap-Bt-2C: Sobiejuchy, Wenecja (Pojezierze Gnieźnieńskie), Wszedzień, Gąsawa (Pojezierze Gnieźnieńskie).

Próbki gleb do badań laboratoryjnych pobierano w fazie dojrzałości pełnej pszenicy lub wkrótce po jej zbiorze. Pobrano je z czterech warstw pedonów o 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). Próbki o zachowanej budowie pobierano w 8 powtórzeniach do metalowych cylinderek o objętości 100 cm³ (4 do oznaczania pojemności wodnej i przepuszczalności powietrznej i 4 do pomiaru przewodnictwa wodnego nasyconego).

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 2011). Zawartość C org. oznaczano analizatorem Vario Max CNS Elementar w Centralnym Laboratorium Analiz Chemicznych IUNG w Puławach. Odczyn gleby określono w oparciu o wartości pH oznaczone w 1 mol KCl·dm⁻³ potencjometrycznie, z zastosowaniem elektrody zespolonej.

Gęstość fazy stałej gleby (Mg·m⁻³) oznaczono metodą piknometryczną. Gęstość gleby (Mg·m⁻³) obliczono na podstawie stosunku masy gleby wysuszonej w 105°C do jej objętości. Porowatość ogólną (m³·m⁻³) obliczono na podstawie wartości gęstości fazy stałej i gęstości gleby.

Pojemność wodną (kg·kg⁻¹ i m³·m⁻³) w przedziale potencjału wody glebowej od -0,1 kPa (pF 0) do -49,03 kPa (pF 0-2,7) oznaczono w 4 powtórzeniach w komorach niskociśnieniowych, a w przedziale potencjału od -155 kPa do -1554 kPa (pF 3,2-4,2) w komorach wysokociśnieniowych na porowatych płytach ceramicznych produkcji Soil Moisture Equipment Corporation. Względną pojemność połową obliczono na podstawie wartości porowatości ogólnej i połowej pojemności wodnej (przy potencjale -15,5 kPa) wyrażonej w m³·m⁻³.

Zawartość porów glebowych o średnicy równoważnej >300 μm i >20 μm oraz retencję wody użytecznej obliczono na podstawie odpowiednich wartości pojemności wodnej, wyrażonych w m³·m⁻³. Zawartość makroporów o średnicy równoważnej >300 μm obliczono na podstawie wartości porowatości ogólnej i pojemności wodnej przy potencjale -0,98 kPa (pF 1,0). Zawartość makroporów o średnicy równoważnej >20 μm obliczono z różnicy porowatości ogólnej i połowej pojemności wodnej przy potencjale -15,5 kPa (pF 2,2). Retencję wody użytecznej dla roślin, równą zawartości mezoporów o średnicy 0,2-20 μm, obliczono na podstawie połowej pojemności wodnej przy potencjale -15,5 kPa (pF 2,2) i pojemności w punkcie trwałego wędnięcia przy potencjale -1554 kPa (pF 4,2). W obliczeniach retencji wodnej gleb nie uwzględniano wielkości efektu histerezy.

Przewodnictwo wodne w strefie nasyconej mierzono za pomocą aparatu Wita produkcji Eijkelkamp Agrisearch Equipment (Eijkelkamp 1985), metodą stałego i opadającego poziomu wody. Pomiary wykonywano po 24 godzinach od nasycenia wodą gleby w cylinderkach, a następnie obliczono współczynniki filtracji wody ($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$). Przepuszczalność powietrzną przy połowej pojemności wodnej mierzono za pomocą aparatu LPiR1 do badania przepuszczalności powietrznej mas formierskich, wyprodukowanego przez Instytut Odlewnictwa w Krakowie. Pomiary były prowadzone w stałej temperaturze otoczenia ($20\pm 0,5^\circ\text{C}$), można więc było pominąć lepkość dynamiczną powietrza. Wyniki pomiarów uzyskano w jednostkach $\text{m}^2\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot 10^{-8}$.

