

ZMIANY ROZKŁADU WIELKOŚCI MAKROPORÓW I ELEMENTÓW  
FAZY STAŁEJ W RĘDZINIE MIESZANEJ  
POD WPŁYWEM UPRAWY

*Maja Bryk*

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

**Streszczenie.** Dokonano oceny rozkładu wielkości makroporów i elementów fazy stałej w warstwie uprawnej rędziny mieszanej, poddanej działaniu pługa, pługofrezarki i brony aktywnej. Z próbek gleby o nienaruszonej budowie sporządzono utrwalone żywicą zglądy glebowe. Na podstawie zdjęć zglądów wykonano analizę obrazu. Obliczono: makroporowatość, liczebność bezwzględną i względną, średnice ekwiwalentne oraz średnie ważone średnice przekrojów porów i elementów fazy stałej gleby. Przekroje zaszeregowano do 557 klas rozmiarów, od 0 do 70,74 mm co 0,127 mm. Sporządzono całkowite i różniczkowe wykresy rozkładu wielkości przekrojów w funkcji ich średnicy ekwiwalentnej. Liczebność przekrojów porów i elementów fazy stałej była najmniejsza po uprawie płużnej, a największa – po działaniu brony aktywnej. Gleba po uprawie broną aktywną miała najmniejszy średni rozmiar przekroju poru i największy średni rozmiar przekroju agregatu. Odwrotne wyniki uzyskano dla gleby poddanej działaniu pługofrezarki, a wartości pośrednie – dla gleby uprawianej pługiem. Efekty działania trzech narzędzi uprawowych uwidoczniły się na całkowitych i różniczkowych rozkładach wielkości przekrojów porów i elementów fazy stałej gleby. Przebiegi uzyskanych krzywych pozwoliły ocenić stopień połączenia ze sobą porów oraz stopień wykształcenia agregatów glebowych.

**Słowa kluczowe:** struktura, rędzina, pług, brona, pługofrezarka

WSTĘP

Gleba jest układem trójfazowym. Układ elementów fazy stałej gleby determinuje kształt i objętość wolnych przestrzeni – porów glebowych, które mogą być wypełnione wodą i powietrzem. Głównym parametrem charakteryzującym materiał porowaty jest rozmiar poru. Materiały porowate o takiej samej porowatości ogólnej, ale o porach o odmiennych rozmiarach i geometrii w tych samych warunkach za-

chowują się w odmienny sposób (Zdravkov i in. 2007). Rozkład wielkości porów oraz ich kształt i układ systemu porów, to podstawowe cechy gleby, wpływające na właściwości hydrofizyczne gleby, w tym na transport wody oraz rozpuszczonych związków chemicznych i gazów. W glebach rozkład wielkości porów zmienia się znacząco m.in. pod wpływem zabiegów uprawowych lub warunków pogodowych, mogących wywołać zarówno spulchnienie, jak i zagęszczenie gleby (Pagliai 1987, Kutílek i in. 2006, Bhattacharyya i in. 2006, Bryk i in. 2007).

Rozkład wielkości porów może być zmierzony przy użyciu metod pośrednich, np. wykorzystując izotermę desorpcji wody, izotermę adsorpcji azotu, porozymetrię rtęciową i krzywą retencji wody glebowej. Każda z metod jest wykorzystywana do wyznaczenia objętości porów o określonych rozmiarach: 0,05-0,001  $\mu\text{m}$ , 0,1-0,001  $\mu\text{m}$ , 7,5-0,0037  $\mu\text{m}$  i powyżej 0,1  $\mu\text{m}$ , odpowiednio (Hajnos i in. 2006). Doskonałe uzupełnienie tych metod stanowi analiza morfometryczna – analiza obrazu, która umożliwia bezpośrednie określenie wymiarów porów (zwykle makroporów) na podstawie zdjęć nieprzezroczystych zglądów lub cienkich szlifów glebowych (np. Bouma 1977, Pagliai i Vignozzi 2002). Połączenie wymienionych metod daje w rezultacie dokładny pogląd na rozkład wielkości porów w glebie w szerokim zakresie rozmiarów.

Do wydzielenia frakcji elementów fazy stałej gleby (agregatów) stosowane są najczęściej metody przesiewania (np. Chepil 1962, Witkowska-Walczak i Walczak 1983, Domżał i Słowińska-Jurkiewicz 1988, Paluszek i Żembrowski 2008). Wytrząsanie gleby na sicie powoduje jednak z reguły rozpad istniejących, zwłaszcza dużych, agregatów wzdłuż obecnych w masie glebowej płaszczyzn naprężeń i wytworzenie nowych agregatów, których pierwotnie w glebie nie było. W przeciwieństwie do tego analiza obrazu umożliwia scharakteryzowanie rozkładu wielkości elementów fazy stałej gleby o nienaruszonej strukturze.

W świetle powyższych rozważań, do określenia rozkładu wielkości makroporów i elementów fazy stałej gleby w warstwie uprawnej rędziny mieszanej, poddanej działaniu pługa, pługofrezarki i brony aktywnej, wykorzystano w niniejszej pracy analizę obrazu.

