

CHARAKTERYSTYKA POŁA WILGOTNOŚCI GLEBY PRZY RÓŻNEJ LICZBIE PRÓBKOWAŃ

J. Kossowski, B. Usowicz

Institut Agrofizyki PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail: Usowicz@demeter.ipan.lublin.pl, Jkoss@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie: Celem pracy było rozpoznanie zmienności wilgotności gleby, zbadanie cech jej rozkładu w przestrzeni oraz sprawdzenie, czy różna liczba próbkowań znajduje odzwierciedlenie przy charakterystyce pola wilgotności gleby. Obiekt badań stanowiło pole kukurydzy, na którym przeprowadzono pomiary wilgotności powierzchniowej (1–6 cm) warstwy gleby. Dane otrzymane z ośmiu różnych siatek pomiarowych analizowano stosując metody statystyczne i geostatystyczne. Spośród parametrów statystycznych, wartości średnie wilgotności gleby były mało czule na zmiany liczby i układu próbkowania, natomiast parametry opisujące rozrzut reagowały w sposób bardziej znaczący. Wilgotności gleby wykazywała przestrzenną zależność, przy czym jej zakres związany był z liczbą próbkowań (powyżej 36 punktów zmieniał się niewiele i wynosił 4–6 m). Wyznaczone dla różnych układów i liczby punktów pomiarowych semiwariogramy kierunkowe dały zróżnicowany obraz anizotropii wilgotności gleby na rozpatrywanym obiekcie.

Słowa kluczowe: wilgotność gleby, zmienność przestrzenna, strategia próbkowania

WSTĘP

Poznanie zmienności przestrzennej wielkości i właściwości fizycznych gleby pozwala na określenie rzeczywistych warunków rozwoju i plonowania roślin, ma podstawowe znaczenie w modelowaniu wymiany masy i energii w przypowierzchniowej warstwie atmosfery i gleby, a także może stanowić podstawę doboru zabiegów uprawowych. W badaniach mających na celu poznanie tej zmienności dąży się do znalezienia możliwie najlepiej charakteryzujących ją parametrów, a także do optymalizacji pomiarów pod kątem liczebności próbkowań i ich lokalizacji w obrębie rozpatrywanego obiektu [2, 6, 12]. Przyjęcie określonej strategii próbkowania powinno być wynikiem rozpoznania zmienności danego

parametru i możliwym do zaakceptowania błędem uzyskiwanym w badaniach, jak również analizy czasochłonności i kosztów prowadzenia pomiarów.

Wilgotność gleby jest głównym czynnikiem determinującym wzrost, rozwój i plonowanie roślin. Jej zróżnicowanie na polach uprawnych związane jest z warunkami pogodowymi (głównie wystąpieniem i intensywnością opadów) oraz rodzajem i stadiem rozwojowym roślin [1, 4, 8, 10]. Rodzaj uprawianych roślin, sposób i czas obróbki gleby i rozmieszczenie roślin na powierzchni ma określone znaczenie w kształtowaniu między innymi mikroreliefu, właściwości wodnych gleby oraz ewapotranspiracji, a w konsekwencji – ich niejednorodności na obszarze kompleksu pól uprawnych, jak i w obrębie danego pola. Z powyższych względów, w badaniach zmienności przestrzennej wilgotności gleby strona metodyczna (głównie liczebność, ale również układ przestrzenny próbek) dostosowana być powinna tak do skali, jak i rodzaju obiektu.

Wstępne rozpoznanie zmienności wilgotności gleby, zbadanie cech jej rozkładu w przestrzeni oraz sprawdzenie, czy różna liczba próbek znajduje odzwierciedlenie przy charakterystyce pola wilgotności gleby – było celem przedstawionych w niniejszej pracy badań.