Na podstawie krzywych retencji wodnej obliczono wskaźniki jakości stanu fizycznego gleb S według Dexter (2004). Wskaźnik jakości S został zdefiniowany przez autora jako tangens kąta nachylenia krzywej retencji wodnej gleby w punkcie jej przegięcia do osi potencjału wody glebowej i powinien być obliczany za pomocą przekształconego równania van Genuchtena (1980):

$$S = -n (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) [1 + 1/m]^{-(1+m)} \quad (1)$$

w którym: θ_{sat} – zawartość wody w glebie przy pełnym nasyceniu ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$), θ_{res} – tzw. „resztkowa” ($> \text{pF } 4,2$) zawartość wody ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$), n – parametr empiryczny kontrolujący kształt krzywej retencji, m – parametr empiryczny z ograniczeniem Mualema (1986): $1-1/n$. Obliczenia wykonano za pomocą programu komputerowego RETC – Retention Curve Program PC-Progress (van Genuchten i in. 1991), służącego do opisywania właściwości wodnych gleb nienasyconych.

Wyniki badań poddano analizie wariancji z wykorzystaniem klasyfikacji podwójnej w układzie całkowicie losowym za pomocą programu STATISTICA 7 PL (StatSoft 2006). Istotność uzyskanych różnic weryfikowano testem Tukeya. Obliczono również współczynniki korelacji prostej (r) pomiędzy badanymi właściwościami a zawartością frakcji granulometrycznych i C org.

WYNIKI

Badane gleby płowe wytworzone z glin zwałowych zawierały średnio w poziomie Ap (0-25 cm) 0,8-4,1% frakcji żwiru >2 mm, a w składzie części ziemistych średnio 50-70% frakcji piasku (2-0,05 mm), 22-42% frakcji pyłu (0,05-0,002 mm) i 7-12% iłu $<0,002$ mm. Pod względem granulometrycznym stanowiły najczęściej gliny lekkie, rzadziej gliny piaszczyste, gliny piaszczysto-ilaste lub gliny zwykłe. W poziomach Et, Bt, C i 2C (25-100 cm) badane gleby zawierały średnio 0,4-4,4% żwiru, 49-72% piasku, 15-26% pyłu i 11-25% iłu (tab. 1). Gleby zaliczane do kompleksu pierwszego zawierały więcej frakcji pyłu niż gleby kompleksu drugiego i trzeciego.

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

Kompleks Complex	Głębokość Depth (cm)	Poziom Horizon	% frakcji o średnicy w mm % fraction with diameter in mm				Corg. (g·kg ⁻¹)	pH KCl
			>2	2-0,05	0,05-0,002	<0,002		
Pierwszy First	0-25	Ap	4,1	70	23	7	8,21	6,16
	25-50	Et	2,6	66	21	13	2,31	5,86
	50-75	Bt	4,4	65	18	18	1,52	6,08
	75-100	Bt	4,1	66	15	19	1,32	6,14
Drugi Second	0-25	Ap	0,8	50	42	8	7,13	4,51
	25-50	Et, Etg	2,1	57	26	17	2,13	4,35
	50-75	Bt, Btg	0,6	49	26	25	1,76	4,46
	75-100	Bt, Btg	0,4	51	24	25	1,13	4,51
Trzeci Third	0-25	Ap	3,0	66	22	12	6,47	6,34
	25-50	Bt	1,6	57	22	21	1,49	5,99
	50-75	Bt, 2C	1,5	65	21	14	1,28	6,51
	75-100	C, 2C	1,7	72	17	11	0,93	7,22

Średnia zawartość C org. w poziomach Ap gleb wynosiła 6,47-8,21 g·kg⁻¹, a w poziomach podpowierzchniowych 0,93-2,31 g·kg⁻¹ (tab. 1). Odczyn gleb zaliczanych do kompleksu pierwszego był słabo kwaśny lub kwaśny (pH 5,86-6,16), a gleb kompleksu drugiego przeważnie silnie kwaśny (pH 4,35-4,51). Natomiast w glebach kompleksu trzeciego stwierdzono najczęściej odczyn słabo kwaśny lub obojętny (pH 5,99-6,51) i tylko w poziomach C– zasadowy (pH 7,22). Gęstość fazy stałej w poziomach Ap badanych gleb wynosiła 2,62-2,64 Mg·m⁻³, a w poziomach głębszych 2,63-2,67 Mg·m⁻³ (tab. 2).