## MATERIAŁ I METODY

Badana gleba – rędzina mieszana wytworzona z opoki kredowej, z dużym udziałem materiału polodowcowego – zlokalizowana jest w miejscowości Bezek (51°12' N, 23°16' E, Pagóry Chełmskie). W pracy przedstawiono stan struktury gleby po uprawie: pługiem – próbka P, pługofrezarką – próbka PF, broną aktywną wahadłową – próbka BA. Zasięg elementów roboczych omawianych narzędzi uprawowych był zróżnicowany i wynosił od 10 cm dla brony aktywnej do 25 cm

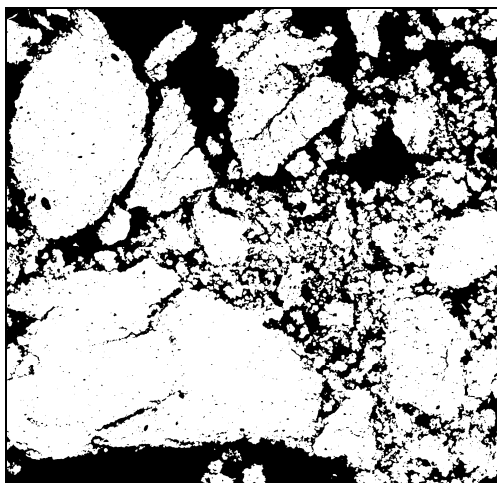
dla pług. Wilgotność gleby w momencie uprawy wynosiła około  $0,2 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$  (Słowińska-Jurkiewicz i Domżał 1984, Domżał i in. 1987). Próbki o nienaruszonej budowie pobrano w płaszczyźnie pionowej z górnej części (0-8 cm) warstwy uprawnej do prostopadłościennych metalowych pudełek o rozmiarach  $8\times 9\times 4 \text{ cm}$ . Po wysuszeniu w temperaturze pokojowej próbki zostały zaimpregnowane roztworem żywicy poliestrowej, a po utwardzeniu pocięte na plastry o grubości 1 cm. Ich powierzchnie wyszlifowano i wypolerowano, otrzymując zgłady, które następnie zeskanowano w rozdzielczości  $600\times 600 \text{ dpi}$  (1 piksel =  $42,3 \mu\text{m}$ ).

Otrzymane obrazy w 256 odcieniach szarości poddano komputerowej analizie obrazu przy użyciu programu Aphelion (ADCIS SA, AAI Inc.). Monochromatyczne zdjęcia zgładów przekształcono w obrazy binarne. W tym celu wykonano progowanie, co pozwoliło wyróżnić na obrazie fazę stałą gleby i wypełnione żywicą pory. Wartość progu dla każdej próbki została dobrana na podstawie histogramu jasności. Zastosowana rozdzielczość skanowania i użyte operatory morfologiczne zdeterminowały minimalny rozmiar obiektu (przekroju poru lub elementu fazy stałej gleby); wyniósł on  $43 \mu\text{m}$ . Wykorzystując informację z całych obrazów binarnych wyznaczono pola obiektów ( $A_i$ ,  $\text{mm}^2$ ). Liczebność ( $N$ ) obiektów określono natomiast dla przekrojów o środkach ciężkości zawartych w ramce ochronnej, która ograniczała centralnie usytuowany, prostokątny obszar, pokrywający 80% powierzchni obrazu binarnego. Na podstawie uzyskanych danych dla wszystkich próbek glebowych obliczono następujące parametry:  $A_A$  – powierzchnia względna przekrojów porów (makroporowatość,  $\text{mm}^2\cdot\text{mm}^{-2}$ );  $N_P$  i  $N_S$  – liczebność przekrojów porów i elementów fazy stałej gleby (liczebność bezwzględna);  $N_{A-P}$  i  $N_{A-S}$  – liczebność przekrojów porów i elementów fazy stałej gleby w odniesieniu do pola przekroju próbki (liczebność względna,  $\text{cm}^{-2}$ ). Średnice ekwiwalentne przekrojów porów ( $d_P$ , mm) i elementów fazy stałej gleby ( $d_S$ , mm) obliczono ze wzoru na pole koła na podstawie ich pól przekroju:  $d_i = 2\sqrt{A_i/\pi}$ . Przekroje zaszeregowano do 557 klas rozmiarów, odnoszących się do średnic ekwiwalentnych w zakresie od 0 do  $70,74 \text{ mm}$  co  $0,127 \text{ mm}$  (co odpowiada 3 pikselom na obrazie). Obliczono także średnią ważoną średnicę przekrojów porów  $MWD_P$  (mm) i średnią ważoną średnicę przekrojów elementów fazy stałej gleby  $MWD_S$  (mm) ze wzoru:  $MWD = \sum x_k d_k$ , gdzie  $x_k$  – udział powierzchni przekrojów porów (przekrojów elementów fazy stałej) w każdej klasie rozmiarów w sumarycznej powierzchni przekrojów porów (fazy stałej), a  $d_k$  – średnia średnica przekrojów w każdej klasie rozmiarów. Sporządzono całkowite i różniczkowe wykresy rozkładu wielkości przekrojów porów i przekrojów elementów fazy stałej gleby w funkcji ich średnicy ekwiwalentnej.

