

Maja Bryk, Anna Słowińska-Jurkiewicz, Beata Kołodziej

### Wpływ systemu uprawy na zawartość węgla organicznego w glebie

Changes of pore orientation in soil lessivé caused by tillage measures

**ABSTRACT.** The paper aimed at a description of the direction of pore cross-sections in soil lessivé after different treatments during onion cultivation in the growing season and in changeable weather conditions. The measurements were taken on the basis of opaque soil blocks using computer assisted image analysis. For the statistical evaluation of the results the statistics of two-dimensional vectorial data (circular statistics) was used. In order to compare soil states the Pearson compatibility test  $\chi^2$  was carried out. The results showed that the applied methods of the vectorial data statistics made it possible to define the distribution type of pore cross-sections considering their direction. The measurements proved that the applied cultivation treatments led to the soil material homogenisation, which was supported by a generally random pore cross-sections' orientation. The tested soil in most cases showed an isotropic pore distribution. The observed anisotropy resulted mainly from the compaction and intensive or long-lasting rainfall.

**KEY WORDS:** soil structure, pores, morphometry, image analysis, circular statistics, orientation

Znajomość ukierunkowania i stopnia anizotropii porów glebowych, przede wszystkim wydłużonych spękań i wydrzeń, pozwala lepiej zrozumieć procesy determinowane przez strukturę gleby. Pozwala również na modelowanie tych procesów [Vogel i in. 1993]. Rozmieszczenie porów glebowych, a także ich ciągłość decydują o transporcie wody, składników odżywczych oraz wymianie gazowej, wpływających na warunki życia organizmów glebowych i uprawianych roślin. Celem pracy było zatem scharakteryzowanie ukierunkowania prze-

krojów porów gleby pólowej niecałkowitej (wytworzonej z utworu pyłowego zalegającego na opoce kredowej) poddawanej w sezonie wegetacyjnym w trakcie uprawy cebuli wpływom różnorodnych zabiegów agrotechnicznych i zmieniających się warunków pogodowych. Do oceny statystycznej otrzymanych wyników wykorzystano, rozpowszechnione m.in. w naukach geologicznych i biologicznych [na przykład Capaccioni i in. 1997; Cladouhos 1999; Mann i in. 2003], a nie tak szeroko stosowane w naukach rolniczych i o glebie, narzędzia statystyki danych wektorowych.

#### METODY

Lokalizację obiektu doświadczalnego, miejsce pobrania próbek oraz sposób sporządzenia złądów do analizy omówiono w pracy Słowińskiej-Jurkiewicz i in. [2004]. Tam też opisano zasady przygotowania, wykorzystywanych potem w analizie obrazu, zdjęć w formie cyfrowej. Pomiary wykonano na bazie binarnych obrazów powierzchni złądów, obejmujących obszary próbek o rozmiarach 75,0 mm × 65,0 mm. W trakcie opracowywania wyników w zliczaniu uwzględniano wyłącznie przekroje porów, których środki ciężkości zawarte były w ramce ochronnej [Wojnar i in. 2002] o wymiarach 67,1 mm × 58,1 mm. Kolejnym kryterium był rozmiar – do analizy ukierunkowania wybrano przekroje porów o polach co najmniej równych 100 pix<sup>2</sup> (0,179 mm<sup>2</sup>) ze względu na trudność sklasyfikowania kształtu mniejszych obiektów. Wyeliminowano następnie okrągłe przekroje porów (o wartości wskaźnika wydłużenia mniejszej niż 0,11), wykorzystując rezultaty zaprezentowane przez Kołodziej i in. [2004], ponieważ obiekty te nie miały wyróżnionej osi orientacji. Należy dodać, że takie obiekty stanowiły niewielki procent liczebności wszystkich badanych obiektów, od 0 do 2,52%.

Ukierunkowanie przekrojów porów scharakteryzowano wyznaczając orientację dłuższego boku najmniejszego prostokąta ograniczającego obiekt,  $\theta_i$ , w zakresie kątów od 0 do 180°. Kierunek poziomy odpowiadał 0°, kierunek pionowy – 90°, a kąty wzrastały przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. Na podstawie uzyskanych wyników skonstruowano histogramy kołowe – róże kierunków.

