Acta Agrophysica, 2001, 57, 147-158

OCENA ZMIENNOŚCI WYBRANYCH CECH GLEBY PRZY RÓŻNYM UKŁADZIE I LICZBIE PRÓBKOWAŃ*

B. Usowicz

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail: Usowicz@demeter.ipan.lublin.pl

S t r e s z c z e n i e. Celem pracy było rozpoznanie zmienności wilgotności, gęstości, zawartości powietrza w glebie, pojemności cieplnej, przewodnictwa i dyfuzyjności cieplnej gleby oraz zbadanie cech ich rozkładu i sprawdzenie, czy różne rozmieszczenie punktów pomiarowych na obiekcie badań i ich różna liczba znajduje odzwierciedlenie przy charakterystyce danej cechy gleby. Obiekt badań stanowiło pole kukurydzy, na którym przeprowadzono pomiary wilgotności i gęstości powierzchniowej (16 cm) warstwy gleby. Właściwości cieplne gleby obliczono wykorzystując statystyczno-fizyczny model przewodności cieplnej i znane zależności matematyczne na pojemność i dyfuzyjność cieplną gleby. Dane otrzymane z osiemnastu różnych siatek pomiarowych analizowano stosując metody statystyczne. Największą zmienność zaobserwowano dla przewodności cieplnej gleby niezależnie od przyjętej liczebności i rozmieszczenia punktów pomiarowych na obiekcie badań. Nieco mniejszą zmiennością charakteryzowała się dyfuzyjność cieplna i wilgotność gleby. Najmniejszą zaś zmienność zaobserwowano dla gęstości gleby. Nieznacznie większą zmiennością od gęstości cechowała się pojemność cieplna i zawartość powietrza w glebie. Wyznaczone parametry statystyczne dla różnych układów i różnej liczby punktów pomiarowych wskazują, że do oceny zmienności badanej cechy gleby wystarczy, co najmniej dwadzieścia danych pomiarowych.

S ł o w a k l u c z o w e: wilgotność, gęstość, właściwości cieplne, zmienność, gleba.

WSTĘP

Badanie zmienności przestrzennej właściwości fizycznych ośrodków porowatych jest w centrum zainteresowania wielu dziedzin nauki, w tym i agrofizyki [1,3,8,11,16,19,21]. Poznanie tej zmienności ma podstawowe znaczenie w określeniu rzeczywistych warunków wzrostu, rozwoju i plonowania roślin oraz

*Praca wykonana w ramach projektu badawczego Nr 6 P06H 029 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2001-2003.

w zrozumieniu jej wpływu na klimat Ziemi [2,6,7,12,13]. Poznanie to z reguły wiąże się z obserwacjami, jakie prowadzimy na badanych obiektach. Jest ono również niezbędnym elementem w modelowaniu wymiany masy i energii w przypowierzchniowej warstwie atmosfery i gleby, a także może stanowić podstawę doboru zabiegów uprawowych. Poza tym, w badaniach zmienności cech gleby, dąży się do znalezienia możliwie najlepiej charakteryzujących ją parametrów oraz opracowania optymalnego sposobu przeprowadzania obliczeń i doświadczeń (próbkowań), tak żeby rozpoznać wszystkie istotne czynniki, które decydują o tej zmienności, wykonując przy tym możliwie najmniejszą liczbę obserwacji (doświadczeń) [8,22].

Celem pracy było zbadanie cech rozkładu wybranych właściwości fizycznych gleby oraz sprawdzenie, czy układ i różna liczba próbkowań znajduje odzwierciedlenie przy charakterystyce zmienności danej cechy.