## WYNIKI I DYSKUSJA

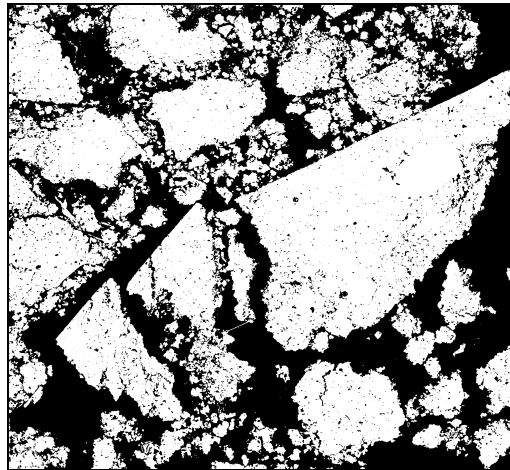
W następstwie działania pługa (rys. 1) nastąpiło rozkruszenie masy glebowej, prowadzące do wytworzenia agregatów o zróżnicowanych wielkościach. Silnie rozdrobione partie warstwy ornej uzyskały dzięki temu strukturę agregatową – okrucową. W wyniku pracy pługofrezarki (rys. 2) powstała struktura okrucowa znacznie bardziej homogeniczna, ponieważ większe fragmenty gleby zostały pocięte przez element obrotowy narzędzia. Gleba po użyciu brony aktywnej wahałkowej (rys. 3) wykazywała strukturę szczelinową, o większym zagęszczeniu niż w pozostałych dwóch przypadkach (Słowińska-Jurkiewicz i Domżał 1984, 1988). Narzędzia aktywne, ze względu na energiczne działanie elementów obrotowych, powodują bowiem silne kruszenie gleby, przez co wpływają na znaczne zmniejszenie stopnia zbrylenia w porównaniu z uprawą płużną (Domżał i in. 1981).

Objętość porów o średnicach powyżej  $8,5 \mu\text{m}$  w omawianej glebie, uzyskana na podstawie krzywej retencji wody glebowej, wynosiła 0,255; 0,251 i 0,260  $\text{mm}^3 \cdot \text{mm}^{-3}$  dla gleby uprawianej pługiem, pługofrezarką i broną aktywną, odpowiednio (Domżał i in. 1987). Natomiast makroporowatość ( $> 43 \mu\text{m}$ ) badanych próbek, wyznaczona w niniejszej pracy za pomocą analizy obrazu, była nieco większa i mieściła się w przedziale 0,270-0,418  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$  (tab. 1), przy czym była najniższa w glebie poddanej działaniu brony aktywnej, a najwyższa – po uprawie pługofrezarką. Podobną tendencję dla omawianej rędziny zaobserwowali Domżał i in. (1981) w odniesieniu do objętości porów o średnicach  $> 300 \mu\text{m}$ .



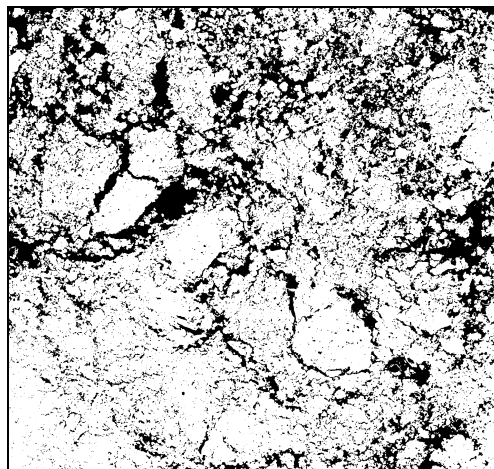
**Rys. 1.** Gleba po uprawie pługiem (P): obraz zglądu w skali 1:1,25; barwą czarną zaznaczono pory, białą – fazę stałą gleby

**Fig. 1.** The soil after ploughing (P): image of an opaque soil plate in the 1:1.25 scale, black colour – pores, white – soil solid phase



**Rys. 2.** Gleba po uprawie pługofrezarką (PF): obraz zglądu w skali 1:1,25; barwą czarną zaznaczono pory, białą – fazę stałą gleby

**Fig. 2.** The soil after plough-milling (PF): image of an opaque soil plate in the 1:1.25 scale, black colour – pores, white – soil solid phase



**Rys. 3.** Gleba po uprawie broną aktywną (BA): obraz zglądu w skali 1:1,25; barwą czarną zaznaczono pory, białą – fazę stałą gleby

**Fig. 3.** The soil after harrowing (BA): image of an opaque soil plate in the 1:1.25 scale, black colour – pores, white – soil solid phase