W celu określenia, czy obiekty w badanych próbkach miały przypadkową (równomierną) orientację, czy też rozmieszczone były wzdłuż wybranego kierunku, przeprowadzono analizę statystyczną [Baas 2000 za Watsonem 1966, Mardia 1972 i Batscheletem 1981]. Wykonano parametryczny test Rayleigha, aby stwierdzić, czy rozkład prawdopodobieństwa badanej populacji danych kierunkowych jest rozkładem kołowo-normalnym (ang. *circular-normal frequency distribution*) von Misesa (odpowiednik rozkładu normalnego Gaussa dla danych

niekierunkowych). Rozkład von Misesa jest charakteryzowany przez dwa parametry: ukierunkowanie średniego wektora,  $M$ , oraz skoncentrowanie danych wektorowych (siła wektora średniego),  $K$ . Stopień skupienia danych wektorowych może być także scharakteryzowany za pomocą kołowej wariancji (ang. *circular variance*) Batscheleta  $s_B^2$  lub kołowego odchylenia standardowego  $s_B$ . Im mniejsza dyspersja (rozproszenie), tym większa długość średniego wektora,  $R$ , i tym populacja w większym stopniu odbiega od rozkładu równomiernego. Wartość  $R$  mieści się w zakresie od 0 do 1, przy czym 0 reprezentuje całkowitą dyspersję danych (duże rozproszenie, rozkład równomierny), a 1 – całkowite skupienie danych, co świadczy o zorientowaniu wszystkich obiektów wzdłuż jednego kierunku [Mann i in. 2003].

Wartość  $R$  dla próbki oblicza się według wzoru:

$$R = \frac{1}{N} \sqrt{X_r^2 + Y_r^2} = \frac{1}{N} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N X_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^N Y_i\right)^2} = \frac{1}{N} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N \cos\theta_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^N \sin\theta_i\right)^2},$$

gdzie:  $N$  – liczba obiektów (przekrojów porów);  $(X_r, Y_r)$  – współrzędne końca wektora  $R$  o początku w punkcie  $(0,0)$ ;  $i$  – indeks numerujący przekroje porów w próbce;  $\theta_i$  – ukierunkowanie wektora o początku w punkcie  $(0,0)$  i końcu w punkcie  $(X_i, Y_i)$  dla  $i$ -tego przekroju poru.

Wartość krytyczna testu Rayleigha jest dana równaniem:  $R_\alpha = \sqrt{\frac{3,00}{N}}$  dla  $\alpha = 0,05$  oraz  $N = 15$ . Jeżeli obliczona dla próbki wartość  $R$  jest większa lub równa od wartości krytycznej ( $R = R_\alpha$ ) na zakładanym poziomie istotności, badany rozkład jest rozkładem kołowo-normalnym, w przeciwnym przypadku badany rozkład jest równomierny.

Dla zmiennych losowych o rozkładzie kołowo-normalnym można następnie wyliczyć ukierunkowanie średniego wektora, które jest dane wzorem ogólnym:  $M = \arctg\left(\frac{Y_r}{X_r}\right)$  ( $^\circ$ ). Siła wektora średniego jest powiązana z jego długością wzorami:  $K = \frac{1}{6} R(12 + 6R^2 + 5R^4)$  dla  $R = 0,65$  oraz  $K = [2(1-R) - (1-R)^2 - (1-R)^3]^{-1}$  dla  $R > 0,65$ .

Kołowe odchylenie standardowe,  $s_B$ , jest odpowiednikiem wektorowym odchylenia standardowego dla danych niewektorowych:  $s_B = \frac{180}{\pi} \sqrt{2(1-bR)}$  ( $^\circ$ ), gdzie  $b$  – współczynnik korekcyjny ( $b \sim 1$ ). Można dodatkowo obliczyć kątowny przedział ufności:  $\pm d^\circ = m_\alpha (NRK)^{-2}$  ( $^\circ$ ), przy czym równanie jest słuszne dla  $NRK = 6$ , a  $m_\alpha = 112$  na poziomie istotności 5%. Oszacowaniem średniego wektora dla zbiorowości generalnej ( $\mu^\circ$ ) jest:  $(M - d^\circ) < \mu^\circ < (M + d^\circ)$  na poziomie ufności  $(100 - \alpha) \%$ .