OBIEKT I METODYKA BADAŃ

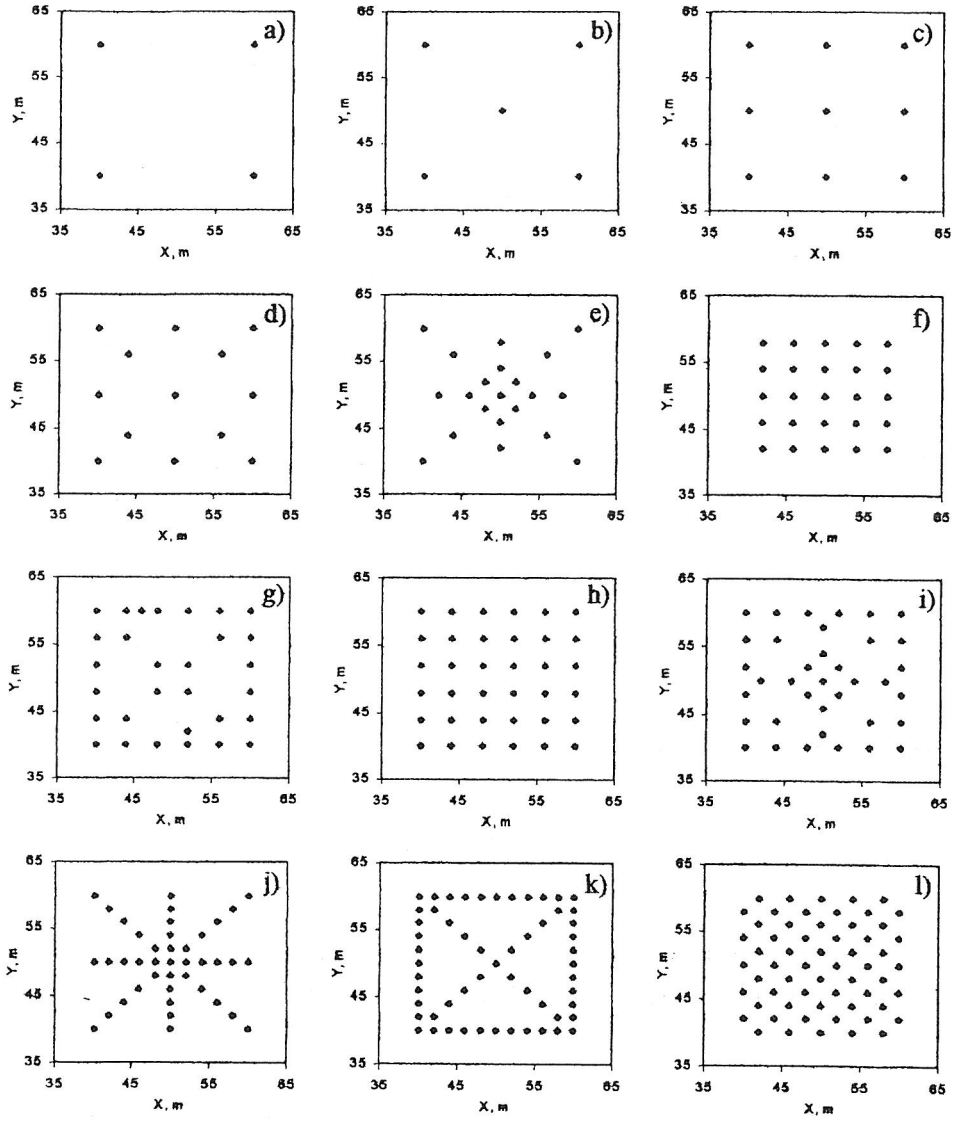
Podstawowe dane, wykorzystane w pracy, pochodziły z pomiarów składu granulometrycznego, materii organicznej, wilgotności i gęstości w powierzchniowej (16 cm) warstwie gleby na polu z uprawą kukurydzy w Felinie k/Lublina. W obrębie tego pola wyodrębniono obszar 20x20 m stanowiący obiekt omawianych badań (Rys. 1). Znajdował się on 40 m od granic pola, co zapewniało ciągłość warunków glebowych i roślinnych dla całego obszaru (w tym skraju) sieci punktów pomiarowych [8]. W dniu pomiarów 9 lipca 1993 kukurydza rosnąca w rzędach, co 0,7-0,9 m, miała wysokość 1,7 m (średnio). Gleba płowa wytworzona z lessu (Orthic Luvisol) była typową glebą mineralną, o zawartości materii organicznej 1,5%.

Wilgotność gleby mierzona była za pomocą miernika TDR produkcji Easy Test Ltd., Lublin, Polska [10]. Równocześnie, w tych samych punktach pobierane były próbki gleby do cylinderków o objętości 100 cm^3 i wysokości 5 cm, celem określenia gęstości i wilgotności gleby metodą grawimetryczną. Ten drugi sposób pomiaru posłużył do weryfikacji danych uzyskanych metodą reflektometryczną (TDR) [17].

Objętościową pojemność cieplną gleby - C_V ($J\ m^{-3}\ K^{-1}$) obliczano ze wzoru [20]:

