



mowlonych nacisków kół ciągników i maszyn rolniczych [Słowińska-Jurkiewicz, Domżał 1991; Kooistra, Tovey 1994]. Ugniatające działanie na glebę, szczególnie na jej wierzchnią warstwę, wykazują również inne czynniki zewnętrzne, w tym opady deszczu [Słowińska-Jurkiewicz, Paluszek 2001].

Struktura gleby może być charakteryzowana przez określenie kształtu, rozmiaru i przestrzennego uporządkowania pojedynczych cząstek fazy stałej i zespołów tych cząstek (agregatów) lub przez określenie porowatości i rozkładu wielkości porów [Lawrence 1977]. Najczęściej strukturę gleby opisuje się za pomocą parametrów dotyczących porów, ponieważ ich rozmiar, kształt i stopień połączenia wpływają na wiele ważnych procesów zachodzących w glebie [Ringrose-Voase, Bullock 1984]. Liczbowe wskaźniki, charakteryzujące kształt elementów strukturalnych, występujących na przekrojach próbek glebowych, pozwalają na dokonanie rozróżnienia badanych próbek glebowych oraz określenie wpływu czynników zewnętrznych na strukturę; mogą być one wymiernym świadectwem procesów, jakim ulegała gleba [Holden 1993]. Systematyczne badanie dynamiki porów glebowych ma wobec tego podstawowe znaczenie dla rozwoju wiedzy agrofizycznej, dzięki której będzie można przewidzieć reakcję rzeczywistej gleby na bodźce zewnętrzne [Dexter, Young 1992].

Celem niniejszej pracy było określenie wskaźnika wydłużenia przekrojów porów gleby płowej, pod uprawą cebuli poddawanej różnym zabiegom agrotechnicznym i pod wpływem zmieniających się czynników.

#### METODY

Lokalizację obiektu doświadczalnego, miejsce i terminy pobrania próbek oraz sposób sporządzenia złądów do analizy omówiono w pracy Słowińskiej-Jurkiewicz i in. [2004]. Warto tylko przypomnieć, że obiekt doświadczalny usytuowany był na glebie płowej typowej, wytworzonej z utworów pyłowych, niecałkowitej, nawapieniowej. Pomiary uzyskano, wykorzystując binarne obrazy powierzchni złądów o rozmiarach 75,0 mm × 65,0 mm. W celu oszacowania wskaźnika wydłużenia  $ELG_i$  nałożono na obraz ramkę ochronną [Wojnar i in. 2002], dzięki czemu otrzymano nieobciążone błędem wartości liczbowe tej cechy. Ramka ochronna ograniczała centralnie usytuowany, prostokątny obszar obrazu, pokrywający 80% jego powierzchni, o długościach boków 67,1 mm × 58,1 mm. W trakcie opracowywania wyników w obliczeniach uwzględniano wyłącznie przekroje porów, których środki ciężkości zawarte były w ramce ochronnej. Dodatkowo, ze względu na trudność sklasyfikowania kształtu mniejszych porów, do analizy wybrano przekroje porów o polach co najmniej równych 100 pix<sup>2</sup>, co odpowiada 0,179 mm<sup>2</sup>.

Wskaźnik wydłużenia (ang. elongation index),  $ELG_i$ , obliczony został dla każdego przekroju poru według wzoru wykorzystywanego w programie do analizy obrazu Aphelion:

