

MORFOMETRYCZNA OCENA PRZEMIAN STRUKTURY GLEBY ZE ZWARTEJ W AGREGATOWĄ

Maja Bryk

Institut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin
e-mail: maja.bryk@up.lublin.pl

Streszczenie. Badaniom poddano uprawną glebę płąwą typową wytworzoną z lessu. Próbkę glebową o nienaruszonej strukturze pobrano w płaszczyźnie pionowej z warstwy 0–8 cm. Posłużyły one do wykonania utwalonych żywicą zglądów glebowych. Zglądy zestawiono w sekwencji od gleby o strukturze zwartej i porowatej do gleby o dość jednorodnej strukturze agregatowej (okruchowej), tworząc ciąg obrazujący hipotetyczne tworzenie się struktury agregatowej. Na bazie przetworzonych zdjęć zglądów wykonano komputerową analizę obrazu. Wyznaczono i obliczono: pola A_i , liczebność N i obwody L_i przekrojów porów; makroporowatość A_A ; długość względną obwodów przekrojów porów L_A ; liczebność względną przekrojów porów N_A ; średnie pole przekrojów porów A_N . Na podstawie wartości A_A i L_A wyznaczono λ_p i λ_S – drogę swobodną przez obszar przekrojów porów i elementów strukturalnych fazy stałej, odpowiednio. Wartości A_A , L_A oraz λ_S zmieniały się, wraz ze zmianą struktury gleby, w najbardziej charakterystyczny sposób. Szczególnie wyraźne różnice odnotowano między wartościami A_A i L_A dla trzech typów struktury gleby: I. struktury o porach oddzielonych od siebie, ciągłej fazy stałej i braku agregatów; II. struktury o porach o różnym charakterze, przecinających fazę stałą i tworzących mniej lub bardziej regularny system, bez agregatów; III. struktury o porach tworzących rozbudowaną sieć, w której znajdują się agregaty typu okruchów.

Słowa kluczowe: gleba płąwa, struktura, analiza obrazu, morfometria

WSTĘP

Strukturę gleby można ilościowo scharakteryzować przy użyciu wielu metod. Jedne z nich polegają na pomiarze parametrów porów glebowych, inne zaś opisują przestrzenne uporządkowanie pojedynczych cząstek fazy stałej i zespołów tych cząstek – agregatów (Six i in. 2000, Bronick i Lal 2003). Pewna grupa metod zasadza się na pomiarze właściwości fizycznych gleby bezpośrednio lub pośrednio związanych ze strukturą (Roger-Estrade i in. 2004). Do liczbowego opisu

struktury gleby najczęściej wykorzystuje się jednak wskaźniki charakteryzujące pory, ponieważ ich rozmiar, kształt i stopień połączenia wpływają decydująco na wiele ważnych procesów zachodzących w glebie (Ringrose-Voase i Bullock 1984, Li i in. 2004).

Obraz układu makroporów w glebie można uzyskać sporządzając utrwalone żywicą próbki glebowe o nienaruszonej strukturze, tzw. cienkie szlify lub nieprzezroczyste szlify glebowe (Ringrose-Voase 1996). Zdjęcia zglądów bądź cienkich szlifów, uzyskane za pomocą kamery, skanera, mikroskopu, itp., i przetworzone na formę cyfrową, opracowuje się, wykorzystując komputerową analizę obrazu. Analizę obrazu stosuje się najczęściej do określenia aktualnego stanu fizycznego gleby oraz do badań porównawczych, np. określenia wpływu zabiegów uprawowych na strukturę gleby (np. Pagliai i in. 2004).

Największym problemem pozostaje jednak ciągle ilościowy opis struktury gleby, chociaż opracowano wiele wskaźników, charakteryzujących tę strukturę. McBratney i Moran (1990) dokonali oszacowania kilku parametrów definiujących system porów glebowych: porowatości, powierzchni właściwej, odległości swobodnej między przekrojami porów i odległości swobodnej między przekrojami agregatów. Podobne badania prowadzili, m.in., Singh i in. (1991), Mermut i in. (1992), Pierret i in. (2002) oraz Lamandé i in. (2003). Droogers i in. (1998) zdefiniowali i porównali 17 parametrów opisujących makroporowatość gleby. Na podstawie wykonanych badań stwierdzili, że najlepsze dla celów porównawczych parametry do ilościowego opisu układu porów to: liczba porów, średnia powierzchnia przekrojów porów, wskaźnik kształtu poru oraz wymiar fraktalny.

Charakterystycznych relacji między strukturą gleby a wartościami parametrów morfologicznych poszukiwali także m.in. Ringrose-Voase i Bullock (1984), Ringrose-Voase (1990), Ringrose-Voase i Nys (1990), Holden (2001) oraz Bryk (2004).