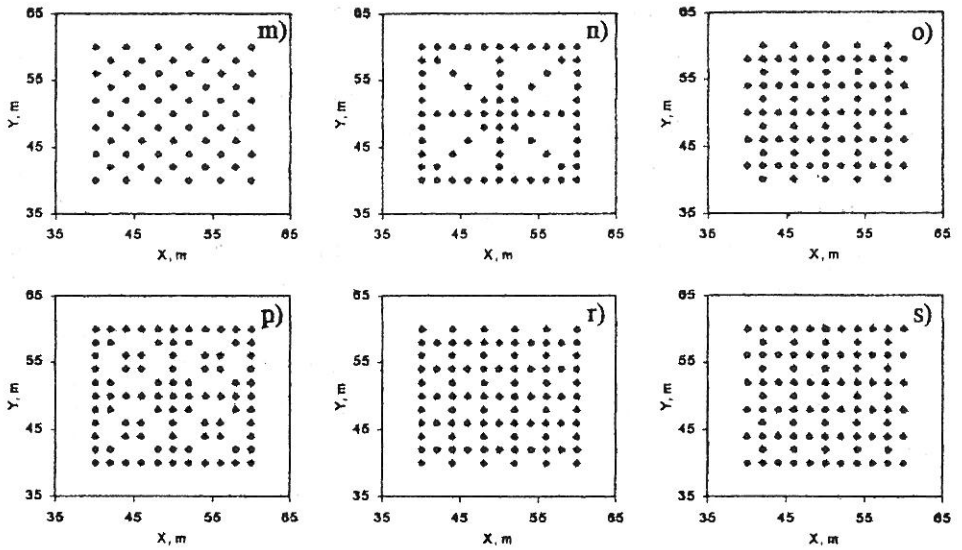
$$C_V = (2.0 f_m + 2{,}51 f_o + 4{,}19 f_w)10^6 \qquad (1)$$

gdzie: f_m, f_o, f_w ($m^3\ m^{-3}$) - zawartość części mineralnej, organicznej i wody w jednostce objętości gleby.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na obiekcie badań. Liczba punktów: a) - 4, b) - 5, c) - 9, d) - 13, e) - 21, f) - 25, g) - 28, h) - 36, i) - 37, j) - 41, k) - 57 i l) - 60.

Fig. 2. The location of measurement points on the study object. Number of points: a) - 4, b) - 5, c) - 9, d) - 13, e) - 21, f) - 25, g) - 28, h) - 36, i) - 37, j) - 41, k) - 57 and l) - 60.



Kontynuacja **Rys. 1.** Rozmieszczenie punktów pomiarowych na obiekcie badań. Liczba punktów: m) - 61, n) - 73, o) - 85, p) - 89, r) - 91 i s) - 91.
Continue of **Fig. 1.** The location of measurement points on the study object. Number of points: m) - 61, n) - 73, o) - 85, p) - 89, r) - 91 and s) - 91.

Wartości współczynnika przewodnictwa cieplnego gleby (przewodności) - λ(W m^{-1} K^{-1}) obliczano stosując model statystyczno-fizyczny opisany równaniem [14,15]:

$$\lambda = \frac{4\pi}{u \sum_{j=1}^{L} \frac{P(x_{1j},\ldots,x_{kj})}{x_{1j}\lambda_1(T)r_1+\ldots+x_{kj}\lambda_k(T)r_k}} \tag{2}$$

gdzie: u - liczba połączeń równoległych cząstek podłoża traktowanych jako oporniki cieplne, L jest liczbą wszystkich możliwych kombinacji ułożenia cząstek, x_1, x_2 ,..., x_k - liczba cząstek poszczególnych składników ośrodka o przewodnictwie cieplnym l_1, l_2 ,..., l_k (T - temperatura) i promieniach cząsteczek r_1, r_2 ,..., r_k, przy czym: $\sum_{i=1}^{k} x_{ij} = u$, $j=1,2,\ldots,L$, $P(x_{ij})$ - prawdopodobieństwo zaistnienia danej konfiguracji cząstek. Spełniony musi być też warunek: $\sum_{j=1}^{L} P(x = x_j) = 1$. .

$$P(x_{1j},\ldots,x_{kj}) = \frac{u!}{x_{1j}!\ldots x_{kj}!} f_1^{x_{1j}} \ldots f_k^{x_{kj}} \tag{3}$$

gdzie: $P(x_{ij})$ - podaje prawdopodobieństwo tego, że w u niezależnych próbach uzyskamy dokładnie x_{ij} wyników typu j, jeśli prawdopodobieństwo wyniku i w pojedynczej próbie wynosi f_i, $i = 1, 2, \ldots, k$. W naszym przypadku $f_1, f_2, \ldots, f_k$ (m^3 m^{-3}), są to zawartości poszczególnych minerałów, materii organicznej, wody, powietrza w jednostce objętości i są one traktowane jako prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu i w pojedynczej próbie.