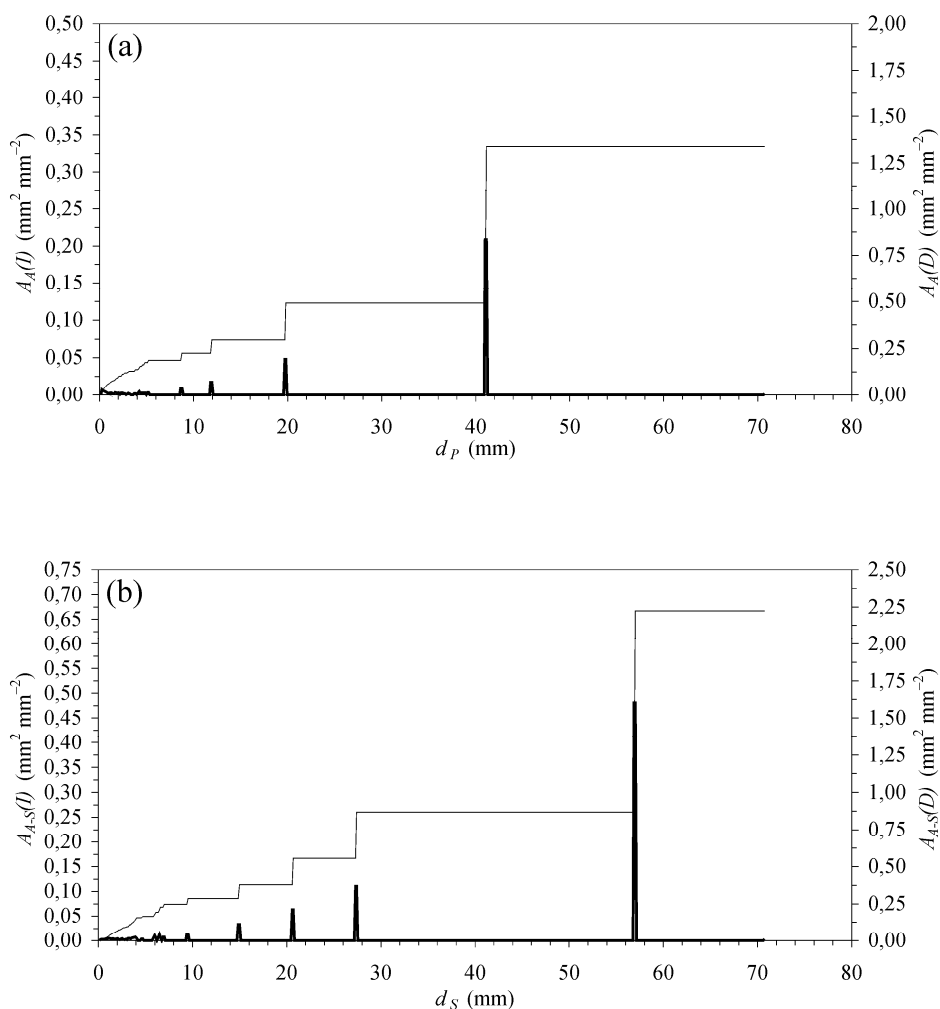
**Tabela 1.** Wartości parametrów morfometrycznych przekrojów porów i przekrojów elementów fazy stałej dla gleby poddanej działaniu pługa (P), pługofrezarki (PF) i brony aktywnej (BA)

**Table 1.** Values of morphometric parameters of pore and solid phase element cross-sections for the soil treated with a plough (P), a plough-miller (PF) and an oscillating power harrow (BA)

Próbka – Sample	P	PF	BA
$A_A$ ( $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ )	0,334	0,418	0,270
$N_P$	1825	4834	8497
$N_{A-P}$ ( $\text{cm}^{-2}$ )	37	94	171
$MWD_P$ (mm)	30,1	51,7	8,4
$N_S$	414	1372	1637
$N_{A-S}$ ( $\text{cm}^{-2}$ )	8	27	32
$MWD_S$ (mm)	41,4	21,6	62,6