$$ELG_i = \frac{a_i - b_i}{a_i + b_i}$$

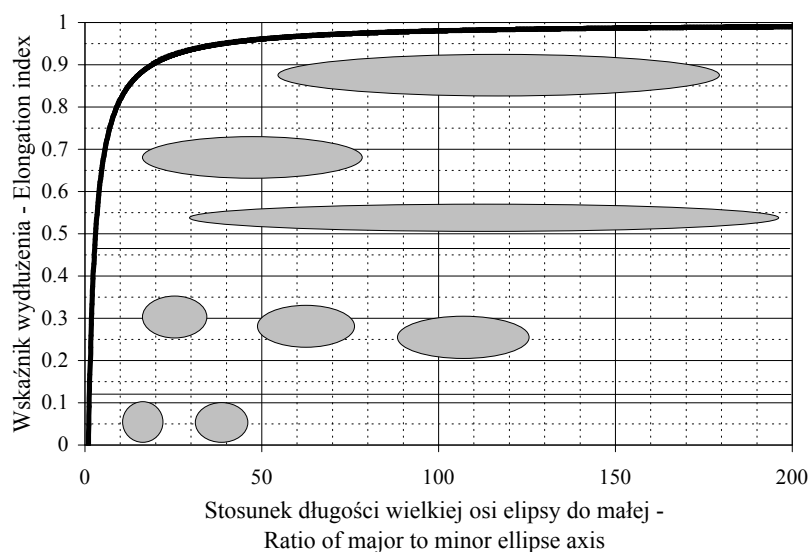
gdzie  $a_i$  i  $b_i$  są odpowiednio dłuższą i krótszą osią elipsy ograniczającej obiekt. Wskaźnik wydłużenia,  $ELG_i$ , obliczany jak podano wyżej, przyjmuje wartość bliską (lub równą) 0 dla kształtów równowymiarowych (kwadrat, koło, koło z otworem) i wzrasta do jedności wraz z wydłużaniem się badanej figury. Liczebność i udział procentowy poszczególnych przekrojów porów przedstawiono w formie wykresów (ryc. 2, ryc. 3).

Wyniki uzyskane w doświadczeniu poddano analizie statystycznej, przyjmując poziom istotności, stosowany standardowo w badaniach przyrodniczych  $\alpha = 0,05$ . Dokonano porównania rozkładów wartości wskaźnika wydłużenia za pomocą testu  $\chi^2$ .

#### WYNIKI

Biorąc pod uwagę wartość wskaźnika wydłużenia, wyróżniono następujące grupy kształtów przekrojów porów: od 0 do 0,1 – kolisty; od 0,11 do 0,5 – eliptyczny; powyżej 0,51 – wydłużony (ryc. 1).

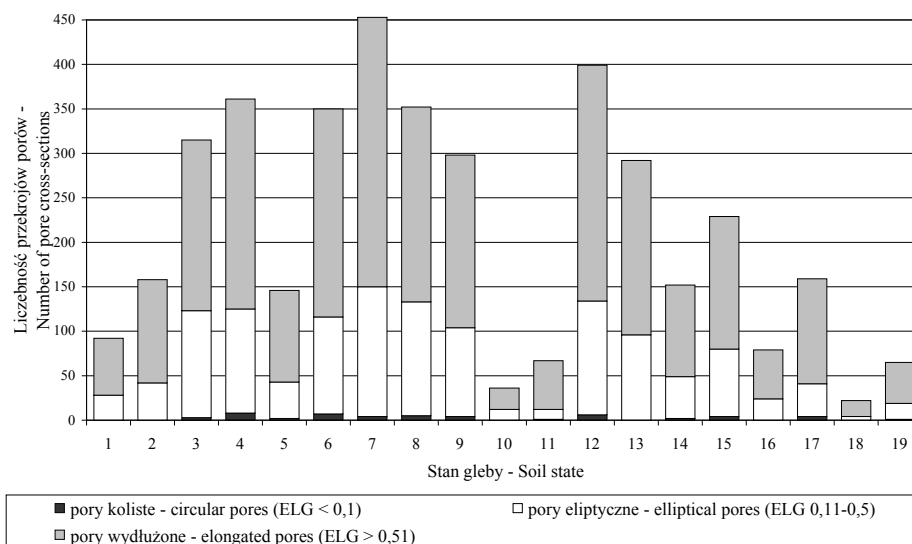
W próbkach z pierwszego terminu badań, pobranych przed uprawą cebuli, zanotowano najwięcej porów o wskaźniku wydłużenia powyżej 0,51, nie stwierdzono natomiast porów o kształcie kolistym. Zastosowanie brony średniej do głębokości 5 cm (stan 2) zwiększyło liczbę porów wydłużonych i eliptycznych. Kilkudniowe opady deszczu, 22,2 mm, przyczyniły się do powstania porów kolistych oraz nastąpił, potwierdzony statystycznie, wzrost ilości pozostałych grup kształtów porów. Jednak rozpatrując rozkład procentowy, w ogólnej liczbie porów udział porów wydłużonych obniżył się. Wykorzystanie w tym samym dniu brony aktywnej, pracującej do głębokości 15 cm (stan 4), spowodowało zwiększenie ilości porów kolistych i wydłużonych. Powtórzenie tego zabiegu w kierunku prostopadłym do poprzedniego wywołało ponaddwukrotny spadek liczebności wszystkich grup kształtów porów. Natomiast siew cebuli zakończony wałowaniem (stan 6) ponownie zwiększył liczebność każdej grupy porów. Dalszy wzrost liczby porów eliptycznych i wydłużonych nastąpił po oprysku i kilkudniowych opadach deszczu (stan 7), przy czym czynniki te spowodowały spadek liczby porów kolistych. Trzy tygodnie później w próbkach pobranych przed bronowaniem broną lekką (stan 8) zaobserwowano statystycznie istotny