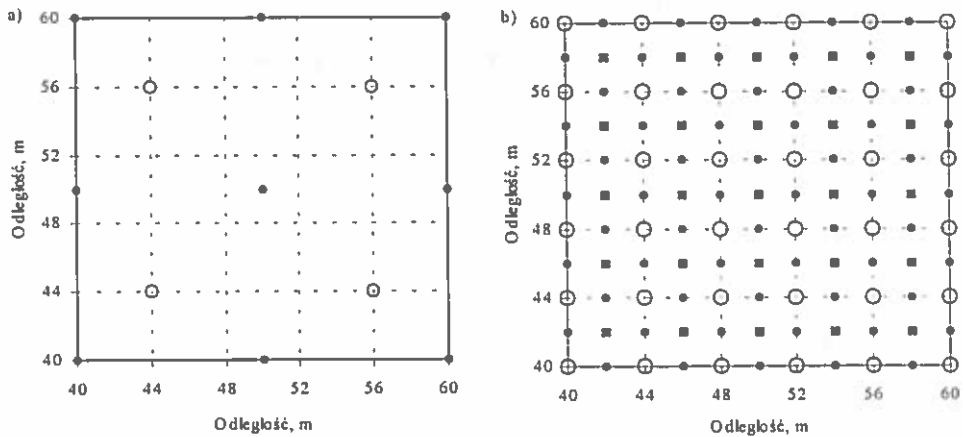
OBIEKT I METODYKA BADAŃ

W pracy wykorzystano dane z pomiarów wilgotności w powierzchniowej (1–6 cm) warstwie gleby na polu z uprawą kukurydzy w Felinie k/Lublina. W obrębie tego pola wyodrębniono obszar 20 × 20 m stanowiący obiekt omawianych badań. Znajdował się on 40 m od granic pola, co zapewniało ciągłość warunków glebowych i roślinnych dla całego obszaru (w tym skraju) sieci punktów pomiarowych. W dniu pomiarów – 15 lipca 1993 – kukurydza rosnąca w rzędach co 0,7–0,9 m, miała wysokość 1,8 m (średnio). Gleba płowa (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 [5]. Równocześnie, w tych samych punktach pobierane były próbki gleby do cylinderek o objętości 100 cm³ i wysokości 5 cm, celem określenia gęstości i wilgotności gleby metodą grawimetryczną. Ten drugi sposób pomiaru posłużył do weryfikacji danych uzyskanych metodą reflektometryczną (TDR) [8].

Ustalenie strategii próbkowania gleby na obiekcie badań było wynikiem przyjęcia następujących założeń:

- punkty pomiarowe powinny w miarę równomiernie pokrywać cały obiekt;
- przy tym samym systemie rozmieszczenia punktów (np. w węzłach sieci kwadratów), stosowany będzie różny krok próbkowania (co automatycznie spowoduje zróżnicowanie liczby próbek);
- identyczna lub zbliżona liczba próbek uzyskana będzie przy odmiennym rozmieszczeniu punktów w obrębie rozpatrywanego obiektu;
- liczba próbek powinna być na tyle duża, by dawała reprezentatywną informację o przestrzennym rozkładzie rozpatrywanego parametru (w tym przypadku wilgotności gleby).



Rys.1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych wilgotności gleby na obiekcie: a) w przypadku rozpatrywania ich układów składających się z 9 punktów (oznaczonych symbolem ●), 13 punktów (● i ○); b) z 25 punktów (■), 36 punktów (○), 60 punktów (●), 61 punktów (■ i ○), 85 punktów (■ i ●), 121 punktów (■, ● i ○).

Fig. 1. The location of measurement points of soil moisture on the object: a) in a case of set 9 points (marked by ●), 13 points (● together with ○); b) set 25 points (■), 36 points (○), 60 points (●), 61 points (■ and ○), 85 points (■ and ●), 121 points (■ and ● together with ○).

Wyjściowy układ równomiernie rozmieszczonych punktów pomiarowych jaki zastosowano w badaniach stanowiła sieć kwadratów o bokach 2×2 m. Wybrano ją 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 wiel-

kość kwadratów (10×10 , 4×4 m) i lokalizacji punktów (w narożnikach, pośrodku boków i pola kwadratów) pozwoliło na utworzenie siatek zawierających 9, 13, 25, 36, 60, 61 i 85 punktów pomiarowych (Rys. 1a, b). Trzy z nich, o 9, 36 i 121 punktach, stanowią przykład zastosowania tej samej siatki przy różnym kroku próbkowania (odpowiednio 10, 4 i 2 m). Dane pochodzące z tych ośmiu 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).

Poza wyznaczeniem podstawowych charakterystyk statystycznych dokonano analizy korelacji przestrzennej wilgotności gleby θ , wyliczając wartości semiwariogramów $\gamma(h)$ dla poszczególnych układów punktów pomiarowych na obiekcie badań według wzoru [3, 11]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} [\theta(z_i + h) - \theta(z_i)]^2$$

gdzie N_h oznacza liczbę par punktów pomiarowych odległych o wektor h ; z – współrzędne przestrzenne punktów. Do empirycznie wyznaczonych semiwariogramów dopasowywano modele matematyczne [7]:

- model liniowy

$$\gamma(h) = c_0 + wh$$

- model sferyczny

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c \cdot \left[1.5 \frac{|h|}{a} - 0.5 \left(\frac{|h|}{a} \right)^3 \right] & \text{jeśli } |h| \leq a \\ c & h > a \end{cases}$$

- model wykładniczy (eksponencjalny)