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań zależności podstawowych parametrów morfometrycznych przekrojów porów od struktury wybranych próbek gleby płowej.

OBIEKT I METODYKA BADAŃ

Do badań wybrano uprawną glebę płową typową wytworzoną z lessu, zlokalizowaną w miejscowości Czesławice (51°18'23" N – 22°16'03" E, Płaskowyż Nalęczowski, Wyżyna Lubelska). Z warstwy 0-8 cm, do metalowych pudełek o wymiarach 9×8×4 cm, pobrano w płaszczyźnie pionowej próbki glebowe o nienaruszonej strukturze. Próbki posłużyły do wykonania utrwalonych żywicą szlifów (zglądów) glebowych. Do badań wybrano 27 zglądów reprezentujących 9 różnych stanów gleby, w 3 powtórzeniach dla każdego stanu. Próbki glebowe zestawiono w sekwencji od gleby o strukturze masywnej (zwartej) i porowatej do gle-

by o dość jednorodnej strukturze agregatowej – okrucowej, tworząc ciąg obrazujący hipotetyczne tworzenie się jednorodnej struktury agregatowej.

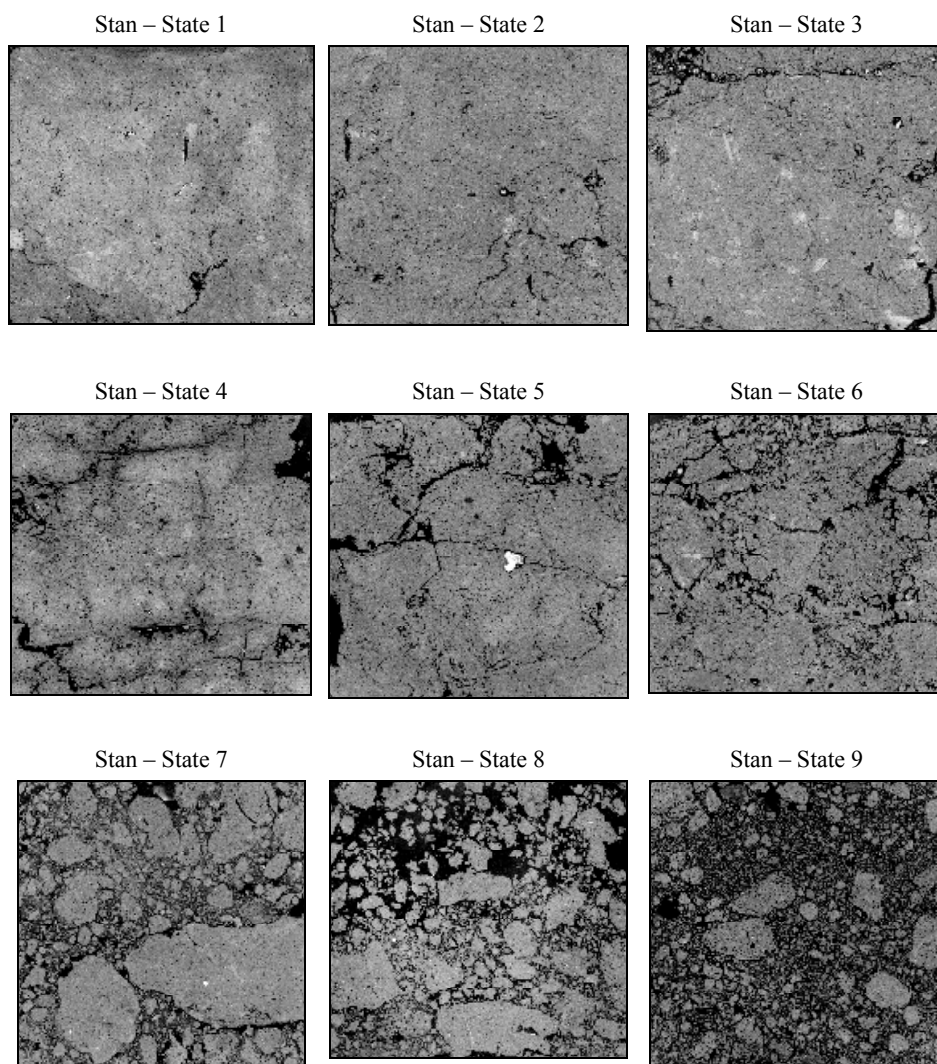
Otrzymane powierzchnie zglądów zeskanowano, otrzymując cyfrowe zdjęcia w 256 odcieniach szarości. Ze względu na zastosowaną rozdzielczość skanowania (600 dpi) najmniejszy zidentyfikowany obiekt miał wymiar 42,333 μm . Kolejnym etapem była obróbka obrazów przy użyciu programu do analizy obrazu Aphelion (AAI Inc., ADCIS S.A.). Zastosowano filtr medianowy o rozmiarze 3×3 piksele, dzięki któremu wygładzono krawędzie obiektów oraz wyeliminowano szumy i artefakty. Następnie zdjęcia monochromatyczne poddano binaryzacji, uzyskując dwubarwne obrazy, na których pory glebowe miały barwę czarną, zaś faza stała – białą. Na bazie obrazów binarnych wykonano pomiary przy użyciu programu Aphelion. Wykorzystując informację z całych obrazów binarnych wyznaczono pola (A_i , cm^2) przekrojów porów. Liczebność (N) oraz obwody (L_i , cm) przekrojów porów określono natomiast dla przekrojów o środkach ciężkości zawartych w ramce ochronnej (Wojnar i in. 2002). Ograniczała ona centralnie usytuowany, prostokątny obszar, pokrywający 80% powierzchni obrazu binarnego. Następnie obliczono makroporowatość (powierzchnię względną przekrojów porów, pole przekroju porów na jednostkę pola przekroju próbki), $A_A = (1/A) \sum_{i=1}^N A_i$ ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$) oraz długość względną obwodów przekrojów porów (długość względną linii granicznej między porami a fazą stałą), $L_A = (1/A) \sum_{i=1}^N L_i$ ($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-2}$), gdzie L_i jest obwodem przekroju poru, obliczonym zgodnie ze wzorem Croftona (Wojnar i Majorek 1994). Na podstawie wartości A_A i L_A dla każdego zglądu wyznaczono parametr λ_p , określający drogę swobodną przez obszar zajmowany przez przekroje porów, który jest dobrym przybliżeniem średniego rozmiaru przekrojów porów: $\lambda_p = \pi (A_A/L_A)$ (mm). Podobnie obliczono wartość λ_s , określającą drogę swobodną przez obszar zajmowany przez przekroje elementów strukturalnych fazy stałej, charakteryzującą średni rozmiar tych przekrojów (Ringrose-Voase 1990, Bryk 2000): $\lambda_s = \pi [(1-A_A)/L_A]$ (mm). Następnie wyznaczono liczbę względną przekrojów porów, $N_A = N/A$ (cm^{-2}) i średnie pole przekrojów porów, $A_N = A/N$ (mm^2).