Dyfuzyjność cieplna gleby α (m^2 s^{-1}) wyliczana była ze stosunku przewodnictwa cieplnego i objętościowej pojemności cieplnej:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_v}. \tag{4}$$

Dane pomiarowe użyte do analiz pochodziły z punktów pomiarowych ulokowanych w węzłach siatek pomiarowych (Rys. 1), w których mierzono określone wielkości fizyczne gleby oraz pobierano próbki gleby do dalszych analiz. Wyjściowym układem pomiarowym, który wykorzystano przy tworzeniu wszystkich pozostałych układów, jakie rozważano w tej pracy, był układ równomiernie rozmieszczonych punktów pomiarowych w sieci kwadratów o bokach 2 x 2 m, w sumie 121 punktów pomiarowych. Wybrano tą sieć punktów biorąc pod uwagę rzędową uprawę roślin na polu, unikanie niszczenia (wygniatania) roślin przy pobieraniu próbek, a także ze względu na łatwość wyznaczania odległości i kątów między punktami pomiarowymi. Przyjęcie różnej wielkość kwadratów i lokalizacji punktów (w narożnikach, pośrodku boków i pola kwadratów) pozwoliło na utworzenie siatek zawierających: 4, 5, 9, 13, 21, 25, 28, 36, 37, 41, 57, 60, 61, 73, 85, 89, 91p, 91r punktów pomiarowych (Rys. 1a-s). Dane pochodzące z tych osiemnastu siatek stanowiły kolejno materiał wyjściowy do obliczeń i analiz, umożliwiając porównanie wyników zgodnie z przyjętymi założeniami (pod kątem wpływu liczebności oraz różnego rozmieszczenia punktów pomiarowych). Dla każdego układu próbkowań wyznaczono wartość średnią, standardowe odchylenie, współczynnik zmienności (CV), medianę, wartość maksymalną i minimalną oraz wartości charakteryzujące rozkład danej cechy t.j. skośność i kurtozę [5].

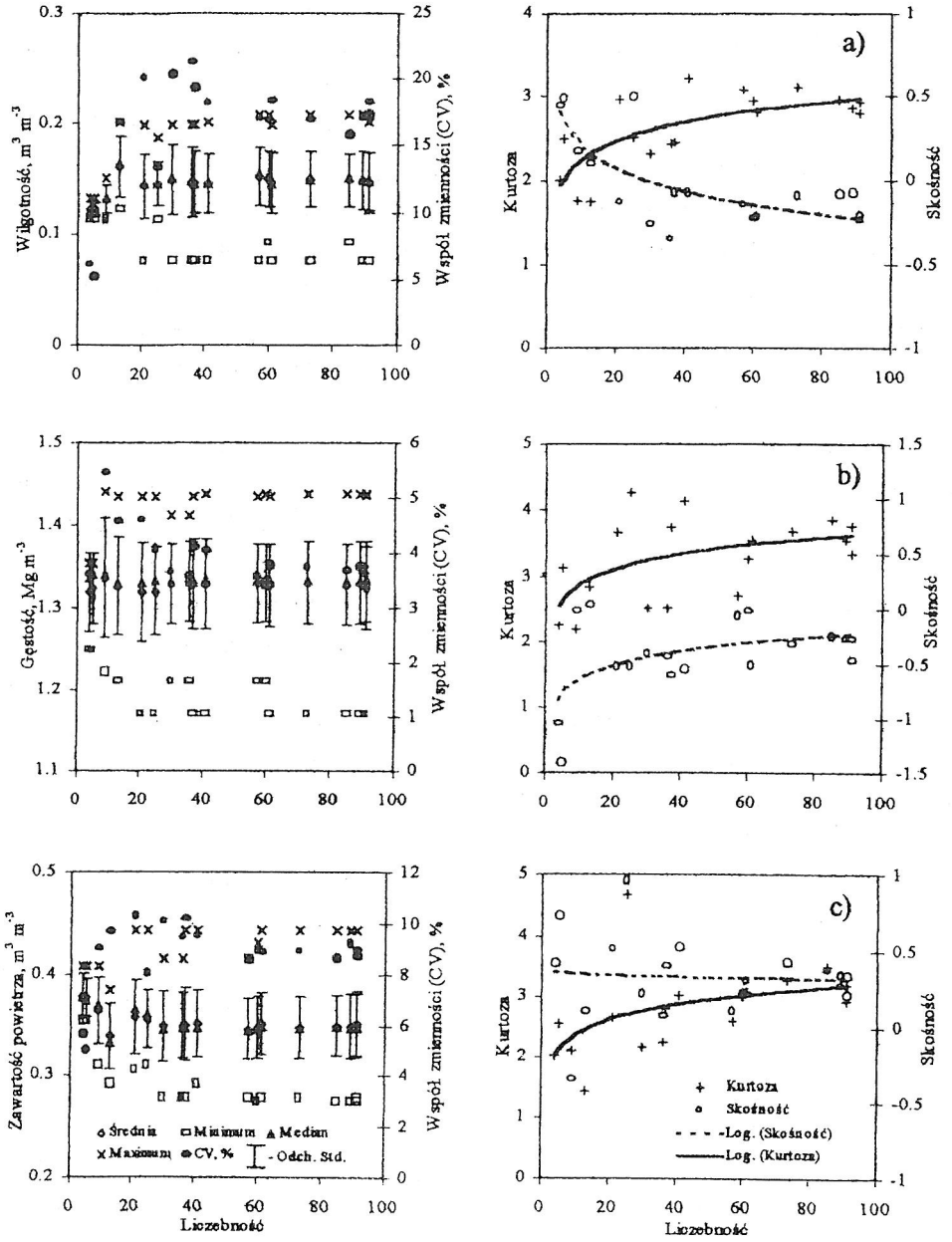
Dane o składzie mineralogicznym gleby zostały ustalone w przybliżeniu z rozkładu granulometrycznego. Z porównań wyników składów mineralogicznych i