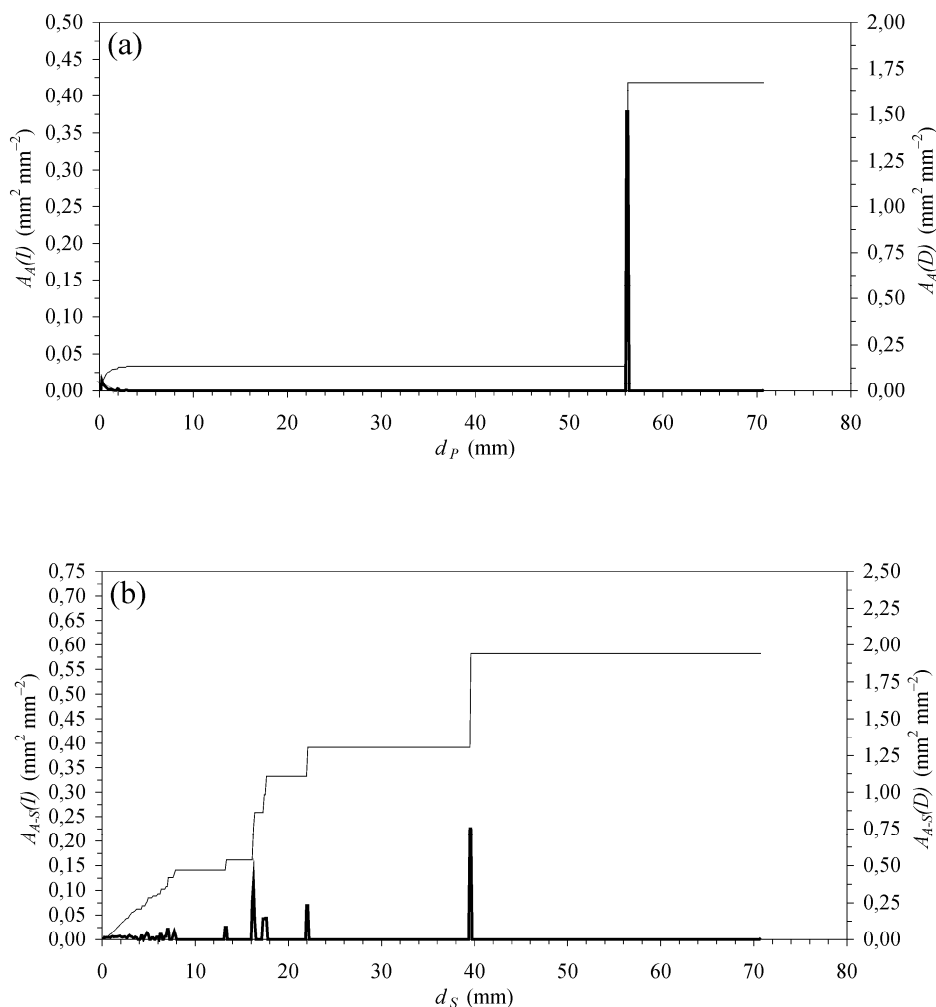
Liczebność bezwzględna ( $N_P$ ,  $N_S$ ) i względna ( $N_{A-P}$ ,  $N_{A-S}$ ), zarówno przekrojów porów, jak i przekrojów elementów fazy stałej gleby, zmieniała się znacząco w zależności od zastosowanego narzędzia uprawowego. Działanie pługofrezarki i brony aktywnej doprowadziło do wytworzenia znacznie większej liczby porów i elementów fazy stałej niż działanie pługa. Stwierdzono przy tym, że pory powstające po uprawie pługiem i pługofrezarką miały dość duże rozmiary i były ze sobą w dużym stopniu połączone (rys. 1 i 2). Średnia ważona średnica przekrojów porów wyniosła zatem 30,1 i 51,7 mm, odpowiednio. Ze względu na odmienną w stosunku do tych dwu narzędzi specyfikę pracy, po uprawie broną aktywną gleba cechowała się o wiele mniejszym średnim rozmiarem przekroju poru – 8,4 mm. Odwrotnie natomiast kształtowały się wymiary elementów fazy stałej. Gleba po uprawie broną aktywną charakteryzowała się widocznym na obrazach relatywnie dużym zagęszczeniem (rys. 3), co znalazło potwierdzenie w najwyższej wartości średniego rozmiaru przekroju elementów fazy stałej – 62,6 mm. Działanie pługofrezarki i pługa wywołało wytworzenie dużych, w większym lub mniejszym stopniu oddzielonych od siebie, agregatów. Wyrazem tego było obniżenie się wartości  $MWD_S$  do odpowiednio 21,6 i 41,4 mm.

Na krzywych dyferencjalnych (rys. 4-6), zarówno dla wolnych przestrzeni, jak i dla fazy stałej gleby, w zakresie średnic ekwiwalentnych 0-3 mm, zaobserwowano liczne i łączące się ze sobą piki. W każdej próbce w tej grupie rozmiarów występowało bowiem bardzo dużo porów i elementów fazy stałej gleby o stopniowo wzrastających rozmiarach, a każdy przedział wartości był reprezentowany. Z tego powodu odpowiadające krzywom dyferencjalnym rozkłady całkowite (rys. 4-6) miały jednostajnie rosnący charakter. Wraz ze wzrostem średnicy ekwiwalentnej przekrojów porów i agregatów, piki na krzywej dyferencjalnej



**Rys. 4.** Gleba po uprawie pługiem (P): (a) całkowita ( $A_A(I)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , cienka linia) i dyferencjalna ( $A_A(D)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , gruba linia) makroporowość w funkcji średnicy ekwiwalentnej przekroju poru ( $d_p$ , mm); (b) całkowita ( $A_{A-S}(I)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , cienka linia) i dyferencjalna ( $A_{A-S}(D)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , gruba linia) powierzchnia względna przekroju fazy stałej gleby w funkcji średnicy ekwiwalentnej przekroju elementu fazy stałej ( $d_s$ , mm)

