



glebę elementów roboczych narzędzi uprawowych powstają wprawdzie agregaty – okruchy, są one jednak bardzo podatne na rozmywanie przez wodę i szybko ulegają destrukcji. Im częściej gleba jest rozdrabniana, tym łatwiej się zagęszcza. Zagęszczona masa glebowa wymaga ponownego spulchnienia, które, niestety tylko chwilowo, poprawia stan fizyczny gleby. Te niekorzystne zjawiska były impulsem do modyfikacji systemów uprawowych i wprowadzania ograniczeń w liczbie zabiegów spulchniających lub nawet ich całkowitej redukcji.

Niewątpliwie celem uprawy gleby powinno być uzyskanie takiego stanu fizycznego, który gwarantuje równowagę między zaopatrzeniem korzeni roślin w wodę i powietrze. W glebach intensywnie użytkowanych rolniczo największym problemem jest ukształtowanie prawidłowej makroporowatości, która decyduje o infiltracji wody, jej odpływie w głąb pedonu oraz wymianie gazowej między glebą a atmosferą. W glebach o trwałej strukturze agregatowej makroporowatość utworzona jest głównie przez pory międzyagregatowe, które, łącząc się ze sobą, tworzą ciągłą wolną przestrzeń. Bardzo ważną rolę odgrywiają pory biogenne, utworzone przez korzenie roślin i faunę glebową. Makroporowatość gleb o strukturze nieagregatowej jest utworzona przede wszystkim przez spękania, powstające na skutek kurczenia się masy glebowej podczas wysychania.

Stan fizyczny gleby, zdeterminowany przez typ struktury, określa warunki życia zarówno korzeni roślin, jak i pozostałych organizmów bytujących w glebie. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie parametrów charakteryzujących makropory o wymiarach powyżej 42  $\mu\text{m}$  w powierzchniowej (0–8 cm) warstwie gleby płowej, poddanej wpływom różnorodnych zabiegów agrotechnicznych i zmieniających się warunków pogodowych.

#### METODY

Badania przeprowadzono na polu uprawnym w Gospodarstwie Doświadczalnym Akademii Rolniczej w dzielnicy Felin w Lublinie. Obiekt usytuowany jest na glebie płowej typowej, wytworzonej z utworu pyłowego, niecałkowitej, nawapieniowej. Próbkę pobierano w 1990 roku, w czasie sezonu wegetacyjnego, z pola, na którym uprawiano cebulę zwyczajną (*Allium cepa* L.). Po każdym zabiegu agrotechnicznym oraz po opadach deszczu z warstwy 0–8 cm pobierano w płaszczyźnie pionowej do badań morfologicznych i morfometrycznych po cztery próbki o nienaruszonej strukturze, do metalowych pojemników o wymiarach 8 cm  $\times$  9 cm  $\times$  4 cm. Zestawienie charakteryzowanych stanów gleby przedstawiono w tab. 1. Próbkę wysuszone w temperaturze pokojowej i nasycono roztworem żywicy poliestrowej, zgodnie z metodyką opisaną wcześniej [Domżał, Słowińska-Jurkiewicz 1987]. Po utwardzeniu bloki przecięto na plastry

Tabela 1. Daty i warunki pobierania próbek glebowych  
Table 1. Dates and conditions of soil sampling