rozkładów granulometrycznych gleb tego samego typu, przedstawionych w pracach Czudnowskiego i in. [4], Uziaka i in [18], Wierzchosia [23] i Lipca i in [9] wynika, że występuje dobra zgodność poszczególnych frakcji rozkładu granulometrycznego ze składem mineralogicznym. We frakcjach od 0,02 do 1 mm występuje głównie kwarc, we frakcjach poniżej 0,02 mm przeważają inne minerały. Opierając się na powyższym oszacowano zawartość kwarcu w glebie na 68% (v/v), zaś innych minerałów było 32% (v/v). Gęstość fazy stałej gleby wynosiła 2,61 Mg m^{-3}.

WYNIKI

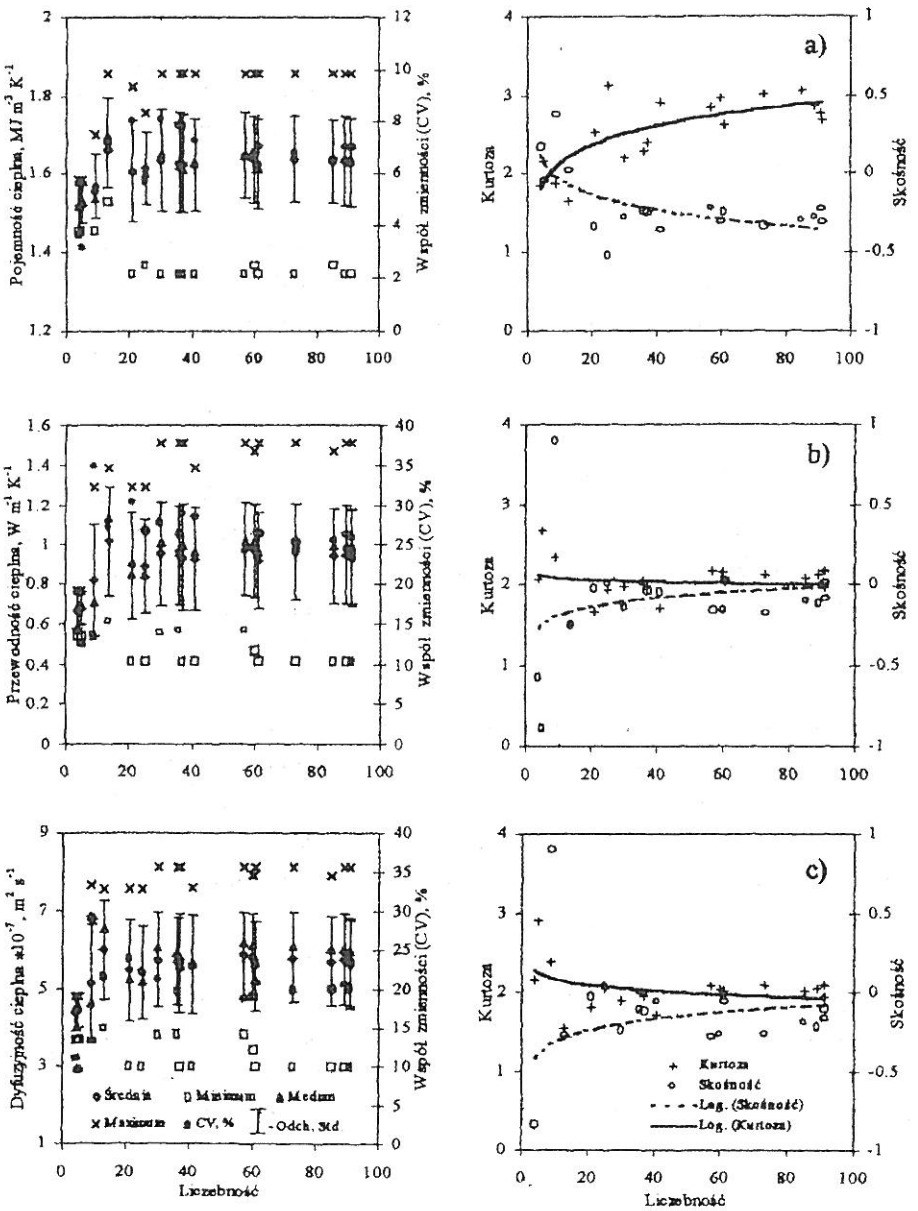
Zróżnicowanie wartości rozpatrywanych wielkości i właściwości fizycznych gleby na rozpatrywanym obiekcie było znaczne (Rys 2 i 3). Uwidacznia się wpływ liczebności oraz różnego rozmieszczenia punktów pomiarowych, głównie przy mniejszej liczebności danych. Zróżnicowanie wartości: wilgotności gleby w siatce 121- punktowej wynosiło od 0,077 do 0,207 m^3 m^{-3}, a w siatce 4 punktowej od 0,115 do 0,133 m^3 m; gęstości gleby od 1,17 do 1,438 Mg m^{-3} w 121 - punktowej i od 1,249 do 1,354 Mg m^{-3} w 4 - punktowej; zawartości powietrza od 0,276 do 0,444 m^3 m^{-3} i od 0,356 do 0,408 m^3 m^{-3}; pojemności cieplnej od 1,346 do 1,859 MJ m^3 K^{-1} i od 1,455 do 1.585 MJ m^3 K^{-1}; przewodności cieplnej od 0,413 do 1,51 Wm^{-1} K^{-1} i od 0,538 do 0,762 Wm^{-1} K^{-1} i dyfuzyjności cieplnej od $3{,}022 \cdot 10^{-7}$ do $8{,}125 \cdot 10^{-7}$ m^2 s^{-1} w siatce 121 - punktowej i od $3{,}695 \cdot 10^{-7}$ do $4{,}81 \cdot 10^{-7}$ m^2 s^{-1} w siatce 4 - punktowej. W znaczącej mierze to stan zagęszczenia gleby, stan rozwoju rośliny i warunki meteorologiczne decydowały o zróżnicowaniu tych wartości na badanym obiekcie. Należy też podkreślić, że zróżnicowanie to, w pewnym stopniu, wiązało się z losowym charakterem wyboru początkowego miejsca pobierania próby, ustalonymi odległościami między punktami pomiarowymi, mniej lub bardziej równomiernym siewem kukurydzy i związanymi z nim i z innymi uprawami przejazdami maszyn rolniczych (miejscem i liczebnością przejazdów).