Gęstość gleby w poziomach Ap była istotnie mniejsza (średnio o 0,13-0,16 Mg·m⁻³) od notowanej w poziomach podpowierzchniowych Et, Bt i C. Różnice w gęstości gleby pomiędzy badanymi kompleksami glebowo-rolniczymi były statystycznie nieistotne (tab. 2). Gęstość gleby wykazywała ścisłą dodatnią korelację z zawartością frakcji łu ($r = 0,66$) oraz ścisłą ujemną z zawartością C org. ($r = -0,58$) i słabą z frakcją piasku ($r = -0,31$) (tab. 3).

Porowatość ogólna w poziomach Ap badanych gleb była istotnie większa (średnio o 0,044-0,059 m³·m⁻³) niż w poziomach głębszych. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic pomiędzy glebami należącymi do poszczególnych kompleksów rolniczej przydatności (tab. 2). Porowatość ogólna wykazywała ścisłą dodatnią korelację z zawartością C org. ($r = 0,52$) i słabą z zawartością piasku ($r = 0,30$) oraz ścisłą ujemną korelację z zawartością łu ($r = -0,65$) (tab. 3).

Tabela 2. Gęstość gleby i właściwości wodno-powietrzne (wartości średnie z 4 pedonów)
Table 2. Bulk density and water-air properties (mean values from 4 pedons)

Kompleks Complex (K)	Warstwa – głębokość Layer – depth (cm) (W)	Gęstość fazy stałej Particle density (Mg·m ⁻³)	Gęstość gleby Bulk density (Mg·m ⁻³)	Porowatość ogólna Total porosity (m ³ ·m ⁻³)	Pojemność wodna przy Water capacity at (m ³ ·m ⁻³)		Względna pojemność połowa Relative field capacity
					-15,5 kPa	-1554 kPa	
Pierwszy First	0-25	2,62	1,57	0,401	0,239	0,077	0,60
	25-50	2,63	1,69	0,356	0,241	0,110	0,69
	50-75	2,65	1,69	0,363	0,251	0,111	0,71
	75-100	2,65	1,65	0,375	0,253	0,111	0,69
Drugi Second	0-25	2,63	1,50	0,428	0,290	0,083	0,68
	25-50	2,65	1,70	0,360	0,274	0,121	0,76
	50-75	2,66	1,71	0,357	0,280	0,162	0,79
	75-100	2,67	1,75	0,346	0,283	0,163	0,82
Trzeci Third	0-25	2,64	1,57	0,404	0,248	0,089	0,62
	25-50	2,65	1,75	0,341	0,259	0,132	0,76
	50-75	2,66	1,70	0,360	0,232	0,092	0,66
	75-100	2,66	1,65	0,380	0,207	0,073	0,57
Średnia Mean	0-25	2,63	1,55	0,411	0,259	0,083	0,63
	25-50	2,64	1,71	0,352	0,258	0,121	0,74
	50-75	2,66	1,70	0,360	0,255	0,122	0,72
	75-100	2,66	1,68	0,367	0,248	0,116	0,69
Pierwszy First		2,64	1,65	0,374	0,246	0,102	0,67
Drugi Second	średnia mean	2,65	1,66	0,373	0,282	0,132	0,76
Trzeci Third		2,65	1,67	0,371	0,237	0,096	0,65
	kompleksy complexes K	0,01	r. n. n. s.	r. n.. n. s.	0,013	0,013	0,05
NIR – LSD ($\alpha = 0,05$):	warstwy layers W	0,01	0,06	0,022	r. n. n. s.	0,017	0,06
	interakcja interaction K×W	0,01	0,09	r. n. n. s.	r. n. n. s.	0,027	r. n. n. s.

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

Polowa pojemność wodna (przy potencjale wody glebowej $-15,5$ kPa) w glebach kompleksu drugiego była istotnie większa (średnio o $0,036-0,045$ $m^3 \cdot m^{-3}$) niż w glebach kompleksu pierwszego i trzeciego (tab. 2). Polowa pojemność wodna ściśle dodatnio korelowała z zawartością pyłu ($r = 0,37$) i łu ($r = 0,50$) oraz ściśle ujemnie z zawartością żwiru ($r = -0,69$) i piasku ($r = -0,61$) (tab. 3).