Dla każdej cechy, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, wykonano analizę wariancji dla klasyfikacji pojedynczej ortogonalnej – czynnik zmienności: stan struktury gleby.

WYNIKI I DYSKUSJA

Na rysunku 1 przedstawiono reprezentatywne monochromatyczne zdjęcia zglądów dla każdego stanu struktury gleby. Zglądy uporządkowano w szeregu, od próbek bez wykształconych agregatów do próbek o agregatach o zbliżonych rozmiarach, a więc według wzrastającego rozdrobnienia fazy stałej i rozwijania się

sieci porów. Przy opisie struktury próbek glebowych wykorzystano klasyfikację zaproponowaną przez Beckmanna i Geyger (1967), Brewera (1964) oraz Jonge-riusa i Rutherforda (1979).



Rys. 1. Reprezentatywne monochromatyczne zdjęcia zglądów dla kolejnych 9 stanów struktury gleby, w skali 1:2

Fig. 1. Characteristic monochrome images of opaque block faces for each of 9 states of soil structure, in the scale of 1:2

W tabeli 1 zestawiono wyniki analizy morfometrycznej oraz statystycznej, uzyskane dla każdego z 9 stanów gleby. Po przeanalizowaniu wyników, w obrębie przebadanych 9 stanów struktury gleby, wyróżniono 3 grupy struktur glebowych. Grupa I obejmowała gleby o strukturze porowatej, porowato-szparkowej i porowato-szparkowej ze szczelinową (stany 1-3), grupa II – o strukturze porowato-szczelinowej, szczelinowej z gąbczastą i szparkową (stany 4-6), a grupa III – o strukturze agregatowej – okruchowej (stany 7-9). Takie uogólnienie wyników dla wszystkich cech umożliwiło wychwycenie kolejnych, istotnych statystycznie różnic.