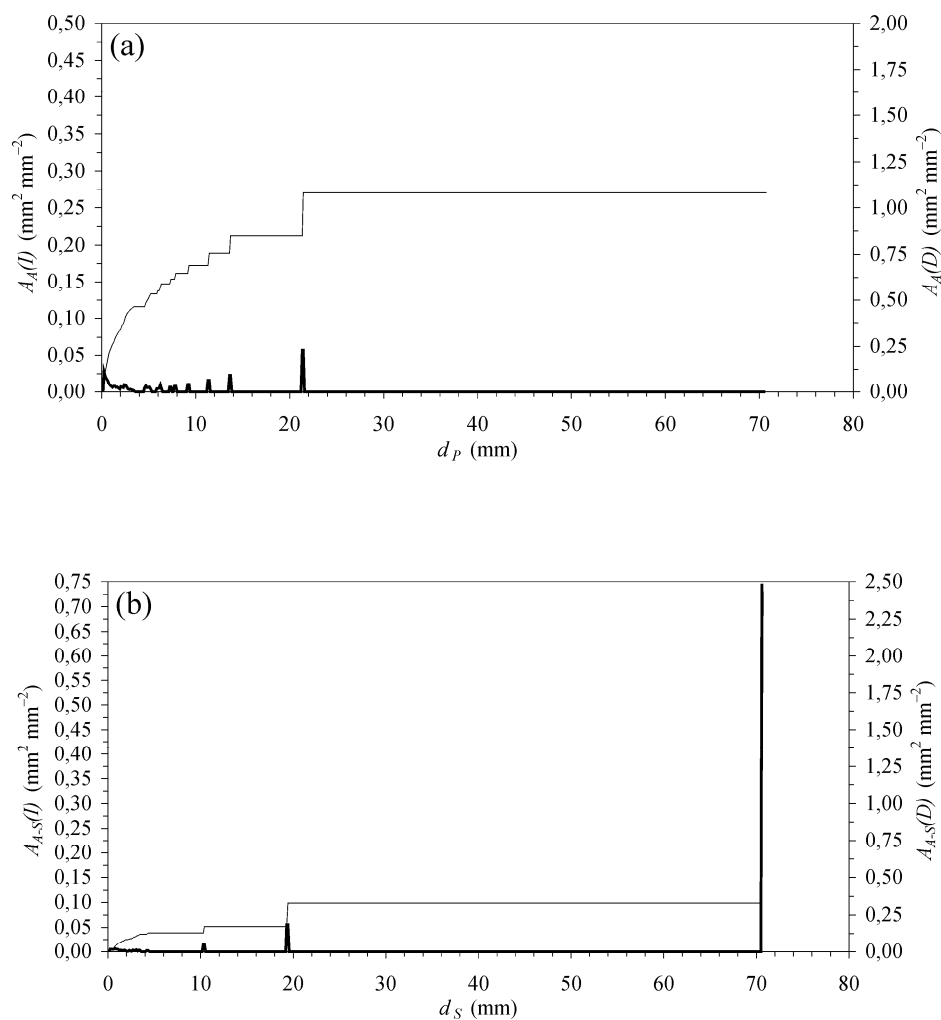
**Fig. 4.** The soil after ploughing (P): (a) integral ( $A_A(I)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , thin line) and differential ( $A_A(D)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , thick line) macroporosity vs. equivalent diameter of pore cross-section ( $d_p$ , mm); (b) integral ( $A_{A-S}(I)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , thin line) and differential ( $A_{A-S}(D)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , thick line) relative soil solid phase cross-section vs. equivalent diameter of solid phase element cross-section ( $d_s$ , mm)



**Rys. 5.** Gleba po uprawie pługofrezarką (PF): (a) całkowita ( $A_A(I)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , cienka linia) i dyferencjalna ( $A_A(D)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , gruba linia) makroporowatość w funkcji średnicy ekwiwalentnej przekroju poru ( $d_p$ , mm); (b) całkowita ( $A_{A,S}(I)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , cienka linia) i dyferencjalna ( $A_{A,S}(D)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , gruba linia) powierzchnia względna przekroju fazy stałej gleby w funkcji średnicy ekwiwalentnej przekroju elementu fazy stałej ( $d_s$ , mm)

**Fig. 5.** The soil after plough-milling (PF): (a) integral ( $A_A(I)$ ,  $\text{mm}^2 \text{mm}^{-2}$ , thin line) and differential ( $A_A(D)$ ,  $\text{mm}^2 \text{mm}^{-2}$ , thick line) macroporosity vs. equivalent diameter of pore cross-section ( $d_p$ , mm); (b) integral ( $A_{A,S}(I)$ ,  $\text{mm}^2 \text{mm}^{-2}$ , thin line) and differential ( $A_{A,S}(D)$ ,  $\text{mm}^2 \text{mm}^{-2}$ , thick line) relative soil solid phase cross-section vs. equivalent diameter of solid phase element cross-section ( $d_s$ , mm)