Test Rayleigha oraz diagramy–róże kierunków wykonano za pomocą bezpłatnego programu komputerowego, stworzonego przez Baasa [2000] – EZ-ROSE 1.0. Analizy statystyczne przeprowadzono na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Ponadto dokonano porównania rozkładów ukierunkowania za pomocą testu zgodności  $\chi^2$  Pearsona.

#### WYNIKI

W tabeli 1 przedstawiono dla kolejnych stanów gleby wyniki testu Rayleigha, a na rycinie 1 zaprezentowano odpowiadające im róże kierunków. Na wykresach powierzchni wycinków koła odpowiadają procentowym udziałom poszczególnych klas orientacji. Wyróżniono 12 klas orientacji: co  $15^\circ$  od  $0$  do  $180^\circ$ . Wartości kątów,  $\theta_i$ , dla poszczególnych przekrojów porów zgrupowano w przedziałach lewostronnie domkniętych:  $[0;15)$ ,  $[15;30)$  itd. Wyniki wykreślono symetrycznie także dla drugiej połówki koła – w zakresie od  $180$  do  $360^\circ$ . Dla rozkładów spełniających warunki rozkładu von Misesa czarną linią przedstawiono ukierunkowanie średniego wektora, a odpowiadający mu kątowy przedział ufności zaznaczono szarą barwą. Róże kierunków pozwoliły wygodnie prześledzić zmiany orientacji przekrojów porów, wywołane warunkami zewnętrznymi.