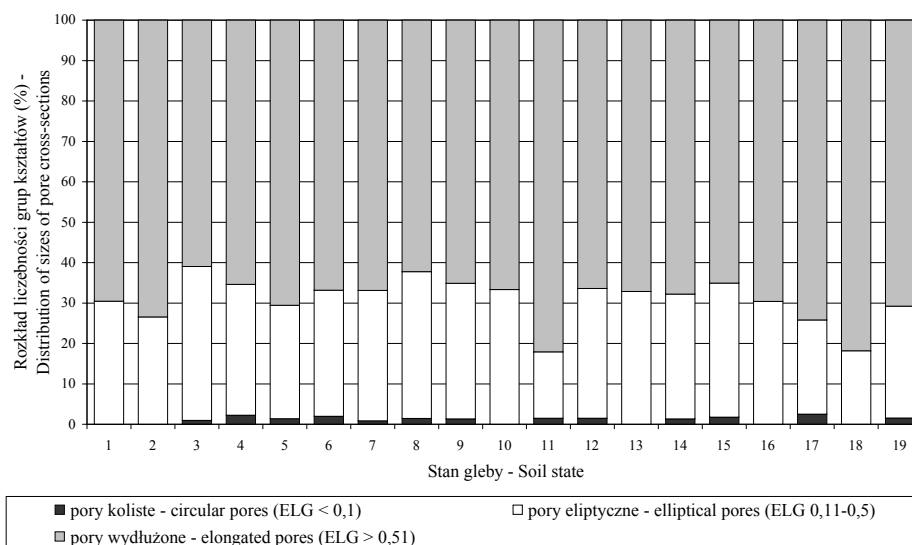
Rycina 1. Kształty przekrojów porów w zależności od wskaźnika wydłużenia  
 Figure 1. Shapes of pore cross-section according to the elongation index

spadek liczebności każdej z grup porów, przy jednoczesnym zwiększeniu udziału procentowego porów eliptycznych. Kolejne czynniki zewnętrzne, takie jak zastosowanie brony lekkiej oraz przejazd ciągnikiem Ursus C-330 (stan 9 i 10), zredukowały znacznie liczebność wszystkich grup kształtów porów. Spulchnienie gleby opielaczem sześciorzędowym (stan 11) wywołało zmiany statystycznie istotne w poszczególnych grupach, mianowicie wzrosła liczba kształtów kolistych i wydłużonych, a zmalała eliptycznych. W próbkach pobranych bezpośrednio po opadach silnego deszczu, 26,1 mm (stan 12), stwierdzono, także istotny statystycznie, wzrost liczby każdej z grup porów, jednak towarzyszyło temu zmniejszenie udziału procentowego porów o kształcie wydłużonym. W następstwie ręcznego gracowania (stan 13) nastąpił spadek liczby porów o wskaźniku wydłużenia powyżej 0,11, a redukcja pozostałych porów do zera. Po sześciodniowych opadach deszczu, 28,1 mm (stan 14), zaobserwowano pojawienie się porów kolistych, przy zmniejszeniu liczby porów o innych kształtach. W wyniku powtórnego ręcznego gracowania (stan 15) odnotowano wzrost liczby porów we wszystkich grupach kształtów. Stwierdzono statystyczne różnice w stanach przed i po spulchnieniu gleby pielnikiem konnym (stan 16 i 17), po którego działaniu przybyło porów kolistych, eliptycznych i wydłużonych, przy jednoczesnym zmniejszeniu procentowego udziału porów o wskaźniku wydłużenia powyżej 0,51. Największy spadek liczebności wszystkich porów wy-

stał w próbkach pobranych w miesiąc po przejeździe ciągnikiem w trakcie zwożenia cebuli z pola (stan 18). Zastosowanie podorywki (ostatni termin badań), mającej na celu spulchnienie gleby, wywołało wzrost liczby zarówno porów kolistych, eliptycznych, jak i wydłużonych.