Względna pojemność polowa (zdolność gleby do zatrzymywania wody względem całkowitej objętości porów) w warstwie 25-100 cm badanych gleb była istotnie większa (o $0,06-0,11$) niż w poziomach Ap. W glebach kompleksu drugiego była ona istotnie większa (średnio o $0,09-0,11$) w porównaniu z glebami kompleksu pierwszego i trzeciego (tab. 2). Stwierdzono ścisłą dodatnią korelację tej właściwości z zawartością łu ($r = 0,74$) oraz ujemną korelację z zawartością żwiru ($r = -0,40$), piasku ($r = -0,65$) i C org. ($r = -0,33$) (tab. 3).

Tabela 3. Współczynniki korelacji (r) pomiędzy zawartością frakcji granulometrycznych i C org. a właściwościami wodno-powietrznymi ($n = 48$)

Table 3. Correlation coefficients (r) between content of granulometric fractions and C org. and water-air properties ($n = 48$)

Zmienna – Variable	% frakcji o średnicy w mm % fraction with diameter in mm				C org.
	>2	2-0,05	0,05- 0,002	<0,002	
Gęstość gleby – Bulk density	-0,23	-0,31*	-0,16	0,66**	-0,58**
Porowatość ogólna – Total porosity	0,23	0,30*	0,15	-0,65**	0,52**
Polowa pojemność wodna – Field water capacity	-0,69**	-0,61**	0,37**	0,50**	-0,08
Punkt trwałego wędnięcia – Wilting point	-0,34*	-0,71**	0,14	0,92**	-0,32*
Względna pojemność polowa – Relative field capacity	-0,40**	-0,65**	0,22	0,74**	-0,33*
Makropory >300 μm – Macropores >300 μm	0,09	0,47**	-0,07	-0,64**	0,49**
Makropory >20 μm – Macropores >20 μm	0,36*	0,60**	-0,15	-0,73**	0,36*
Retencja wody użytecznej – Retention of useful water	0,07	0,18	0,26	-0,59**	0,38**
Przewodnictwo wodne – Hydraulic conductivity	-0,04	0,45**	-0,29*	-0,34*	-0,03
Przepuszczalność powietrzna – Air permeability	0,08	0,09	0,07	-0,22	0,32*
Wskaźnik S – Index S	0,10	0,25	0,26	-0,69**	0,45**

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

Pojemność wodna w punkcie trwałego wędnięcia roślin przy potencjale wody glebowej -1554 kPa (pF 4,2), wyrażona w jednostkach objętości ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), określa zawartość mikroporów glebowych o średnicy równoważnej $<0,2$ μm , retencjonujących wodę bardzo silnie związaną siłami cząsteczkowymi i niedostępną dla roślin. Właściwość ta była najbardziej korzystna (najmniejsza) w poziomach Ap ($0,077$ - $0,089$ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) oraz w poziomach C i 2C gleb kompleksu trzeciego (średnio $0,073$ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), a najbardziej niekorzystna w poziomie Bt gleb zaliczanych do kompleksu drugiego ($0,162$ - $0,163$ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) (tab. 2). Wartości tej pojemności wodnej ściśle dodatnio korelowały z zawartością iłu ($r = 0,92$), natomiast ujemnie z zawartością piasku ($r = -0,71$), żwiru ($r = -0,34$) i C org. ($r = -0,32$) (tab. 3).

Zawartość porów glebowych o średnicy równoważnej >300 μm ma decydujący wpływ na wielkość przewodnictwa wodnego i przepuszczalności powietrznej. Zawartość makroporów >300 μm wynosiła w poziomach Ap badanych gleb $0,058$ - $0,087$ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ i była istotnie większa (średnio o $0,029$ - $0,042$ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) niż w poziomach podpowierzchniowych (tab. 4). Objętość tych porów w glebach kompleksu trzeciego była istotnie większa (średnio o $0,021$ - $0,026$ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) w porównaniu z glebami kompleksu pierwszego i drugiego. Ich zawartość korelowała ściśle dodatnio z zawartością frakcji piasku ($r = 0,47$) i C org. ($r = 0,49$) oraz ściśle ujemnie z zawartością iłu ($r = -0,64$) (tab. 3).