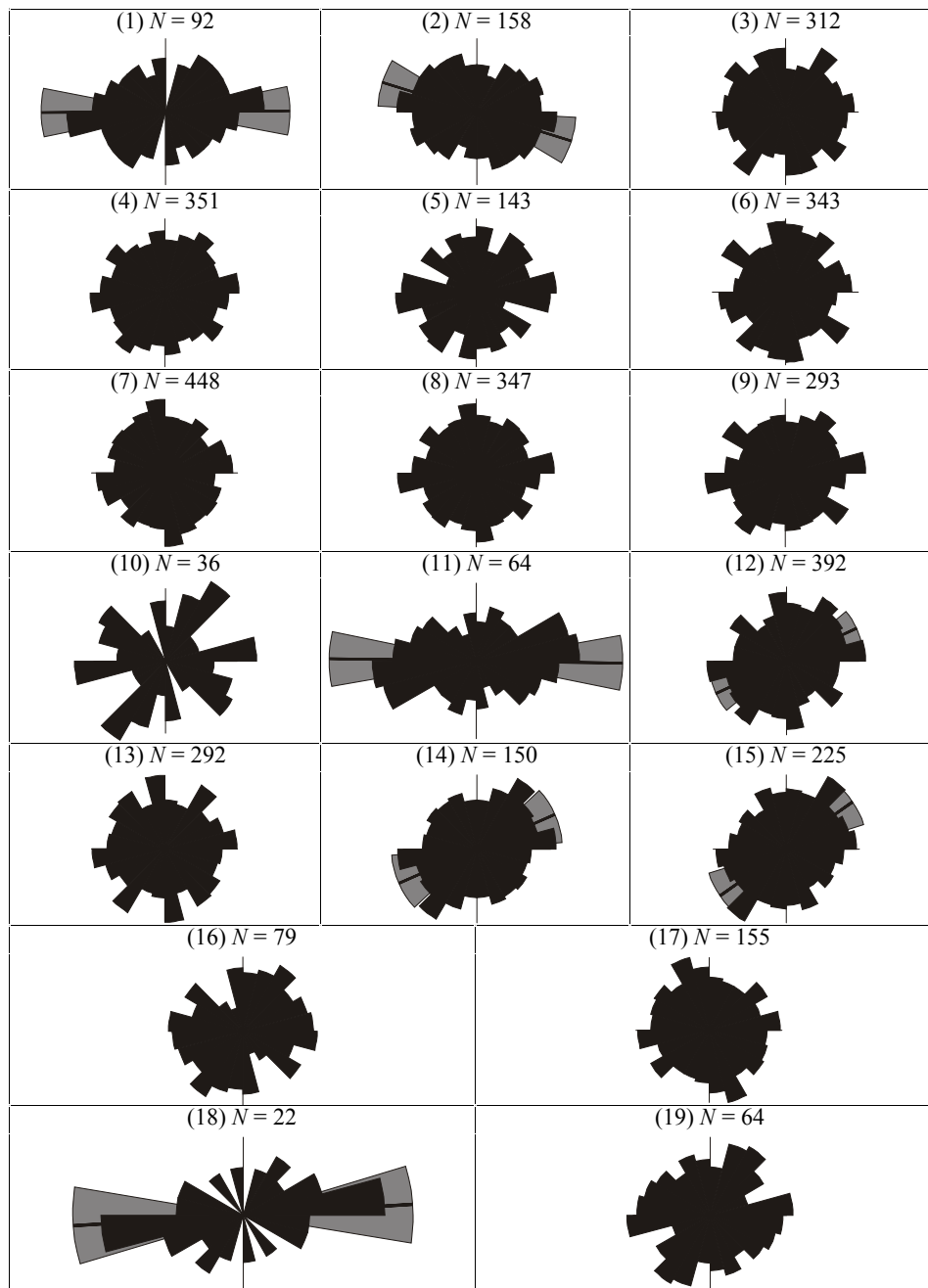
Gleba płowa niecałkowita była objęta badaniami od 2 kwietnia do 15 listopada 1990 roku, w czasie gdy prowadzono na niej uprawę cebuli. W stanie początkowym (1 – przed uprawą, 2 IV) w glebie dominowały pory zorientowane poziomo – równoległe do jej powierzchni. Bronowanie broną średnią do głębokości 5 cm (stan 2, 4 IV) spowodowało zmianę kierunku przebiegania porów glebowych na ukośny,  $M$  wyniosło prawie  $163^\circ$ . Występujące później kilkudniowe opady deszczu (stan 3, 10 IV) oraz kolejne bronowania broną aktywną (stan 4, 10 IV oraz stan 5, 11 IV), tym razem do głębokości 15 cm, mające na celu właściwe przygotowanie roli pod siew, nie wywołały zasadniczych zmian ułożenia przekrojów porów, a rozkłady ukierunkowania były równomierne. Siew cebuli zakończony wałowaniem (stan 6, 12 IV), wywołał statystycznie istotne zmiany rozkładu ukierunkowania przekrojów porów w stosunku do stanu poprzedzającego. Nieznacznie wzrósł udział porów zorientowanych pionowo, a zmalał – udział porów przebiegających równoległe do powierzchni gleby. Kolejne czynniki zewnętrzne, mimo ich różnorodności: stan 7 (24 IV) – po oprysku wykonanym 16 IV i kilkudniowych opadach deszczu, stan 8 i 9 – przed i po bronowaniu broną lekką (16 V), stan 10 – ugniecenie gleby w trakcie siewu nawozu azotowego ciągnikiem URSUS C-330 (11 VI), nie miały wpływu na rozkład ukierunkowania przekrojów porów glebowych. Nie stwierdzono także istotnych staty-

Tabela 1. Wyniki testu Rayleigha na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$   
 Table 1. Results of Rayleigh's test at the significance level  $\alpha = 0.05$