Tabela 1. Wartości zmierzonych cech dla 9 stanów struktury gleby. Dla każdej cechy pary danych różniących się statystycznie oznaczono takimi samymi literami

Table 1. Values of measured parameters for 9 states of soil structure. For each parameter the same letters denote statistically different pairs of data

Cecha Parameter	A_A ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$)	L_A ($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-2}$)	N_A (cm^{-2})	A_N (mm^2)	λ_P (mm)	λ_S (mm)
Stan 1 State 1	0,029 a b c d e f	3,56 a b c d e f	52,89 a b	0,050 a b c	0,271 a f	8,998 a b c d e f g
Stan 2 State 2	0,042 g h i j k	5,22 g h i j k l	62,75 c	0,070 d e f	0,252 b g	6,369 h i j k l m
Stan 3 State 3	0,070 l m n o	6,53 m n o	64,79 d	0,114 g h	0,347 c h	5,008 a n o p
Stan 4 State 4	0,136 a p q r	13,37 a g p q	136,35 a c d e f g	0,101 i j k	0,320 d i	2,051 b h
Stan 5 State 5	0,155 b g s t u	13,98 b h r s	122,30 b h	0,126 l m	0,356 e j	1,955 c i
Stan 6 State 6	0,197 c h l w x y	13,90 c i t u	94,47	0,224 n o	0,449	1,854 d j
Stan 7 State 7	0,377 d i m p s w	20,70 d j m w	70,25 e	0,597 a d i	0,579 a b c d e	0,961 e k n
Stan 8 State 8	0,391 e j n q t x	22,10 e k n p r t x	58,34 f	0,899 b e g j l n	0,574 f g h i j	0,894 f l o
Stan 9 State 9	0,424 f k o r u y	30,53 f l o q s u w x	57,92 g h	0,947 c f h k m o	0,436	0,594 g m p
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	0,101	7,716	64,32	0,493	0,209	3,764

W pracy wykorzystano 6 parametrów stereologicznych. Można je podzielić na: lokalne (statystyczne), podające uśrednioną charakterystykę jednej cząstki

w danej przestrzeni (średnia powierzchnia przekroju poru, średnia średnica przekrojów porów, średnia średnica przekrojów elementów strukturalnych fazy stałej), oraz integralne (globalne), charakteryzujące liczbowo zbiór określonych części w materiale w odniesieniu do jednostki miary danej przestrzeni (powierzchnia względna przekrojów porów, długość względna obwodów przekrojów porów, liczebność względna przekrojów porów).

Wartość średnia powierzchni względnej przekrojów porów (makroporowatości), A_A , dla wszystkich próbek glebowych wynosiła $0,202 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$. Zaobserwowano zwiększanie się powierzchni przekrojów porów na badanych zglądach dla kolejno po sobie następujących stanów struktury od 1 do 9, czyli wraz ze wzrostem rozdrobnienia stałej fazy gleby. Jednak, mimo tendencji wzrostowej makroporowatości, istotna statystycznie różnica występowała jedynie między stanami 6 i 7. Pozostałe liczne, istotne statystycznie, różnice zaobserwowano między stanami struktury gleby niewystępującymi bezpośrednio po sobie. Natomiast dla wyróżnionych 3 grup struktur różnice między nimi były bardzo wyraźne (tab. 2). Grupa I gleb o strukturze porowatej, porowato-szparkowej i porowato-szparkowej ze szczelinową charakteryzowała się najniższymi wartościami makroporowatości, wynoszącymi około $0,050 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$. Próbkę o bardziej rozwiniętym systemie porów glebowych (grupa II), tj. o strukturze porowato-szczelinowej, szczelinowej z gąbczastą i szparkową, miały wyraźnie wyższą makroporowatość – około $0,160 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$. Próbkę o strukturze agregatowej – okruchowej (grupa III) miały makroporowatość rzędu $0,400 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$.

Tabela 2. Wartości zmierzonych cech dla 3 grup struktur glebowych. Dla każdej cechy pary danych różniących się statystycznie oznaczono takimi samymi literami

Table 2. Values of measured parameters for 3 groups of soil structures. For each parameter the same letters denote statistically different pairs of data

Cecha Parameter	A_A ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$)	L_A ($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-2}$)	N_A (cm^{-2})	A_N (mm^2)	λ_P (mm)	λ_S (mm)
Grupa I Group I	0,047 a b	5,11 a b	60,14 a	0,076 a	0,290 a	6,792 a b
Grupa II Group II	0,163 a c	13,75 a c	117,71 a b	0,151 b	0,375 b	1,953 a
Grupa III Group III	0,397 b c	24,45 b c	62,17 b	0,814 a b	0,529 a b	0,817 b
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	0,045	4,258	28,69	0,212	0,101	1,799