Zawartość makroporów o średnicy równoważnej >20 μm decyduje o pojemności powietrznej gleby przy połowej pojemności wodnej, a w okresie intensywnych opadów określa zdolność do retencjonowania wody grawitacyjnej. Poziomy Ap badanych gleb charakteryzowały się istotnie większą zawartością tej grupy porów (średnio o $0,033$ - $0,057$ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) niż poziomy podpowierzchniowe (tab. 4). Zawartość makroporów >20 μm była w glebach kompleksu pierwszego i trzeciego istotnie większa (o $0,037$ - $0,044$ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) w porównaniu z glebami kompleksu drugiego. Zawartość makroporów >20 μm była ściśle dodatnio skorelowana z zawartością piasku ($r = 0,60$), słabo dodatnio z zawartością żwiru ($r = 0,36$) i C org. ($r = 0,36$), a ujemnie z zawartością iłu ($r = -0,73$) (tab. 3).

Wodę użyteczną dla roślin (w zakresie potencjału od $-15,5$ kPa do -1554 kPa) retencjonują mezopory glebowe o średnicy równoważnej $0,2$ - 20 μm . Retencja wody użytecznej w poziomach Ap była istotnie większa (o $0,039$ - $0,044$ $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) niż w poziomach podpowierzchniowych (tab. 4). Nie stwierdzono istotnych różnic w retencji wody użytecznej pomiędzy kompleksami, występowały jedynie istotne różnice w interakcji kompleksów z warstwami w pedonach. Retencja wody użytecznej wykazywała słabą dodatnią korelację z zawartością C org. ($r = 0,38$) i ścisłą ujemną korelację z zawartością iłu ($r = -0,59$) (tab. 3).

Tabela 4. Właściwości wodno-powietrzne – ciąg dalszy (wartości średnie z 4 pedonów)
Table 4. Water-air properties – continued (mean values from 4 pedons)

Kompleks Complex (K)	Warstwa – głębokość Layer – depth (cm) (W)	Zawartość porów Pore-size content (m ³ ·m ⁻³)		Retencja wody użytecznej Retention of useful water (m ³ ·m ⁻³)	Przewodnictwo wodne nasycone Saturated hydraulic conductivity (m d ⁻¹)	Przepuszczalność powietrzna Air permeability at –15.5 kPa (·10 ⁻⁸ m ² ·Pa ⁻¹ ·s ⁻¹)	Wskaźnik <i>S</i> Index <i>S</i>
		>300 µm	>20 µm				
		Pierwszy First	0-25				
	25-50	0,037	0,115	0,131	0,40	54,0	0,024
	50-75	0,023	0,112	0,139	0,41	17,5	0,025
	75-100	0,038	0,122	0,142	0,20	35,9	0,026
Drugi Second	0-25	0,067	0,138	0,207	0,48	33,8	0,044
	25-50	0,034	0,087	0,152	0,20	20,6	0,027
	50-75	0,015	0,076	0,118	0,86	29,9	0,019
	75-100	0,021	0,063	0,119	0,10	18,5	0,019
Trzeci Third	0-25	0,087	0,157	0,158	2,06	82,8	0,031
	25-50	0,042	0,082	0,127	0,48	9,1	0,020
	50-75	0,047	0,128	0,141	2,17	21,5	0,024
	75-100	0,066	0,173	0,134	4,31	23,4	0,025
Średnia Mean	0-25	0,071	0,152	0,176	1,07	49,2	0,037
	25-50	0,038	0,095	0,137	0,36	27,9	0,024
	50-75	0,029	0,105	0,133	1,14	23,0	0,023
	75-100	0,042	0,119	0,132	1,53	25,9	0,023
Pierwszy First		0,039	0,128	0,143	0,42	34,6	0,028
Drugi Second	średnia mean	0,034	0,091	0,149	0,41	25,7	0,027
Trzeci Third		0,060	0,135	0,140	2,26	34,2	0,025
	kompleksy – complexes K	0,011	0,024	r. n. n. s.	0,74	r. n. n. s.	r. n. n. s.
NIR – LSD	warstwy – layers W	0,014	0,030	0,017	0,94	r. n. n. s.	0,005
(α=0,05):	interakcja – interaction K×W	r. n. n. s.	r. n. n. s.	0,027	1,49	43,7	0,007

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

Największe przewodnictwo wodne w strefie nasyconej stwierdzono w glebach kompleksu trzeciego, zarówno w poziomie Ap (średnio $2,06 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$), jak i w poziomach podpowierzchniowych, zwłaszcza 2C o składzie granulometrycznym piasków (w warstwie 75-100 cm – średnio $4,31 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$) (tab. 4). Najmniejszym przewodnictwem wodnym charakteryzowały się poziomy Bt gleb kompleksu pierwszego i drugiego w warstwie 75-100 cm (średnio $0,10\text{-}0,20 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$). Analiza korelacji wykazała ścisłą dodatnią zależność przewodnictwa wodnego od zawartości frakcji piasku ($r = 0,45$) oraz słabą ujemną zależność od zawartości pyłu ($r = -0,29$) i łu ($r = -0,34$) (tab. 3).