**Rys. 6.** Gleba po uprawie broną aktywną (BA): (a) całkowita ( $A_A(I)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , cienka linia) i dyferencjalna ( $A_A(D)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , gruba linia) makroporowatość w funkcji średnicy ekwiwalentnej przekroju poru ( $d_p$ , mm); (b) całkowita ( $A_{A-S}(I)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , cienka linia) i dyferencjalna ( $A_{A-S}(D)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , gruba linia) powierzchnia względna przekroju fazy stałej gleby w funkcji średnicy ekwiwalentnej przekroju elementu fazy stałej ( $d_s$ , mm)

**Fig. 6.** The soil after harrowing (BA): (a) integral ( $A_A(I)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , thin line) and differential ( $A_A(D)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , thick line) macroporosity vs. equivalent diameter of pore cross-section ( $d_p$ , mm); (b) integral ( $A_{A-S}(I)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , thin line) and differential ( $A_{A-S}(D)$ ,  $\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-2}$ , thick line) relative soil solid phase cross-section vs. equivalent diameter of solid phase element cross-section ( $d_s$ , mm)

ulegały stopniowemu rozsunięciu i wyodrębniały się coraz wyraźniej. W przedziale wartości powyżej około 4 mm występowały liczne oddzielone od siebie piki, odpowiadające widocznym na zglądach kilku-kilkudziesięciu dużym obiektom. Jednocześnie krzywe całkowite nabrały schodkowego charakteru. Wspomnianym pikom na krzywej różniczkowej odpowiadały bowiem fragmenty krzywej całkowitej równoległe do osi odciętych, reprezentujące zerowy przyrost wartości makroporowatości lub udziału fazy stałej.

Analogiczne rozkłady wielkości porów i agregatów wykorzystali Li i in. (2004) do oceny procesu agregacji w glebach o znacznym udziale ( $0,12-0,20 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) frakcji ilastej ( $< 2 \mu\text{m}$ ), m.in. w rędzinie. Otrzymany przez cytowanych autorów rozkład wielkości porów dla gleby o strukturze zbliżonej do struktury próbki po bronowaniu odpowiadał jakościowo rozkładowi przedstawionemu w niniejszej pracy. Większe rozbieżności zanotowano natomiast w przypadku różniczkowego rozkładu rozmiarów agregatów. Wiązało się to najprawdopodobniej z odmienną metodyką określania rozmiarów agregatów.

Dla omawianej w niniejszej pracy rędziny przebieg krzywych dyferencjalnych i całkowitych dla obu faz wyraźnie odzwierciedlał widoczne na obrazach cechy struktury, powstałej pod wpływem różnych narzędzi uprawowych. W glebie uprawianej pługiem (rys. 1 i 4) powstały agregaty – częściowo oddzielone od siebie, a częściowo stykające i łączące się. Podobny był charakter wolnych przestrzeni. Na przekrojach widoczne były obiekty zarówno o małych, jak i większych rozmiarach. Stopniowo wzrastające krzywe całkowite dla obu faz kończyły się zatem wyraźnym schodkiem, odpowiadającym za obiekt o znacznych rozmiarach, czyli tę część fazy stałej gleby (lub wolnej przestrzeni), która powstała przez połączenie agregatów (lub porów).

W glebie uprawianej pługofrezarką (rys. 2 i 5) wolna przestrzeń miała zdecydowanie ciągły charakter. Drobne, dyskretne (oddzielone od siebie) pory występowały głównie wewnątrz agregatów. Krzywa całkowita rozkładów wielkości przekrojów porów dla tej gleby przyjęła zatem kształt odwróconej litery L. Odmienny charakter miała natomiast faza stała. W glebie po działaniu pługofrezarki stwierdzono obecność licznych agregatów o zróżnicowanych rozmiarach. Wyrazem tego był stopniowo rosnący przebieg krzywej całkowitej.

Odwrotną sytuację stwierdzono w glebie uprawianej broną aktywną (rys. 3 i 6). Faza stała miała zwarty charakter, a nieliczne agregaty występowały w obrębie większych porów. Przekroje porów miały średnice ekwiwalentne nieprzekraczające 21 mm i były bardzo liczne. Dzięki temu uzyskana dla wolnych przestrzeni krzywa całkowita miała łagodnie wzrastający przebieg.

## WNIOSKI

1. Analiza obrazu umożliwiła uzyskanie rozkładów wielkości makroporów i elementów fazy stałej gleby o znacznej rozdzielczości (557 klas rozmiarów co 0,127 mm). Dzięki temu szczegółowo opisano zmiany struktury rędziny uprawianej pługiem, pługofrezarką i broną aktywną.
2. Liczebność przekrojów porów i elementów fazy stałej była najmniejsza po uprawie pługowej, a największa – po działaniu brony aktywnej.
3. Gleba po uprawie broną aktywną charakteryzowała się najmniejszym średnim rozmiarem przekroju poru i największym średnim rozmiarem przekroju agregatu. Odwrotną sytuację zaobserwowano dla gleby poddanej działaniu pługofrezarki, a pośrednie wartości zanotowano dla gleby uprawianej pługiem.
4. Efekty działania trzech narzędzi uprawowych uwidoczniły się na całkowitych i różniczkowych rozkładach wielkości przekrojów porów i elementów fazy stałej gleby. Przebiegi uzyskanych krzywych pozwoliły ocenić stopień połączenia ze sobą porów oraz stopień wykształcenia agregatów glebowych.