Długość względna obwodów przekrojów porów, L_A , osiągnęła średnią wartość równą $14,44 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-2}$ i była wyraźnie zależna od rodzaju badanej struktury. Zaobserwowano widoczną tendencję wzrostową wartości omawianej cechy wraz z przechodzeniem od struktury porowatej i o większym zagęszczeniu do agregatowej. Wiązało się to z ilością, jak i wielkością, występujących w próbkach gleby porów. Wartość długości względnej przekrojów porów wzrastała w podobny sposób, jak wartość makroporowatości. Zwiększanie się ilości i wielkości porów glebowych powodowało bowiem wydłużanie się linii granicznej między przekrojami porów i stałej fazy gleby. Mimo wyraźnego trendu wzrostowego, nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między wartościami długości względnej dla następujących po sobie stanów gleby. Dla wyróżnionych 3 grup struktur, zaobserwowane znaczne różnice między nimi potwierdziła analiza statystyczna (tab. 2). Grupa I gleb charakteryzowała się najniższymi wartościami długości względnej, wynoszącymi około $5 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-2}$. Próbki o bardziej rozwiniętym systemie porów glebowych (grupa II) miały niemal trzykrotnie wyższą długość względną – około $14 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-2}$. Próbki o strukturze agregatowej – okrucowej (grupa III) miały długość względną wynoszącą ponad $24 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Liczność względna przekrojów porów, N_A , to liczba przekrojów porów glebowych, mieszczących się w obrębie 1 cm^2 szlif. Stwierdzono, że próbki gleby ze stanów 4-6 charakteryzowały się znacznie wyższymi wartościami licznosci względnej niż próbki ze stanów 1-3 i 7-9. Szczególnie wysoką wartość omawianego parametru zaobserwowano dla stanu 4. Próbki gleby z grupy I i III wykazały podobną ilość porów przypadających na jednostkę powierzchni zglądu, odpowiednio $60,14$ i $62,17 \text{ cm}^2$, i była ona znacznie mniejsza, niż dla próbek z grupy II – $117,71 \text{ cm}^2$. Struktury glebowe zaklasyfikowane do grupy I cechowały się występowaniem drobnych i niezbyt licznych porów niestykających się ze sobą. Natomiast w III grupie struktur glebowych pory miały wyraźny charakter spękań i były ze sobą połączone tworząc dość złożony system. Mimo zatem sporej makroporowatości, znacznie większej, niż dla próbek z grupy I, liczba wykrytych odrębnych porów w jednostce powierzchni zglądu nie była duża. Jedynie grupa II, do której zaliczono struktury gleby ze stanów 4, 5 i 6, wykazała znacząco większą licznosc względną przekrojów porów. Związane to było z tym, iż struktury glebowe, zaklasyfikowane do omawianej grupy, miały charakter przejściowy między strukturami zwartymi i porowatymi a agregatowymi. Na zglądach z grupy II zaobserwowano dość dużą ilość porów o różnych wielkościach, które w znaczącym stopniu nie były ze sobą połączone.

Średnia wartość średniego pola przekrojów porów, A_N , dla 9 stanów struktury gleby wynosiła $0,347 \text{ mm}^2$ i wzrastała stopniowo wraz ze zmianą struktury gleby od zwartej/porowatej do agregatowej (okrucowej). Zaobserwowano niezbyt duże

różnice w wartości omawianego parametru dla stanów 1-6, mieściły się one w zakresie od 0,050 do 0,224 mm². Znacznie wyższe wartości odnotowano dla stanów 7-9: od około 0,6 do około 1 mm². Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między wartościami średniego pola przekrojów porów dla następujących po sobie stanów gleby. Natomiast dla wyróżnionych 3 grup struktur zaobserwowano znaczne, potwierdzone statystycznie, różnice między grupą I i II a III. Próbkę zaliczone do grupy I miały niską makroporowatość i dość niską liczbę przekrojów porów przypadających na jednostkę powierzchni zglądu. Makroporowatość próbek glebowych z grupy II była ponad trzykrotnie większa, ale jednocześnie wzrosła liczność względna porów glebowych. Z tego względu wartość parametru A_N dla grup struktur I i II była zbliżona i wyniosła odpowiednio 0,076 i 0,151 mm². W odróżnieniu od tego próbki gleby zaklasyfikowane do grupy III charakteryzowały się dużymi wartościami makroporowatości przy dość niskich wartościach liczności względnej przekrojów porów, co przejawiało się wysoką wartością średniego pola przekrojów porów – 0,814 mm².

Na podstawie wartości A_A i L_A , dla każdego zglądu wyznaczono λ_p i λ_s . Parametr λ_p określa drogę swobodną przez obszar zajmowany przez przekroje porów i jest dobrym przybliżeniem średniego rozmiaru przekrojów porów. Natomiast λ_s określa drogę swobodną przez obszar zajmowany przez przekroje elementów strukturalnych fazy stałej, charakteryzuje zatem średni rozmiar tych przekrojów.