Średnie wartości przepuszczalności powietrznej w stanie połowej pojemności wodnej (przy potencjale wody $-15,5 \text{ kPa}$) z czterech gleb wynosiły od $9,1\cdot 10^{-8}$ do $82,8\cdot 10^{-8} \text{ m}^2\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (tab. 4). Istotne różnice w przepuszczalności powietrznej stwierdzono jedynie w interakcji kompleksów z warstwami pedonu. Przepuszczalność powietrzna wykazywała słabą dodatnią korelację z zawartością C org. ($r = 0,32$) (tab. 3).

Wartości bezwzględne wskaźnika jakości fizycznej S w poziomach Ap badanych gleb wynosiły od 0,031 do 0,044 i były istotnie wyższe (średnio o 0,013-0,014) od poziomów i warstw głębszych (tab. 4). Wartości wskaźnika S wykazywały również istotne statystycznie różnice w interakcji kompleksów przydatności rolniczej i warstw pedonów. Wskaźnik S korelował ściśle dodatnio z zawartością C org. ($r = 0,45$) oraz ujemnie z zawartością łu ($r = -0,69$) (tab. 3).

DYSKUSJA

Przedstawione wyniki badań wykazały, że gleby kompleksu pierwszego charakteryzowały się istotnie większą zawartością makroporów o średnicy równoważnej $>20 \mu\text{m}$, natomiast mniejszą połową pojemnością wodną, pojemnością wodną w punkcie trwałego wędnięcia roślin i względną pojemnością połową od gleb kompleksu drugiego. Gleby kompleksu pierwszego miały istotnie mniejszą zawartość makroporów $>300 \mu\text{m}$ i mniejsze przewodnictwo wodne nasycone od gleb kompleksu trzeciego. Z kolei gleby kompleksu drugiego w porównaniu z glebami kompleksu trzeciego istotnie różniły się większą połową pojemnością wodną, pojemnością wodną w punkcie trwałego wędnięcia, względną pojemnością połową oraz mniejszą zawartością makroporów o średnicy $>300 \mu\text{m}$ i $>20 \mu\text{m}$ i mniejszym przewodnictwem wodnym.

Na podstawie ustalonych kryteriów oceny jakości wybranych właściwości fizycznych gleb (Paluszek 2011) gęstość gleby w poziomach Ap (0-25 cm) oceniono jako średnią, a w poziomach Et, Bt i C (25-100 cm) jako dużą. Duże zagęszczenie jest cechą charakterystyczną dla wszystkich gleb płowych wytworzonych z glin zwałowych (Wojtasik 1995, Kobierski i Dąbkowska-Naskręt 2003, Kaczmarek i in. 2007). Wynika ono zarówno z pierwotnego upakowania cząstek gleby,

jak i z ugniatania przez koła ciągników i maszyn rolniczych. Kobierski i Dąbkowska-Naskręt (2003) stwierdzili gęstość gleby $1,56-1,70 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ w poziomach Ap i $1,80-1,83 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ w poziomach Bt, a według Wojtasika (1995) maksymalne wartości w poziomach głębszych mogą przekraczać $1,90 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Zagęszczenie gleb wywarło decydujący wpływ na ich porowatość, pojemność i retencję wodną oraz przewodnictwo wodne.

W rezultacie znacznego zagęszczenia porowatość ogólna w poziomach Ap badanych gleb była średnia, a w poziomach podpowierzchniowych – mała. Podobne wartości uzyskali w swych badaniach Kobierski i Dąbkowska-Naskręt (2003) oraz Kaczmarek i in. (2007). Połową pojemność wodną w badanych glebach oceniono jako średnią. Pojemność wodna w punkcie trwałego wędnięcia w poziomach Ap była mała, a w poziomach głębszych średnia, duża lub bardzo duża. Zawartość makroporów o średnicy $>20 \mu\text{m}$ w poziomach Ap była średnia lub duża, a w poziomach podpowierzchniowych mała lub średnia.