## PIŚMIENNICTWO

- Bhattacharyya R., Prakash V., Kundu S., Gupta H.S., 2006. Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. *Soil & Tillage Research*, 86, 129-140.
- Bouma J., 1977. Soil survey and the study of water in unsaturated soil. *Soil Survey Papers*, 13, 107.
- Bryk M., Kołodziej B., Serzysko T., 2007. Wpływ procesów mrozowych na właściwości powietrzne ugniatanej rędziny. *Acta Agrophysica*, 9(3), 571-582.
- Chepil W.S., 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 26, 4-6.
- Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A., 1988. Wpływ składu granulometrycznego i próchnicy na ilość agregatów glebowych i ich odporność na działanie wody. *Roczniki Gleboznawcze*, 39(3), 5-19.
- Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A., Palikot M., 1981. Wpływ stanu gleby w momencie uprawy na agrofizyczny efekt działania pługa i narzędzi aktywnych. *Roczniki Gleboznawcze*, 32(1), 129-144.
- Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A., Palikot M., 1987. Changes in the structure and physical properties of soil as a result of the application of various methods of soil cultivation. *Polish Journal of Soil Science*, 20(1), 9-16.
- Hajnos M., Lipiec J., Świeboda R., Sokołowska Z., and Witkowska-Walczak B., 2006. Complete characterization of pore size distribution of tilled and orchard soil using water retention curve, mercury porosimetry, nitrogen adsorption, and water desorption methods. *Geoderma*, 135, 307-314.
- Kutśłek M., Jendele L., Panayiotopoulos K.P., 2006. The influence of uniaxial compression upon pore size distribution in bi-modal soils. *Soil & Tillage Research*, 86, 27-37.
- 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.
- Pagliai, M., 1987. Micromorphometric and micromorphological investigations on the effect of compaction by pressures and deformations resulting from tillage and wheel traffic. In: Monnier, G., Goss, M.J. (Eds.), *Soil compaction and regeneration*. AA Balkema, Rotterdam, 31-38.

- Pagliai M., Vignozzi N., 2002. Image analysis and microscopic techniques to characterize soil pore system. In: *Physical Methods in Agriculture* (Eds. J. Blahovec, M. Kutflek). Kluwer Academic Publishers, London, 13-38.
- Paluszek J., Żembrowski W., 2008. Ulepszanie gleb ulegających erozji w krajobrazie lessowym. *Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie*, 4.
- Słowińska-Jurkiewicz A., Domżał H., 1984. Wpływ działania narzędzi uprawowych na budowę warstwy ornej gleby. *Roczniki Gleboznawcze*, 35(2), 165-175.
- Słowińska-Jurkiewicz A., Domżał H., 1988. Morfologiczna analiza wielkości i trwałości zmian budowy warstwy ornej gleby wywołanych działaniem pługa i glebogryzarki. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 356, 113-116.
- Witkowska-Walczak B., Walczak R., 1983. The effect of the aggregate size of chernozem formed from loess on air permeability. *Polish Journal of Soil Science*, 16, 3-10.
- Zdravkov B., Čermák J., Šefara M., Janků J., 2007. Pore classification in the characterization of porous materials: A perspective. *Central European Journal of Chemistry*, 5(2), 385-395.

## CHANGES OF SIZE DISTRIBUTION OF MACROPORES AND SOLID PHASE ELEMENTS IN RENDZIC LEPTOSOL CAUSED BY TILLAGE

*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.** Size distributions of macropores and solid phase elements in the arable layer of Rendzic Leptosol after ploughing, plough-milling and harrowing were evaluated. Samples of undisturbed structure were taken from the soil and afterwards dried and impregnated with resin. Photographs of obtained polished opaque blocks were subjected to computer-aided image analysis. Then macroporosity, absolute and relative number, equivalent diameters and mean weighted diameters of pore and solid phase element cross-sections were calculated. The cross-sections were categorised into 557 size classes, according to their equivalent diameters in the range from 0 to 70.74 mm at every 0.127 mm. The graphs of integral and differential size distributions of pore and solid phase element cross-sections vs. their equivalent diameter were drawn. The number of cross-sections of pores and solid phase elements was the lowest after ploughing, and the highest – after harrowing. The soil after harrowing was characterised with the smallest mean weighted diameter of pore cross-sections and the largest mean weighted diameter of aggregate cross-sections. The opposite results were obtained for the soil after plough-milling, and intermediate ones – for the ploughed soil. The effects of the three cultivation tools were clearly visible in the integral and differential size distributions of cross-sections of pores and solid phase elements. Shapes of the obtained curves enabled to evaluate the degree of pore interconnection and the degree of aggregate development.

**Key words:** structure, Rendzic Leptosol, plough, harrow, plough-miller