Stan State	N	$R_{0,05}$	$R$	$M$ (°)	$s_B$ (°)	$K$	$\pm d^\circ$	Typ rozkładu Distribution type
1	92	0,181	0,345	0,462	32,793	0,735	11,598	kołowo-normalny Von Misesa – circular-normal
2	158	0,138	0,223	162,675	35,716	0,457	13,959	kołowo-normalny Von Misesa – circular-normal
3	312	0,098	0,076	–	–	–	–	równomierny – uniform
4	351	0,092	0,079	–	–	–	–	równomierny – uniform
5	143	0,145	0,116	–	–	–	–	równomierny – uniform
6	343	0,094	0,063	–	–	–	–	równomierny – uniform
7	448	0,082	0,031	–	–	–	–	równomierny – uniform
8	347	0,093	0,053	–	–	–	–	równomierny – uniform
9	293	0,101	0,088	–	–	–	–	równomierny – uniform
10	36	0,289	0,169	–	–	–	–	równomierny – uniform
11	64	0,217	0,439	179,127	30,343	0,976	10,691	kołowo-normalny Von Misesa – circular-normal
12	392	0,087	0,135	24,711	37,673	0,273	14,709	kołowo-normalny Von Misesa – circular-normal
13	292	0,101	0,040	–	–	–	–	równomierny – uniform
14	150	0,141	0,162	23,729	37,082	0,329	19,791	kołowo-normalny Von Misesa – circular-normal
15	225	0,115	0,148	35,355	37,400	0,299	17,758	kołowo-normalny Von Misesa – circular-normal
16	79	0,195	0,193	–	–	–	–	równomierny – uniform
17	155	0,139	0,061	–	–	–	–	równomierny – uniform
18	22	0,369	0,588	3,639	26,008	1,438	12,987	kołowo-normalny Von Misesa – circular-normal
19	64	0,217	0,105	–	–	–	–	równomierny – uniform

$N$  – liczba przekrojów porów – number of pore cross-sections;  $R_{0,05}$  – wartość krytyczna na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  – critical value at the significance level  $\alpha = 0.05$ ;  $R$  – wartość dla badanej populacji – value for tested population;  $M$  – ukierunkowanie średniego wektora – mean vector orientation;  $s_B$  – kołowe odchylenie standardowe – circular standard deviation;  $K$  – siła wektora średniego – mean vector strength;  $\pm d^\circ$  – kątowny przedział ufności ukierunkowania średniego wektora – confidence sector for the mean vector orientation

stycznie różnic między stanem 10 a 11 (gleba po spulchnieniu opiłaczem sześciornym do głębokości 5 cm, 18 VI), prawdopodobnie ze względu na zbyt małą liczebność porów glebowych w badanych próbkach. Po dwóch tygodniach oraz silnych opadach deszczu (stan 12, 4 VII) stwierdzono natomiast istotne statystycznie zmiany w zaszeregowaniu przekrojów porów do wyróżnionych klas orientacji. W próbce po spulchnieniu (stan 11) dominowały pory ułożone horyzontalnie,  $M$  było równe niemal  $180^\circ$ , a znacznie mniej było porów zorientowanych pionowo, a więc takich, dzięki którym mógł zachodzić transport wody



Rycina 1. Róże kierunków dla kolejnych stanów gleby (1) – (19).  $N$  – liczba przekrojów porów; opis w tekście

Figure 1. Roses of orientations for subsequent soil states (1) – (19).  $N$  – number of pore cross-sections; description in the text