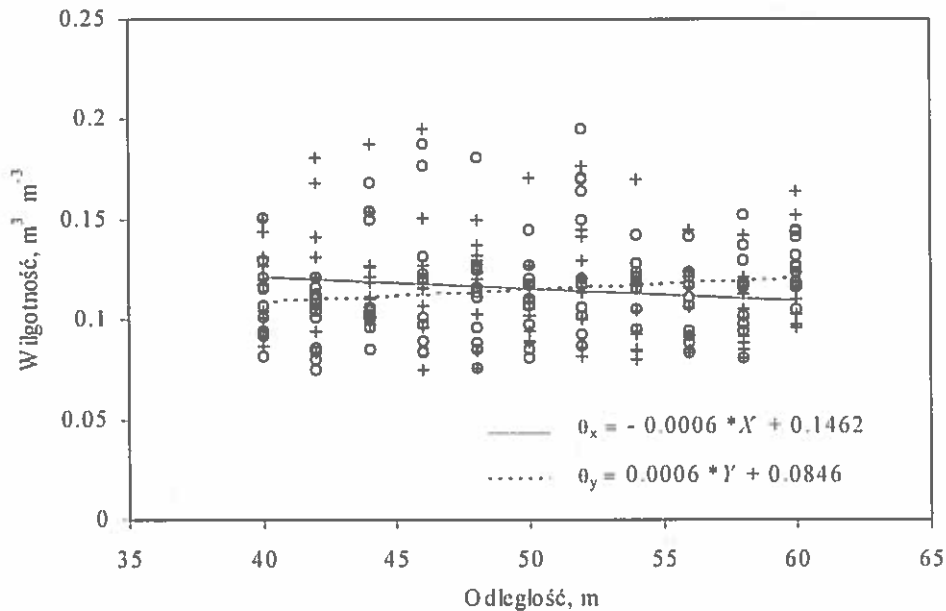
$$\gamma(h) = c_0 + c \cdot \left[1 - e^{-\frac{3|h|}{a}} \right] \quad |h| > 0$$

w których c_0 – wartość samorodka, w – współczynnik kierunkowy prostej, c – wysycenie, a – zakres autokorelacji, h – wielkość kroku próbkowania. Przy dopasowaniu modelu do empirycznych danych korzystano z metody najmniejszych kwadratów.

WYNIKI

Dane dotyczące wilgotności gleby na obiekcie badań przeanalizowano pod kątem wykrycia trendu w rozkładzie przestrzennym. Wyznaczony został trend liniowy biorąc pod uwagę dwa prostopadłe kierunki (Rys. 2). Parametry równań wskazują na znikomy trend: w jednym kierunku malejący, w drugim rosnący. Można zatem przyjąć, że rozpatrywana cecha (wilgotność gleby) spełnia warunek stacjonarności wymagany przy analizie geostatystycznej.

Zróźnicowanie wartości wilgotności gleby na rozpatrywanym obiekcie było znaczne: od 0.075 do $0.195 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. W pewnym stopniu wiązało się ono z usytuowaniem punktów pomiarowych zarówno międzyrzędziach jak i rzędach kukurydzy (przy ściśle przestrzegającym kroku próbkowania), ale także ze zróźnicowaniem zagęszczenia i reliefu gleby (lokalnym) w wyniku przejazdów maszyn rolniczych.



Rys. 2. Wartości wilgotności gleby rozpatrywane w kierunku osi X (+) i Y (o) oraz odpowiadające im linie trendu θ_x i θ_y .

Fig. 2. Water content of soil analysed in X (+) and Y (o) directions. Equation of trend θ_x and θ_y are also showed.

Przy analizie danych statystycznych uzyskanych przy różnej liczbie punktów pomiarowych (Tabela 1) można zauważyć, że wraz ze zmniejszeniem liczby punktów – generalnie rzecz biorąc – zmniejszał się przedział zanotowanych wartości wilgotności gleby, a jednocześnie zwiększał się błąd standardowy średniej. Wartości średnie – pomimo tak znacznej różnicy w liczebności próbkowań – były mało zróżnicowane, w skrajnych przypadkach różniły się tylko o 1.9% (in plus) i 7.1% (in minus) w stosunku do średniej z 121 punktów. Zwiększenie kroku próbkowania z 2 do 4 i 10 m wcale, bądź niewiele wpłynęło na średnie wartości wilgotności gleby, natomiast miało wpływ na parametry charakteryzujące ich rozrzut. Przedział wartości (rozstęp) przy kroku wynoszącym 4 m był prawie 1.4 razy, a przy kroku 10 m – 2.4 mniejszy niż przy kroku 2 m. Odchylenie standardowe rosło wraz ze wzrostem liczby próbkowań, lecz powyżej 36 punktów – wahało się wokół wartości 0.024.