Rycina 2. Liczebność przekrojów porów w grupach kształtów  
Figure 2. Number of pore cross-sections in groups of shapes



Rycina 3. Rozkład liczebności grup kształtów przekrojów porów (%)  
Figure 3. Distribution of sizes of pore cross-sections in groups of shapes (%)

W każdym z wymienionych stanów gleby, bez względu na charakter działającego czynnika zewnętrznego, największy udział wykazały pory o kształcie wydłużonym (od 61,0 do 82,1%). Obiekty koliste, o wskaźniku wydłużenia poniżej 0,11, stanowiły niewielki procent liczebności wszystkich badanych porów. Ich największy udział wyniósł 2,52%, po spulchnieniu gleby pielnikiem konnym, a pozostałe wyniki zawarły się w przedziale od 0 do 2,22%. Rozpatrując liczebność porów, najmniejszą wartość (22) stwierdzono w próbce pobranej w miesiąc po ugnieceniu ciągnikiem podczas zwożenia cebuli z pola. Niewiele większą wartością (36) charakteryzowało się pole po przejeździe ciągnika w trakcie wysiewu nawozu. Największa liczebność porów (453) wystąpiła w próbkach pobranych 24 kwietnia po oprysku i kilkudniowych opadach deszczu.

Należy podkreślić, że w przypadku porów o kształcie wydłużonym bardzo ważne jest określenie kierunku ich przebiegu. Inaczej odbywa się ruch wody i powietrza w glebie o dominacji porów ułożonych pionowo, a inaczej gdy kierunek porów jest poziomy. Określenie wskaźnika wydłużenia stanowi wstępny etap w analizie ukierunkowania przekrojów porów, czemu poświęcona jest praca Bryk i in. [2004].

#### WNIOSKI

1. W każdym z analizowanych stanów, bez względu na charakter działającego czynnika zewnętrznego, dominowały w badanej powierzchniowej (0–8 cm) warstwie gleby pory o kształcie wydłużonym.
2. Udział obiektów kolistych, o wskaźniku wydłużenia poniżej 0,11, w liczebności wszystkich badanych porów stanowił niewielki procent (0–2,52%).
3. Biorąc pod uwagę liczebność badanych porów, najmniejsze wartości stwierdzono w próbce pobranej w miesiąc po ugnieceniu ciągnikiem podczas zwożenia cebuli z pola oraz po przejeździe ciągnika w trakcie wysiewu nawozu.

#### PIŚMIENICTWO

- Bryk M., Słowińska-Jurkiewicz A., Kołodziej B. 2004. Zmiany ukierunkowania porów w glebie płowej pod wpływem zabiegów agrotechnicznych. *Annales UMCS, Sec. E*, 59, 1, 345–352.
- Dexter A.R., Young I.M. 1992. Soil physics towards 2000. *Soil Till. Res.* 24, 101–106.
- Holden N.M. 1993. A two-dimensional quantification of soil ped shape. *J. Soil Sci.* 44, 209–219.
- Kooistra M., Tovey N.K. 1994. Effects of compaction on soil microstructure. In: B.D. Soane and C. van Ouwerkerk (Editors), "Soil Compaction in Crop Production", *Developments in Agricultural Engineering* 11. Elsevier Science B.V. 91–111.

- Lawrence G.P. 1977. Measurement of pore sizes in fine textured soils: a review of existing techniques. *J. Soil Sci.* 28, 527–540.
- Ringrose-Voase A.J., Bullock P. 1994. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. *J. Soil Sci.* 35, 673–684.
- Słowińska-Jurkiewicz A., Domżał H. 1991. The structure of the cultivated horizon of soil compacted by the wheels of agricultural tractors. *Soil Till. Res.* 19, 215–226.
- Słowińska-Jurkiewicz A., Kołodziej B., Bryk M. 2004. Wpływ zabiegów agrotechnicznych na strukturę gleby plovej – ocena morfometryczna makroporów. *Annales UMCS, Sec. E*, 59, 1, 329–335.
- Słowińska-Jurkiewicz A., Paluszek J. 2001. Morfologiczna i morfometryczna analiza zmian struktury erodowanej gleby lessowej ulepszanej syntetycznymi polimerami. *Acta Agrophysica*, 56, 259–270.
- Wojnar L., Kurzydłowski K.J., Szala J. 2002. *Praktyka analizy obrazu*. Polskie Towarzystwo Stereologiczne, Kraków, 454.