Biorąc pod uwagę, że wartość średnia jest szczególnie istotną miarą tendencji centralnej rozkładu danej zmiennej oraz że im większa jest liczebność próby tym bardziej niezawodna jest średnia, jak i analizując wartości średnie badanych cech gleby dla różnych układów punktów i ich liczebności (Rys. 2 i 3) można stwierdzić, że średnie są już w miarę ustalone przy liczebności powyżej 20 próbek. Poniżej tej liczebności próbek średnie zmieniały się w dość istotny sposób. Ponadto, analizując przestrzenne rozmieszczenie punktów pomiarowych można zauważyć, że nie miało już ono większego wpływ na średnią przy



Rys. 2. Parametry statystyczne w zależności od liczebności punktów pomiarowych: a) wilgotność gleby, b) gęstość gleby, c) zawartość powietrza w glebie.

Fig. 2. Statistical parameters for different measurement points: a) water content, b) bulk density, and c) air content.



Rys. 3. Parametry statystyczne w zależności od liczebności punktów pomiarowych: a) pojemność cieplna, b) przewodność cieplna, c) dyfuzyjność cieplna gleby.

Fig. 3. Statistical parameters for different measurement points: a) heat capacity, b) thermal conductivity, and c) thermal diffusivity of soil.

liczebność powyżej 20 punktów. Niewiele też różniły się między sobą średnie i mediany. Z kolei wiadomo, że wraz ze wzrostem wariancji danych, średnia staje się mniej pewna. Wyznaczone odchylenia standardowe nie wskazują na istotne wzrosty wariancji wraz ze zmianą rozpatrywanego układu punktów, tym samym, można uważać, że średnie te są reprezentatywne dla danego obiektu.