Średnia średnica przekrojów porów, λ_p , dla wszystkich próbek glebowych wynosiła 0,398 mm. Zaobserwowano niezbyt wyraźną tendencję wzrostową tej cechy dla kolejno po sobie następujących stanów struktury gleby. Wynikało to ze zmiany charakteru struktury, przechodzącej z porowatej poprzez porowato-szparkową, porowato-szczelinową, szczelinowo-gąbczasto-szparkową w strukturę okruchową. Wraz ze zmianą struktury zwiększał się udział powierzchni zajmowanej przez pory glebowe, co wywołało wzrost parametru λ_p . Dla I i II grupy struktur wartości λ_p były, w ocenie statystycznej, bardzo zbliżone i wynosiły odpowiednio 0,290 i 0,375 mm, natomiast dla grupy III wartość omawianego parametru była niemal dwukrotnie większa i osiągnęła 0,529 mm.

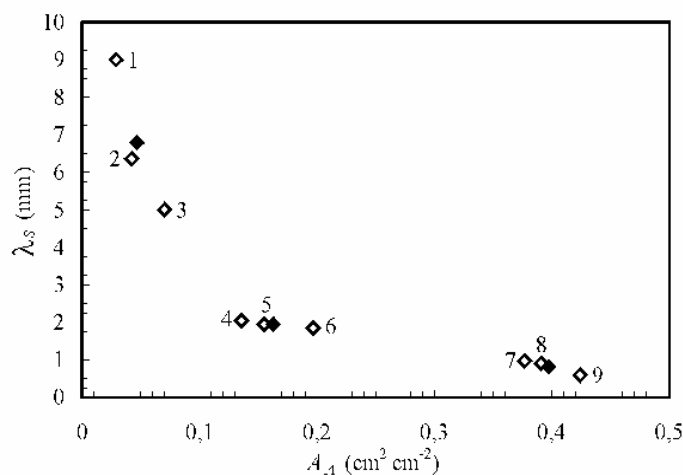
Średnia średnica przekrojów elementów strukturalnych fazy stałej, λ_s , umożliwiła w wyraźny sposób zaobserwowanie przemiany struktury zbitej w agregatową. Nastąpiło stopniowe obniżenie się wartości omawianej cechy z około 9 mm dla stanu 1 do 0,6 mm dla stanu 9. Stwierdzono ponadto liczne istotne statystycznie różnice, szczególnie pomiędzy stanami 1–3 a pozostałymi. Analogicznie, jak dla wcześniej charakteryzowanych cech, zgrupowano po 3 stany struktury gleby. W grupie I, do której zaliczono stany struktury 1, 2 i 3, wartości omawianego parametru znacznie przekraczały średnią równą 3,187 mm, co wynikało z nieznanego zagregatowania stałej fazy gleby i występowania jedynie niewielkiej

liczby małych porów. Dla tych próbek na zglądach zaobserwowano występowanie ciągłej fazy stałej, w której pojawiały się nieliczne pory. W próbkach należących do grupy II zaczęła zaznaczać się obecność agregatów, a próbki z grupy III posiadały strukturę wyraźnie zagregatowaną, zatem wartości drogi swobodnej przez obszar zajmowany przez przekroje fazy stałej w tych grupach zajmowały pozycje poniżej średniej. Wynikało to z silnego rozkruszenia, zagregatowania i rozbitcia masy glebowej na mniejsze fragmenty. Elementy strukturalne fazy stałej występowały na mniejszych, niż w grupie I i II, powierzchniach zglądów, gdyż znaczną część szlifów zajmowały dobrze wykształcone pory. Stwierdzono statystycznie istotne różnice w wartości omawianej cechy między grupą I i II oraz I i III.

Podobne wyniki uzyskali Ringrose-Voase (1990) oraz Ringrose-Voase i Nys (1990), którzy wykazali, że średnia długość drogi swobodnej przez fazę stałą była odwrotnie proporcjonalna do stopnia rozwoju sieci porów. Wartość jej była większa dla struktury blokowej niż dla masywnej o dużej zawartości drobnych porów. Parametr ten zmniejszał się wraz ze zmniejszaniem się wielkości agregatów i zwiększaniem się ilości porów wewnątrzagregatowych.

Podsumowując można stwierdzić, że na zmiany struktury omawianej gleby najwyraźniej reagowały wartości makroporowatości, długości względnej przekrojów porów oraz długości drogi swobodnej przez fazę stałą. Na rysunku 2 przedstawiono zależność między A_d i λ_s . Łatwo zauważyć, że punkty pomiarowe zgrupowały się w klastery, łączące gleby o pewnych charakterystycznych cechach struktury. Grupa I obejmowała gleby o porach różnego typu oddzielonych od siebie, ciągłej fazie stałej i braku agregatów. Grupa II łączyła gleby, w których pory przecinały fazę stałą, tworząc mniej lub bardziej regularny system, ale brak było agregatów. Z kolei w grupie III znalazły się gleby z porami tworzącymi rozbudowaną sieć, w której znajdowały się agregaty typu okruchów.