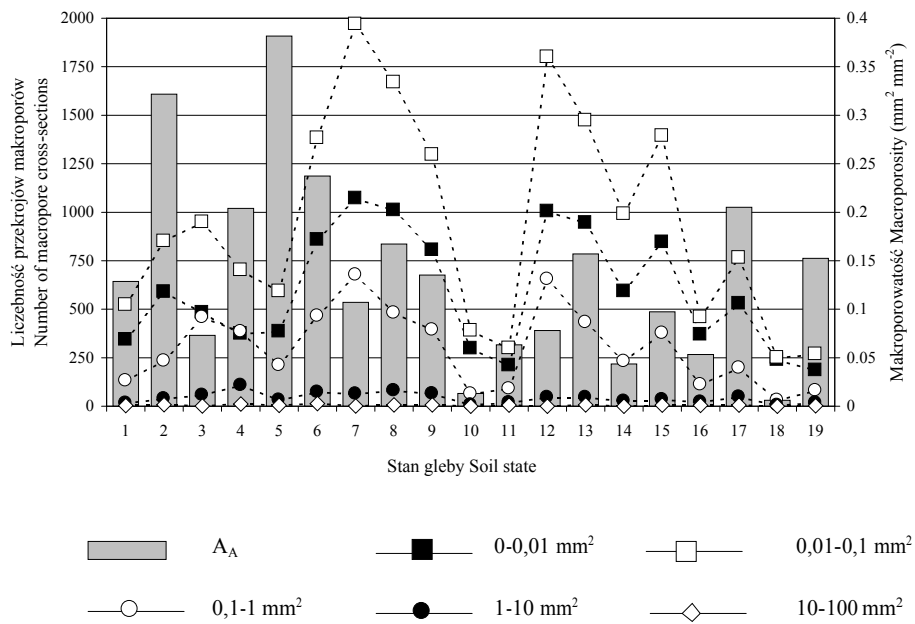
Stan State	Data Date	Zabiegi agrotechniczne, warunki zewnętrzne Cultivation operations, external conditions
1	2 IV	Przed uprawą Before cultivation
2	4 IV	Po bronowaniu broną średnią do głębokości 5 cm After harrowing to 5 cm
3	10 IV	Po kilkudniowych opadach deszczu (22,2 mm) After several days'-rainfall (22.2 mm)
4	10 IV	Po uprawie broną aktywną do głębokości 15 cm After cultivation with a power harrow to 15 cm
5	11 IV	Po ponownej uprawie broną aktywną do głębokości 15 cm w kierunku prostopadłym do poprzedniego After repeated cultivation with a power harrow to 15 cm in the direction perpendicular to the previous one
6	12 IV	Po siewie cebuli i wałowaniu After onion sowing and rolling
7	24 IV	Po oprysku (16.04) i kilkudniowych opadach deszczu (11,4 mm) After spray and several days'-rainfall (11.4 mm)
8	16 V	Przed bronowaniem broną lekką Before harrowing with a light harrow
9	16 V5	Po bronowaniu broną lekką After harrowing with a light harrow
10	11 VI	Po przejeździe ciągnika URSUS C-330 podczas wysiewu nawozu (śląd koła) After tractor Ursus C330 pass during fertilisation (trace of a wheel)
11	18 VII	Po spulchnieniu śladu koła opielnikiem sześciorzędowym do głębokości 5 cm After loosening the trace of a wheel with 6-row weeder to 5 cm
12	4 VII	Bezpośrednio po silnym deszczu (13,0 mm) Immediately after intense rainfall (13.0 mm)
13	4 VII	Po ręcznym gracowaniu After hoeing
14	12 VII	Po sześciudniowych opadach deszczu (28,1 mm) After 6 days of rainfall (28.1 mm)
15	12 VII	Po ręcznym gracowaniu After hoeing
16	20 VII	Przed spulchnieniem pielnikiem konnym Before cultivation with weeder
17	20 VII	Po spulchnieniu pielnikiem konnym After cultivation with weeder
18	16 X	Miesiąc po ugnieceniu ciągnikiem w trakcie zwożenia cebuli A month after tractor pressure and onion removal
19	15 XI	Po podorywce After first ploughing

o grubości 1 cm, wyszlifowano ich powierzchnie za pomocą proszków korundowych o różnej granulacji i papieru ściernego, i ostatecznie wypolerowano. Następnie powierzchnie zgładów zeskanowano w rozdzielczości 600×600 punktów na cal (1 punkt odpowiada 42,333 μm) przy użyciu skanera połączonego z komputerem. Otrzymano zdjęcia powierzchni zgładów w formie cyfrowej w 256 odcieniach szarości, obejmujące obszary próbek o rozmiarach 75,0 mm × 65,0 mm. Obrazy monochromatyczne poddano analizie, wykorzystując program Aphelion (AAI Inc., ADCIS S.A.). Wstępnym etapem obróbki było zastosowanie filtra medianowego w celu usunięcia szumów i artefaktów oraz wygładzenia krawędzi obiektów. Następnie dokonano binaryzacji za pomo-

Tabela 2. Makropory (> 42 μm) – podstawowe parametry  
 Table 2. Macropores (> 42 μm) – basic parameters

Stan State	$A_A$ mm <sup>2</sup> mm <sup>-2</sup>	$N$	$\lambda_p$ mm	Stan State	$A_A$ mm <sup>2</sup> mm <sup>-2</sup>	$N$	$\lambda_p$ mm
1	0,129	1012	0,616	11	0,063	619	0,576
2	0,322	1716	0,600	12	0,078	3498	0,237
3	0,073	1943	0,318	13	0,157	2898	0,431
4	0,204	1574	0,533	14	0,044	1835	0,288
5	0,382	1222	0,736	15	0,097	2651	0,409
6	0,237	2789	0,420	16	0,053	960	0,497
7	0,107	3777	0,285	17	0,205	1541	0,662
8	0,167	3243	0,356	18	0,006	519	0,217
9	0,135	2559	0,380	19	0,153	550	0,998
10	0,013	752	0,288				

$A_A$  względna powierzchnia przekrojów makroporów relative area of macropore cross-sections  
 $N$  liczebność przekrojów makroporów number of macropore cross-sections  
 $\lambda_p$  średni rozmiar przekrojów makroporów mean intercept length of macropore cross-sections