Obserwowano znaczące zróżnicowanie odchyleń standardowych i współczynników zmienności (CV) badanych cech gleby głównie przy liczebnościach poniżej 20 punktów pomiarowych. Powyżej tej liczby punktów rozpatrywane parametry statystyczne nie różniły się już znacząco. Te ostatnie wartości rozrzutu można przyjąć za wystarczające do opisu rzeczywistej zmienność badanych cech gleby dla danego obiektu. Największą zmiennością spośród rozpatrywanych cech fizycznych gleby charakteryzowała się przewodność cieplna (CV około 26% w siatce 121 - punktowej), najmniejszą zaś gęstość gleby (CV około 3,6% w siatce 121 - punktowej). Wilgotność gleby znajdowała się na trzeciej pozycji (CV około 17,6% w siatce 121 - punktowej) za przewodnictwem i dyfuzyjnością cieplną gleby.

Skośność, która charakteryzuje stopień asymetrii rozkładu wokół jego średniej, w przypadku rozpatrywanych zmiennych przy zmieniających się liczebnościach i układach punktów pomiarowych kształtowała się dość odmiennie (Rys. 2a,b,c i 3a,b,c), wpasowano funkcje logarytmiczne do obliczonych wartości skośności celem zobrazowania charakteru zmian skośności wraz ze zmianą liczebności danych). W połowie rozpatrywanych przypadków skośność wykazywała tendencję malejącą wraz ze wzrostem liczebności, w drugiej zaś rosnącą. Tendencje malejące obserwowano dla wilgotności, zawartości powietrza i pojemności cieplnej, rosnącą zaś dla gęstości, przewodności i dyfuzyjności cieplnej gleby. Wyraźne przejście ze skośności dodatniej do ujemnej ze wzrostem liczebności danych obserwowano tylko dla wilgotności i pojemności cieplnej. W pozostałych przypadkach skośność zmieniała się ze wzrostem liczebności, ale pozostawała w obrębie tego samego kierunku zmian (Rys. 2b,c i 3b,c).

Podobnie jak wcześniej, we wszystkich zmiennych, skośność ustala się na określonym poziomie powyżej 20 danych pomiarowych.

Kurtoza, która charakteryzuje względną szczytowość lub płaskość rozkładu w porównaniu z rozkładem normalnym, dla badanych zmiennych wykazywała, większości przypadków, tendencje wzrostową wraz ze wzrostem liczebności danych, tylko dla przewodności i dyfuzyjności zaobserwowano lekką tendencję spadkową (Rys. 2a,b,c i 3a,b,c). Stosunkowo niewielką wysmukłość rozkładu obserwowano dla gęstości gleby (Rys. 2b) oraz nieznaczną płaskość rozkładu w

przypadku przewodności i dyfuzyjności cieplnej gleby (Rys. 3b,c). Pozostałe zmienne miały kurtozę zbliżoną do rozkładu normalnego (Rys. 2a,c i3a).

WNIOSKI

Podjęta próba oceny zmienności wybranych wielkości i właściwości fizycznych gleby w zależności od liczebności punktów pomiarowych i ich przestrzennego rozkładu na obiekcie badań (gleba wytworzona z lessu z uprawą kukurydzy) pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Największą zmienność zaobserwowano dla przewodności cieplnej gleby niezależnie od przyjętej liczebności i rozmieszczenia punktów pomiarowych na obiekcie badań, nieco mniejszą zmiennością charakteryzowała się dyfuzyjność cieplna i wilgotność gleby. Najmniejszą zmienność zaobserwowano dla gęstości gleby. Nieznacznie większą zmiennością od gęstości cechowała się pojemność cieplna i zawartość powietrza w glebie.

2. Biorąc pod uwagę przeprowadzone analizy statystyczne i uwzględniając fakt, że wybrane siatki pomiarowe były w miarę równomiernie rozłożone na obiekcie badań oraz uwzględniając jednolitość gleby pod względem granulometrycznym, jak i mineralogicznym stwierdzono, że do oceny zmienności badanej cechy rodzaju typu gleby wystarczy co najmniej 20 danych pomiarowych.