Podobne rezultaty uzyskał Holden (2001). Opierał się on na 10 zeskanowanych binarnych obrazach zglądów różnych typów gleb z pracy Ringrose-Voase (1987), zestawionych w kolejności od struktury masywnej (bardzo zagęszczonej, zagęszczonej, z porami – kanalikami, z porami typu *vughs*), przez mikroagregatową, bryłkową, subangularną (średnio i słabo wykształconą) do angularnej (z bryłami o małych i średnich rozmiarach). Holden wykorzystał, m.in., kilka wskaźników otrzymanych na podstawie tzw. obrazu odległości, na którym wartość dowolnego punktu jest tym większa, im dalej jest on położony od brzegu obiektu, np. przekroju agregatu. Przeprowadzone pomiary pozwoliły mu zgrupować omawiane struktury w 3 klasy: 1. gleby o strukturach zagęszczonych, niezawierające wykształconych agregatów i o słabo rozwiniętej sieci porów – spękań; 2. gleby o rozwijającej się strukturze agregatowej i biogennej porach; 3. gleby o wyraźnie wykształconych agregatach i dużej makroporowatości.



Rys. 2. Zależność między makroporowatością, A_A ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$) i drogą swobodną przez przekroje elementów strukturalnych fazy stałej, λ_S (mm); białe romby – wyniki pomiarów dla 9 stanów gleby, czarne romby – wartości średnie dla każdej z 3 grup struktur glebowych

Fig. 2. Macroporosity, A_A ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$), vs. mean intercept length across solid phase cross-sections, λ_S (mm); white diamonds – values for 9 states of soil structure, black diamonds – mean values for each of 3 groups of soil structures

Niniejsza praca i prace wyżej cytowane wykazały, że między wartościami różnorodnych parametrów liczbowych, mających za zadanie opisywać strukturę gleby, a typami struktury gleby istnieją niewątpliwe zależności. Jednak mimo pojawiania się tych związków trudno było wskazać ściśle zakresy wartości zmierzonych parametrów, dla których struktura gleby zmieniała się na przykład z porowatej w agregatową. Metodologia wykorzystana w niniejszej pracy doskonale nadaje się do badań porównawczych i oceny zmian struktury pod wpływem różnorodnych czynników zewnętrznych. Bez morfografii (opisu budowy, struktury gleby), na bazie samej morfometrii, niemożliwe wydaje się jednak dokonanie swoistego „pomiaru” typu struktury gleby czyli klasyfikowanie struktur glebowych wyłącznie w oparciu o parametry liczbowe.

WNIOSKI

1. Zmiany wartości większości zmierzonych parametrów morfometrycznych odzwierciedlały stopniową przemianę struktury ze zwartej w agregatową.
2. Na przeobrażanie się struktury szczególnie wyraźnie i w charakterystyczny sposób reagowały wartości makroporowatości A_A , długości względnej obwodów przekrojów porów L_A oraz średniej średnicy przekrojów elementów strukturalnych.

ralnych fazy stałej λ_s . Dla wymienionych cech wykryto najwięcej różnic potwierdzonych przez analizę statystyczną.

3. Stwierdzono występowanie wyraźnych różnic między wartościami makroporowatości, A_A i długości względnej obwodów przekrojów porów, L_A dla trzech charakterystycznych typów struktury gleby: I. struktury o porach (spękaniach lub wydrążeniach) oddzielonych od siebie, ciągłej fazy stałej i braku agregatów; II. struktury o porach o różnym charakterze, przecinających fazę stałą i tworzących mniej lub bardziej regularny system, bez agregatów; III. struktury o porach tworzących rozbudowaną sieć, w której znajdują się agregaty typu okruchów.