Retencja wody użytecznej dla roślin w poziomach Ap gleb była średnia lub duża, a w poziomach głębszych mała lub średnia. Mała retencja w poziomach Bt była uwarunkowana ich nadmiernym zagęszczeniem. Jeszcze niższe wartości retencji wody użytecznej w glebach płowych wytworzonych z glin piaszczystych i lekkich uzyskali w swych badaniach Kaczmarek i in. (2008). Przewodnictwo wodne w strefie nasyconej w poziomach Ap oceniono jako małe lub średnie, a w poziomach podpowierzchniowych jako małe, średnie lub duże. Przepuszczalność powietrzna w stanie polowej pojemności wodnej w poziomach Ap była średnia lub duża, a w poziomach Et, Bt i C – mała lub średnia.

Dobry wzrost i funkcjonowanie korzeni roślin uprawnych wymagają odpowiedniej relacji pomiędzy zawartością mezoporów o średnicy $0,2-20 \mu\text{m}$, retencjonujących wodę użyteczną dla roślin a udziałem makroporów $>20 \mu\text{m}$, zapewniających napowietrzenie. Według Reynoldsa i in. (2008) dla zasilanych opadami mineralnych gleb uprawnych optymalna równowaga pomiędzy pojemnością wodną strefy korzeniowej gleb a pojemnością powietrzną występuje wtedy, kiedy względna pojemność połowa jest równa $0,6-0,7$. Olness i in. (1998) ustalili, że optymalna równowaga między zdolnością do zatrzymywania wody w powierzchniowej warstwie gleby a aeracją jest zachowana wtedy, kiedy połowa pojemność wodna (równa sumie mezoporów i mikroporów $<0,2 \mu\text{m}$) stanowi $0,66$ porowatości ogólnej, a pojemność powietrzna $0,34$.

Wartości bezwzględne obliczonego wskaźnika S (Dexter 2004, Paluszek 2001) pozwalają ocenić jakość fizyczną poziomów Ap gleb zaliczanych do kompleksu pierwszego i trzeciego jako średnią ($S = 0,031-0,035$), a poziomów Ap gleb kompleksu drugiego jako dobrą ($S = 0,44$). Natomiast jakość fizyczna poziomów podpowierzchniowych gleb oceniona została najczęściej jako słaba ($S = 0,023-0,027$) lub bardzo słaba ($S = 0,019-0,020$).

WNIOSKI

1. Właściwości wodno-powietrzne gleb pływych wytworzonych z glin zwałowych zaliczanych do kompleksu pierwszego, drugiego i trzeciego są uwarunkowane ich składem granulometrycznym i zawartością materii organicznej.

2. Poziomy Ap zasobniejsze w materię organiczną wykazują korzystniejsze właściwości wodno-powietrzne w porównaniu z poziomami głębiej zalegającymi. Są one średnio korzystne pod względem zagęszczenia, zdolności do retencji wody użytecznej dla roślin, zawartości makroporów o średnicy $>20 \mu\text{m}$ oraz mało i średnio korzystne pod względem przewodnictwa wodnego. Charakteryzują się jednocześnie średnią lub dobrą przepuszczalnością powietrzną.

3. Znaczny udział frakcji pyłu w poziomach Ap gleb kompleksu drugiego warunkuje w nich mniejsze zagęszczenie, większą połową pojemność wodną i retencję wody użytecznej w porównaniu z glebami kompleksów pszennego dobrego i pszennego wadliwego.

4. Obliczony syntetyczny wskaźnik S pozwala ocenić poziomy Ap gleb kompleksu pierwszego i trzeciego jako średnie, a kompleksu drugiego jako dobre pod względem ich jakości fizycznej.

5. Wskaźnik jakości fizycznej gleb S kwalifikuje poziomy podpowierzchniowe gleb pływych wytworzonych z glin jako słabe lub bardzo słabe. Uwarunkowane jest to większą zawartością w nich frakcji iłu i małą zawartością materii organicznej.