PIŚMIENNICTWO

1. **Baranowski P., Kossowski J., Usowicz B.**: Spatial variability of soil water content in cultivated fields. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 405, 919, 1994.
2. **Bednarek H., Kołodziej J., Liniewicz K.**: Wybrane cechy intercepcji opadów atmosferycznych w łanach niektórych roślin uprawnych. Acta Agrophysica, 34, 1928, 2000.
3. **Brus D.J.**: Incorporating models of spatial variation in sampling strategies for soil. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 211, 1993.
4. **Czudnowski A.F., Miczurin B.N., Mielnikowa M.K., Moszkow B.S., Pojasow N.P., Wierszynin.W. P.**: Podstawy Agrofizyki /tłum. z ros./ PWRiL Warszawa, 1967.
5. **Englund E., Sparks A.**: Geostatistical Environmental Assessment Software. Environmental Monitoring Systems Laboratory Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, NV 89193-3478, 1988.
6. **Kędziora A., Olejnik J.**: Heat balance structure in agroecosystems. In: L. Ryszkowski, N.R. French, A. Kędziora (Eds) Dynamics of an agricultural landscape. PWRiL, Poznań, 45-64, 1996.
7. **Kołodziej J., Liniewicz K., Orzeł W.**: Investigations into the relationship between the amount of precipitation, the precipitation interception and the moisture of soil under cultivated plants. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 220, 191-202, 1979.
8. **Kossowski J., Usowicz B.**: Charakterystyka pola wilgotności gleby przy różnej liczbie próbkowań. Acta Agrophysica, 38, 127-137, 2000.

9. **Lipiec J., Hakansson I., Tarkiewicz S., Kossowski J.:** Soil physical properties and growth of spring barley related to the degree of compactness of two soils. Soil Tillage Res., 19, 307-317, 1991.
10. **Malicki M.:** A reflectometric (TDR) meter of moisture content in soils and other capillary-porous materials. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 388, 107-114, 1990.
11. **McBratney A.B., Webster R.:** How many observations are needed for regional estimation of soil properties. Soil Sci., 135(3), 177-183, 1983.
12. **Matejka F., Hurtalova T.:** Variabilita energetickej bilancie ozimnej psenice a cukrovej repy. Zbornik Vedeckych Prac Komplexnej Polnohospodarskej Vyskumnej Stanice v Michalovciach, 9, 108-127, 1988.
13. **Pasierski Z.:** Dynamika przychodu wody do powierzchni gleby w łanach wybranych roślin uprawnych, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 288, 85-101, 1984.
14. **Usowicz B.:** Statistical-physical model of thermal conductivity in soil. Polish J. Soil Sci., XXV/1, 27-34, 1992.
15. **Usowicz B.:** Soil thermal properties software package. Copyright: Institute of Agrophysics PAS, Lublin, 1992.
16. **Usowicz B., Kossowski J., Baranowski P.:** Spatial variability of soil thermal properties in cultivated fields. Soil Tillage Res., 39, 85-100, 1996.
17. **Usowicz B., Kossowski J.:** Distribution of soil water content in cultivated fields based on measurement by gravimetric and reflectometric methods. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 436, 157-165, 1996.
18. **Uziak S., Bogda A., Chodak T., Cieśla W., Komornicki T., Stach L., Wilgat M.:** Clay minerals of selected loess soils. Roczn. Glebozn., 3, 59-77, 1987.
19. **Verhoef A., Hurk van den B.J.J.M., Jacobs A.F.G., Heusinkveld B.G.:** Thermal soil properties for vineyard (EFEDA-I) and savanna (HAPEX-Sahel) sites. Agric. For. Meteorol., 78, 1-18, 1996.
20. **Vries de. D.A.:** Thermal properties of soils. In: W.R. van Wijk (ed.). Physics of plant environment. North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 210-235, 1963.
21. **Walczak R., Usowicz B.:** Variability of moisture, temperature and thermal properties in bare soil and in crop field. Int. Agrophysics, 8, 161-168, 1994.
22. **Webster R., Burgess T.M.:** Sampling and bulking strategies for estimating soil properties in small regions. J. Soil Sci., 35, 127-140, 1984.
23. **Wierzchoś J.:** Analiza fizykochemicznych warunków tworzenia się i trwałości struktury glebowej. Praca doktorska. IUNG Puławy, 1989.

EVALUATION OF VARIABILITY OF SOIL PHYSICAL PROPERTIES WITH VARIOUS NUMBER AND LOCATION OF MEASUREMENT POINTS

B. Usowicz

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27, Poland

S u m m a r y. The aim of the paper was to recognise soil moisture, bulk density and soil thermal properties variability on field with different sampling number and its location. Measurements of topsoil (16 cm) moisture and bulk density were made on the maize field. The data obtained from eighteen sets with various number and location of measurement points were analysed by means of statistical method. The highest variability was observed for thermal conductivity of soil. Variability

of thermal diffusivity and water content on a site with maize was little lower than variability of thermal conductivity. Lowest variability on the study field was observed for bulk density of soil. Heat capacity and air content were characterised by little higher variability than bulk density. For sets contained different number and location of sampling, statistical analyses, showed that representative description of loess soil physical property variability should be based on at least 20 measurement points.

K e y w o r d s: soil moisture, bulk density, thermal properties, variability, loess soil.