PIŚMIENNICTWO

- Beckmann W., Geyger E., 1967. Entwurf einer Ordnung der natürlichen Hohlraum-, Aggregat-, und Strukturformen in Boden. [w:] „Die mikromorphometrische Bodenanalyse”. Kubiens W.L. (red.), Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 163-188.
- Bronick C.J., Lal R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124, 3-22.
- Brewer R., 1964. „Fabric and mineral analysis of soils”. John Wiley & Sons, Nowy Jork, 470 str.
- Bryk M., 2000. Image analysis as a method of comparison of soil structures. [w:] Proceedings of 6th International Conference „Stereology and Image Analysis in Materials Science”, eds. L. Wojnar, K. Rożniatowski, Kraków, Poland, 89-94.
- Bryk M., 2004. Indices of shape in the classification of soil structure. *Polish Journal of Soil Science*, 37 (1), 1-10.
- Droogers P., Stein A., Bouma J., de Boer G., 1998. Parameters for describing soil macroporosity derived from staining patterns. *Geoderma*, 83, 293-308.
- Holden N. M., 2001. Description and classification of soil structure using distance transform data. *European Journal of Soil Science*, 52, 529-545.
- Jongerius A., Rutherford G.K. [red.], 1979. „Glossary of soil micromorphology”. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 138 str.
- Lamandé M., Hallaire V., Curmi P., Pérès G., Cluzeau D., 2003. Changes of pore morphology, infiltration and earthworm community in a loamy soil under different agricultural managements. *Catena*, 54, 637-649.
- Li D., Velde B., Zhang T., 2004. Observations of pores and aggregates during aggregation in some clay-rich agricultural soils as seen in 2D image analysis. *Geoderma*, 118, 191-207.
- McBratney A.B., Moran C.J., 1990. A rapid method of analysis for soil macropore structure: II. Stereological model, statistical analysis, and interpretation. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 509-515.
- Mermut A.R., Grevers M.C.J., de Jong E., 1992. Evaluation of pores under different management systems by image analysis of clay soils in Saskatchewan, Canada. *Geoderma*, 53, 357-372.
- Pagliai M., Vignozzi N., Pellegrini S., 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research*, 79, 131-143.
- Pierret A., Capowiez Y., Belzunces L., Moran C.J., 2002. 3D reconstruction and quantification of macropores using X-ray computed tomography and image analysis. *Geoderma*, 106, 247-271.
- Ringrose-Voase A.J., 1987. A scheme for the quantitative description of soil macrostructure by image analysis. *Journal of Soil Science*, 38, 343-356.

- Ringrose-Voase A.J., 1990. One-dimensional image analysis of soil structure. I. Principles. *Journal of Soil Science*, 41, 499-512.
- Ringrose-Voase A.J., 1996. Measurement of soil macropore geometry by image analysis of sections through impregnated soils. *Plant and Soil*, 183, 27-47.
- Ringrose-Voase A.J., Bullock P., 1984. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. *Journal of Soil Science*, 35, 673-684.
- Ringrose-Voase A.J., Nys C., 1990. One-dimensional image analysis of soil structure. II. Interpretation of parameters with respect to four forest soil profiles. *Journal of Soil Science*, 41, 513-527.
- Roger-Estrade J, Richard G., Caneill J., Boizard H., Coquet Y., Defosse P., Manichon H., 2004. Morphological characterisation of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. *Soil and Tillage Research*, 79, 33-49.
- Singh P., Kanwar R.S., Thompson M.L., 1991. Macropore characterization for two tillage systems using resin-impregnation technique. *Soil Science Society of America Journal*, 55, 1674-1679.
- Six J., Elliott E.T., Paustian K., 2000. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 1042-1049.
- Wojnar L., Majorek M., 1994. „Komputerowa analiza obrazu”. *Fotobit-Design*, Kraków, 159 str.
- Wojnar L., Kurzydłowski K.J., Szala J., 2002. „Praktyka analizy obrazu”. *Polskie Towarzystwo Stereologiczne*, Kraków, 454 str.

MORPHOMETRIC EVALUATION OF TRANSFORMATION OF SOIL STRUCTURE FROM COHERENT INTO AGGREGATE ONE

Maja Bryk

Institute of Soil Science and Environment Management, University of Life Sciences
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin
e-mail: maja.bryk@up.lublin.pl

Abstract. For the study a cultivated Haplic Luvisol (typical soil lessivé) derived from loess was chosen. Undisturbed samples were taken from the layer of 0-8 cm in the vertical plane into metal boxes measuring 8×9×4 cm. The samples were used to prepare opaque polished blocks. The opaque blocks were arranged in the sequence from the soil of coherent and porous structure to the soil of relatively homogenous aggregate-fragment structure, creating an array illustrating a hypothetical formation of an aggregate structure. On the basis of the processed photographs of opaque block faces the computer-aided image analysis was performed. There were estimated: areas A_i , number N and perimeters L_i of pore cross-sections; macroporosity A_A ; relative length of perimeters of pore cross-sections L_A ; relative number of pore cross-sections N_A ; average area of pore cross-sections A_N . Using the values of A_A and L_A , the mean intercept length across pores and solid – λ_P and λ_S – were calculated. The most distinctive changes of the values of measured parameters, accompanying the changes of soil structure, were detected for A_A , L_A and λ_S . The most visible differences were detected in particular between the values of A_A and L_A for the three types of soil structure: I. structure of discrete pores, continuous solid phase and without aggregates; II. structure with pores of different character/genesis that traverse the soil material building less or more regular pattern, without aggregates; III. structure with pores that build well developed network, so aggregates – fragments – are formed.

Key words: Haplic Luvisol, structure, image analysis, morphometry