PIŚMIENNICTWO

- Arshad M.A., Martin S., 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. *Agric. Ecosys. Environ.*, 88, 153-160.
- Dexter A.R., 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120, 201-214.
- Eijkkamp Agrisearch Equipment, 1985. ICW laboratory permeameters for determination of water permeability of soil samples. Brochure no. III/09.02/85/E, Giesbeek.
- Kaczmarek Z., Gajewski P., Owczarzak W., Grzelak M., 2007. Wybrane właściwości fizyczne i wodne gleb pływych wytworzonych z glin zwałowych równiny dennomorenowej (Würm). *Rocz. Glebozn.*, 58, 1-2, 45-52.
- Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., Schuman G.E., 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61, 4-10.
- Kobierski M., Dąbkowska-Naskręt H., 2003. Skład mineralogiczny i wybrane właściwości fizykochemiczne zróżnicowanych typologicznie gleb Równiny Inowrocławskiej. Cz. I. Morfologia oraz właściwości fizyczne i chemiczne wybranych gleb. *Rocz. Glebozn.*, 54, 4, 17-27.
- Kondracki J., 2002. *Geografia regionalna Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Kutilek M., 2004. Soil hydraulic properties as related to soil structure. *Soil Till. Res.*, 79, 175-184.
- Mualem Y., 1986. Hydraulic conductivity of unsaturated soils: prediction, and formulas. In: *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods* (Ed. A. Klute), 2nd ed., Am. Soc. Agron. Monograph 9, 799-823.

- Olness A., Clapp C.E., Liu R., Palazzo A.J., 1998. Biosolids and their effects on soil properties. W: Handbook of soil conditioners (red. A. Wallace, R.E. Terry), Marcel Dekker, New York, 141-165.
- Paluszek J., 2011. Kryteria oceny jakości fizycznej gleb uprawnych Polski. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie, 191, 1-139.
- PTG, 2011. Systematyka gleb Polski. Wydanie 5. Roczn. Glebozn., 62, 3, 5-193.
- Reynolds W.D., Drury C.F., Yang X.M., Tan C.S., 2008. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interaction. Geoderma, 146, 466-474.
- 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.
- van Genuchten M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44, 892-898.
- van Genuchten M.T., Leij F.J., Yates S.R., 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. Version 1.0. EPA Report 600/2-91/065, Ada, Oklahoma, 1-85.
- Walczak R., Ostrowski J., Witkowska-Walczak B., Sławiński C., 2002. Hydrofizyczne charakterystyki mineralnych gleb ornych Polski. Acta Agrophysica, 79, 1-64.
- Wojtasik M., 1995. Gęstość naturalna gleb mineralnych. Wyd. WSP w Bydgoszczy, Bydgoszcz.

RELATIONSHIP OF SOIL PHYSICAL QUALITY OF LUVISOLS DEVELOPED FROM MORAIN LOAMS TO THEIR AGRICULTURAL SUITABILITY

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 water and air properties of Luvisols developed from moraine loams and classified to various complexes of agricultural suitability. Soils classified in the very good wheat (first) complex were characterised by significantly greater content of macropores with equivalent diameter $>20\ \mu\text{m}$, however by smaller field water capacity than soils classified in the good wheat (second) complex. Soils classified in the first complex had significantly smaller saturated hydraulic conductivity than soils classified in the deficient wheat (third) complex. Soils of the second complex, in comparison to soils classified in the third complex, had significantly greater field water capacity, smaller content of macropores $>20\ \mu\text{m}$ and smaller saturated hydraulic conductivity. The bulk density of Ap horizons (0-25 cm) was estimated as medium, and that of the Et, Bt and C horizon (25-100 cm) as large. The field water capacity in the investigated soils was estimated as medium. The content of macropores $>20\ \mu\text{m}$ and the retention of water useful to plants were estimated as medium or large, the saturated hydraulic conductivity was estimated as low or medium, and air permeability at field water saturation – as medium or large in Ap horizons of the soils. The values of index *S* for the Ap horizons of soils classified in the first and third complex indicate a medium physical quality, and values for Ap horizons of soils in the second complex – as good quality. The physical quality of subsoil was estimated generally as weak or very weak.

Keywords: Luvisols, complex of agricultural suitability, water-air properties, index *S*