i powietrza między glebą a atmosferą. Natomiast w następstwie silnych opadów deszczu i samoosiadania gleby (stan 12) ukierunkowanie porów zmieniło się na ukośne,  $M$  wyniosło około  $25^\circ$ , a rozkład zyskał znacznie bardziej równomierny charakter, o czym świadczy niższa wobec stanu poprzedzającego wartość  $R$ . Gleba po ręcznym gracowaniu (stan 13, 4 VII) cechowała się chaotycznym rozłożeniem porów glebowych. Po sześciodniowych opadach deszczu (stan 14, 12 VII) dał się zauważyć nieznaczny spadek liczebności porów zorientowanych prostopadle do powierzchni gleby, a pory zyskały pewne zorientowanie – wzdłuż kierunku około  $24^\circ$ . Ręczne gracowanie (stan 15, 12 VII) spowodowało nieznaczne wyrównanie rozkładu kierunków porów glebowych i wzrost liczby porów zorientowanych pionowo, związany niewątpliwie ze specyfiką działania tego narzędzia. Podobną sytuację zaobserwowano dla stanu 13. W ciągu kolejnych ośmiu dni nastąpił zanik porów najmniejszych i 20 VII (stan 16) pozostałe pory ukierunkowane były przypadkowo. Po spulchnieniu pielnikiem konnym (stan 17, 20 VII) pory glebowe nie zyskały charakterystycznego ukierunkowania. Zasadnicze przeobrażenia struktury gleby spowodowało zwożenie cebuli z pola po jej zbiorze. Nawet w miesiąc później (stan 18, 16 X) przekroje porów ukierunkowane były horyzontalnie, a liczebność porów prostopadłych do powierzchni była niska. Obserwacja ta jest zgodna z wynikami Murphy’ego i in. [1977] oraz Słowińskiej-Jurkiewicz i Domżała [1991] – pory gleb poddanych silnemu naciskowi wykazują preferowaną orientację. Stan ten uległ zmianie po podorywce – ukierunkowanie porów stało się przypadkowe (stan 19, 15 XI).

#### WNIOSKI

1. Zastosowane metody statystyki danych wektorowych pozwoliły na określenie typu rozkładu przekrojów porów ze względu na ich ukierunkowanie.
2. Przeprowadzone pomiary wykazały, że stosowane zabiegi agrotechniczne prowadziły do zhomogenizowania materiału glebowego, o czym świadczyła na ogół przypadkowa orientacja przekrojów porów.
3. Badana gleba w większości przypadków charakteryzowała się izotropowym rozłożeniem porów. Zaobserwowana anizotropia była przede wszystkim skutkiem ugniecenia i działania intensywnych lub długotrwałych opadów deszczu.

#### PIŚMIENNICTWO

- Baas J.H. 2000. EZ-ROSE: a computer program for equal-area circular histograms and statistical analysis of two-dimensional vectorial data. *Comput. Geosci.* 26, 153–166.

- Batschelet E. 1981. *Circular statistics in Biology*. Academic Press, London, 371.
- Capaccioni B., Valentini L., Rocchi M.B.L., Nappi G., Sarocchi D. 1997. Image analysis and circular statistics for shape-fabric analysis: applications to lithified ignimbrites. *Bull. Volcanol.* 58, 501–514.
- Cladouhos T.T. 1999. Shape preferred orientations of survivor grains in fault gouge. *J. Str. Geol.* 21, 419–436.
- Kołodziej B., Bryk M., Słowińska-Jurkiewicz A. 2004. Wykorzystanie wskaźnika wydłużenia porów do oceny struktury gleby płowej poddanej zróżnicowanym zabiegom agrotechnicznym. *Annales UMCS, Sec. E*, 59, 1, 337–343.
- Mann K.A., Gupta S., Race A., Miller M.A., Cleary R.J. 2003. Application of circular statistics in the study of crack distribution around cemented femoral components. *J. Biomech.* 36, 1231–1234.
- Mardia K.V. 1972. *Statistics of Directional Data*. Academic Press, London, 357.
- Murphy C.P., Bullock P., Biswell K.J. 1977. The measurement and characterisation of voids in soil thin sections by image analysis. Part II. Applications. *J. Soil Sci.* 28, 509–518.
- Słowińska-Jurkiewicz A., Domżał H. 1991. The structure of 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 płowej – ocena morfometryczna makroporów. *Annales UMCS, Sec. E*, 59, 1, 329–335.
- Vogel H.J., Weller U., Babel U. 1993. Estimating orientation and width of channels and cracks at polished blocks – a stereological approach. *Geoderma* 56, 301–316.
- Watson G.S. 1966. The statistics of orientation data. *J. Geolog.* 74, 786–797.
- Wojnar L., Kurzydłowski K.J., Szala J. 2002. *Praktyka analizy obrazu*. Polskie Towarzystwo Stereologiczne, Kraków, 454.