Rycina 1. Makroporowatość  $A_A$  (mm<sup>2</sup> mm<sup>-2</sup>) i liczebność przekrojów makroporów o różnych rozmiarach dla kolejnych stanów gleby  
 Figure 1. Macroporosity  $A_A$  (mm<sup>2</sup> mm<sup>-2</sup>) and number of macropore cross-sections of different sizes for successive soil states

całą progowania. Wartości progu były dobierane manualnie na podstawie histogramów jasności dla każdej próbki. W ten sposób na obrazach dokonano wydzielenia powierzchni przekrojów porów. Ze względu na rozdzielczość skanowania i zastosowane we wstępnej obróbce filtry najmniejszy zidentyfikowany przekrój poru miał wymiary  $42,333 \mu\text{m} \times 42,333 \mu\text{m}$ . W dalszej części pracy wymiar najmniejszego poru podawany jest w zaokrągleniu do  $42 \mu\text{m}$ . Wykorzystując informację z całych obrazów binarnych, wyznaczono pola ( $A_i$ ,  $\text{mm}^2$ ) przekrojów porów. Liczebność ( $N$ ) i obwody ( $L_i$ ,  $\text{mm}$ ) określono natomiast dla przekrojów porów o środkach ciężkości zawartych w ramce ochronnej [Wojnar i in. 2002]. Ograniczała ona centralnie usytuowany, prostokątny obszar, pokrywający 80 % powierzchni obrazu binarnego, o długościach boków  $67,1 \text{ mm} \times 58,1 \text{ mm}$ .

Znając pole przekroju próbki ( $A$  = szerokość obrazu  $\times$  wysokość obrazu;  $\text{mm}^2$ ), obliczono powierzchnię względną przekrojów porów (makroporowatość)  $A_A$  – pole przekroju porów na jednostkę pola przekroju próbki:  $A_A = (1/A) \sum_{i=1}^N A_i$  ( $\text{mm}^2 \text{ mm}^{-2}$ ). Obliczono długość względną obwodów przekrojów porów  $L_A$  czyli długość względną linii granicznej między porami a fazą stałą:  $L_A = (1/A) \sum_{i=1}^N L_i$  ( $\text{mm mm}^{-2}$ ), gdzie  $L_i$  jest obwodem przekroju poru, obliczonym zgodnie z wzorem Croftona [Wojnar, Majorek 1994]. Na podstawie wartości  $A_A$  i  $L_A$ , dla każdego zglądu wyznaczono parametr  $\lambda_p$ , określający drogę swobodną przez obszar zajmowany przez przekroje porów, który jest dobrym przybliżeniem średniego rozmiaru przekrojów porów [Ringrose-Voase 1990, Bryk 2000]:  $\lambda_p = \pi (A_A / L_A)$  ( $\text{mm}$ ). Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 2 i na rycinie 1.

#### WYNIKI

W pierwszym terminie badań makroporowatość (czyli powierzchnia względna przekrojów porów o wymiarach powyżej  $42 \mu\text{m}$ ) powierzchniowej warstwy gleby wynosiła  $0,129 \text{ mm}^2 \text{ mm}^{-2}$ . Wielkość ta była skutkiem procesów zamrażania i rozmarzania oraz nawilżania i wysychania masy glebowej w okresie zimowym i wczesnowiosennym. Pierwszy wiosenny zabieg, bronowanie broną średnią, spowodował wzrost makroporowatości do wartości 2,5-krotnie wyższej, jednak po deszczu padającym przez kilka dni ( $22,2 \text{ mm}$ ) nastąpił jej zdecydowany spadek. Warto zwrócić uwagę na to, że makroporowatość gleby poddanej działaniu deszczu bezpośrednio po spulchnieniu była niemal o połowę mniejsza niż przed bronowaniem. Ugniatający efekt opadów deszczu jest tu bardzo wyraźnie widoczny.

Uprawa broną aktywną ponownie zwiększyła makroporowość, szczególnie skuteczne okazało się powtórzenie tego zabiegu w kierunku prostopadłym do poprzedniego. Wartość badanej cechy, stwierdzona po powtórnym bronowaniu, była najwyższa spośród wszystkich uzyskanych w całym sezonie i wynosiła  $0,382 \text{ mm}^2 \text{ mm}^{-2}$ . Wałowanie ponownie zmniejszyło makroporowość ( $0,237 \text{ mm}^2 \text{ mm}^{-2}$ ), jednak znacznie większy efekt (zmniejszenie do  $0,107 \text{ mm}^2 \text{ mm}^{-2}$ ) spowodował znowu kilkudniowy opad deszczu (11,4 mm). Szczególnie znacząca redukcja makroporów, do  $0,013 \text{ mm}^2 \text{ mm}^{-2}$ , nastąpiła w śladach utworzonych przez koła ciągnika podczas wysiewania nawozu azotowego w dniu 11 VI. W próbkach pobranych w lipcu można zaobserwować zmieniające się stany, związane z zagęszczającym działaniem deszczu i rozluźniającym, krótkotrwałym efektem uprawek spulchniających.

Najbardziej drastyczne obniżenie makroporowości wystąpiło podczas wywożenia cebuli z pola. Transport cebuli odbywał się w czasie wyjątkowo nieprzychylnych, deszczowej pogody. Ciągnik z przyczepą wielokrotnie przejeżdżał po mokrej glebie, bardzo mocno ją ugniatając. W próbkach pobranych po upływie miesiąca od ugniecenia makroporowość przyjęła najniższą ze stwierdzonych wartości –  $0,006 \text{ mm}^2 \text{ mm}^{-2}$ . Była to wartość o połowę mniejsza od uzyskanej w czerwcu w śladzie ciągnika, a, co warto podkreślić, jesienne zagęszczenie objęło całe pole, a nie tylko pojedyncze ślady. Wykonana następnie podorywka podwyższyła makroporowość do  $0,153 \text{ mm}^2 \text{ mm}^{-2}$ .

Liczebność przekrojów makroporów nie była tak ściśle związana z oddziaływaniem na glebę czynników zewnętrznych, jak makroporowość. Bardzo zbliżonej makroporowości mogą towarzyszyć odmienne liczebności przekrojów makroporów. Na przykład makroporowości  $0,157 \text{ mm}^2 \text{ mm}^{-2}$  odpowiada liczebność 2898 (stan 13), a  $0,153 \text{ mm}^2 \text{ mm}^{-2}$  – 550 (stan 19); makroporowości  $0,129 \text{ mm}^2 \text{ mm}^{-2}$  liczebność 1012 (stan 1), zaś  $0,135 \text{ mm}^2 \text{ mm}^{-2}$  – 2559 (stan 9). Największą liczebność makroporów, 3777, stwierdzono w próbkach pobranych 24 IV po opadach deszczu (stan 7), a najmniejszą, 519, po ugniataniu podczas wywożenia cebuli (stan 18).

Średni rozmiar przekrojów porów,  $\lambda_p$ , zawierał się w przedziale od 0,217 mm po jesiennym ugniataniu (stan 18) do 0,998 mm po podorywce (stan 19). Po intensywnych zabiegach spulchniających wskaźnik ten przyjmował najczęściej wartości wyższe od 0,5 mm, po spulchnianiu narzędziami ręcznymi kształtował się zazwyczaj na poziomie około 0,4 mm, po opadach deszczu i ugniataniu kołami maszyn rolniczych w przedziale 0,2–0,3 mm. Na uwagę zasługuje wysoka wartość średniego rozmiaru porów w pierwszym terminie badań, 0,616 mm, ukształtowana przez zimowo-wczesnowiosenne czynniki pogodowe.

## WNIOSKI

1. Makroporowatość oznaczona za pomocą analizy morfometrycznej jest wskaźnikiem bardzo dobrze opisującym zmiany struktury gleby, spowodowane oddziaływaniem różnych czynników zewnętrznych.
2. Określenie liczebności i średniego rozmiaru przekrojów makroporów umożliwia pogłębioną analizę zmienności struktury gleby.
3. Struktura powierzchniowej warstwy badanej gleby pługowej wytworzonej z utworu pyłowego charakteryzowała się małą stabilnością i dużą podatnością na zagęszczające działanie deszczu i kół pojazdów rolniczych.

## PIŚMIENNICTWO

- Bryk M. 2000. Image analysis as a method of comparison of soil structures. In: Proceedings of 6th International Conference „Stereology and Image Analysis in Materials Science”, eds. L. Wojnar, K. Rożniatowski, Kraków, Poland, 89–94.
- Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A. 1987. Effect of tillage and weather conditions on structure and physical properties of soil and yield of winter wheat. *Soil Till. Res.* 10, 225–241.
- Horn R., Domżał H., Słowińska-Jurkiewicz A., van Ouwerkerk C. 1995. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil Till. Res.* 35, 23–36.
- Ringrose-Voase A.J. 1990. One-dimensional image analysis of soil structure. I. Principles. *J. Soil Sci.* 41, 499–512.
- Słowińska-Jurkiewicz A., Mikosz A. I. 1995. The application of morphological studies for the assessment of various soil structure conditions. *Polish J. Soil Sci.* 28, 1, 1–9.
- Wojnar L., Kurzydłowski K.J., Szala J. 2002. *Praktyka analizy obrazu*. Polskie Towarzystwo Stereologiczne, Kraków, 454.
- Wojnar L., Majorek M. 1994. *Komputerowa analiza obrazu*. Fotobit-Design, Kraków, 159.