Tabela 1. Parametry statystyczne wilgotności gleby otrzymane przy uwzględnieniu różnej liczby i układu punktów pomiarowych

Table 1. Statistical summary of soil moisture obtained for different number and arrangement of sampling

Parametry	Liczba punktów pomiarowych							
	9	13	25	36	60	61	85	121
Średnia (m^3m^{-3})	0.1156	0.1156	0.1073	0.1174	0.1177	0.1133	0.1146	0.1155
Minimum (m^3m^{-3})	0.094	0.092	0.075	0.076	0.083	0.075	0.075	0.075
Maksimum (m^3m^{-3})	0.144	0.154	0.142	0.164	0.195	0.164	0.195	0.195
Std. Odch. (m^3m^{-3})	0.0159	0.0186	0.018	0.0215	0.0281	0.0206	0.0259	0.0246
Błąd. Std. (m^3m^{-3})	0.0053	0.0052	0.0036	0.0036	0.0036	0.0026	0.0028	0.0022
Wsp. Zmien. %	13.7	16.1	16.8	18.3	23.9	18.2	22.7	21.3
Asymetria	0.269	0.743	-0.250	0.184	0.702	0.170	0.528	0.918
Kurtoza	2.776	3.108	2.241	2.502	3.644	2.69	4.295	3.945

Porównanie danych uzyskanych z odmiennego układu punktów pomiarowych przy tej samej lub zbliżonej ich liczbie (siatki o 60 i 61 punktach) wskazuje, że stosunkowo niewiele, ale jednak różniły się między sobą (przedział wartości różnił się $0.023 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, średnia o ponad $0.004 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, błąd standardowy o $1.0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, współczynnik zmienności o 5.7 %). Należy podkreślić, że rozkłady wilgotności gleby (histogramy) wykazywały dodatnią asymetrię w prawie wszyst-

kich rozpatrywanych układach punktów pomiarowych, zaś ich rozmycie (kurtoza) – bądź większą smukłość (w połowie przypadków), bądź spłaszczenie w porównaniu z rozkładem normalnym (Tabela 1).

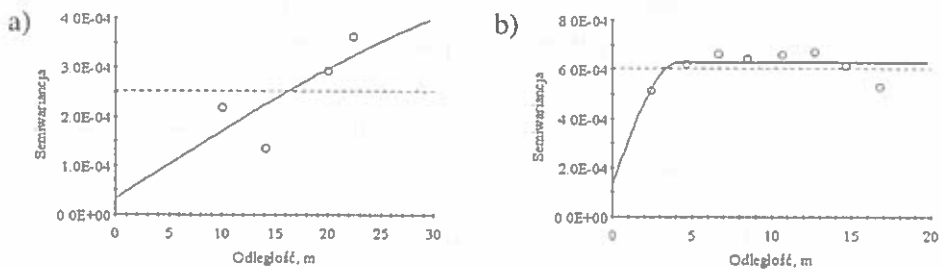
W kolejnym etapie badań, dla każdej z rozpatrywanych siatek pomiarowych obliczono semiwariogramy uwzględniając: 1) wszystkie kierunki; 2) wybrane kierunki w układzie współrzędnych [3, 7]. Ten drugi sposób pozwolił zbadać asymetrię w rozkładzie przestrzennym wilgotności gleby. Określono parametry semiwariogramów wilgotności gleby oraz dopasowano modele matematyczne do empirycznych wartości semiwariogramów uzyskanych dla danej siatki (Tabela 2). We wszystkich semiwariogramach występował efekt samorodka, co może świadczyć o tym, że przyjęte kroki próbkowania były za duże do dokładnego opisu przestrzennej zależności wilgotności gleby (w obrębie powierzchni o promieniu 2 m). Stwierdzono, że zakres autokorelacji przestrzennej malał wraz ze wzrostem liczby próbkowań, a powyżej pewnej ich liczby (około 36) zmieniał się już niewiele i wynosił 4–6 m. Modele semiwariogramów były bądź sferyczne, bądź eksponencjalne. Przykłady semiwariogramów wyznaczonych dla wszystkich i wybranych kierunków przedstawiono na Rys. 3 i 4.

Tabela 2. Modele i parametry semiwariogramów wilgotności gleby otrzymane dla różnych układów siatek pomiarowych

Table 2. Model and parameters of semivariogram of soil moisture obtained on the basis different number and set of samples

Liczba próbkowań	Model	Samorodek ($m^3 m^{-3}$) ²	Wysycenie ($m^3 m^{-3}$) ²	Zakres m
9	Sph.	3.3E-05	4.9E-04	49.1
13	Exp.	9.8E-05	3.6E-04	10.8
25	Exp.	1.0E-04	3.5E-04	9.6
36	Sph.	8.7E-05	4.7E-04	5.6
60	Sph.	1.7E-04	8.6E-04	5.3
61	Exp.	1.1E-04	4.3E-04	4.2
85	Exp.	1.6E-04	7.0E-04	4.0
121	Sph.	1.3E-04	6.3E-04	4.2

Exp. – wykładniczy, Sph. – sferyczny



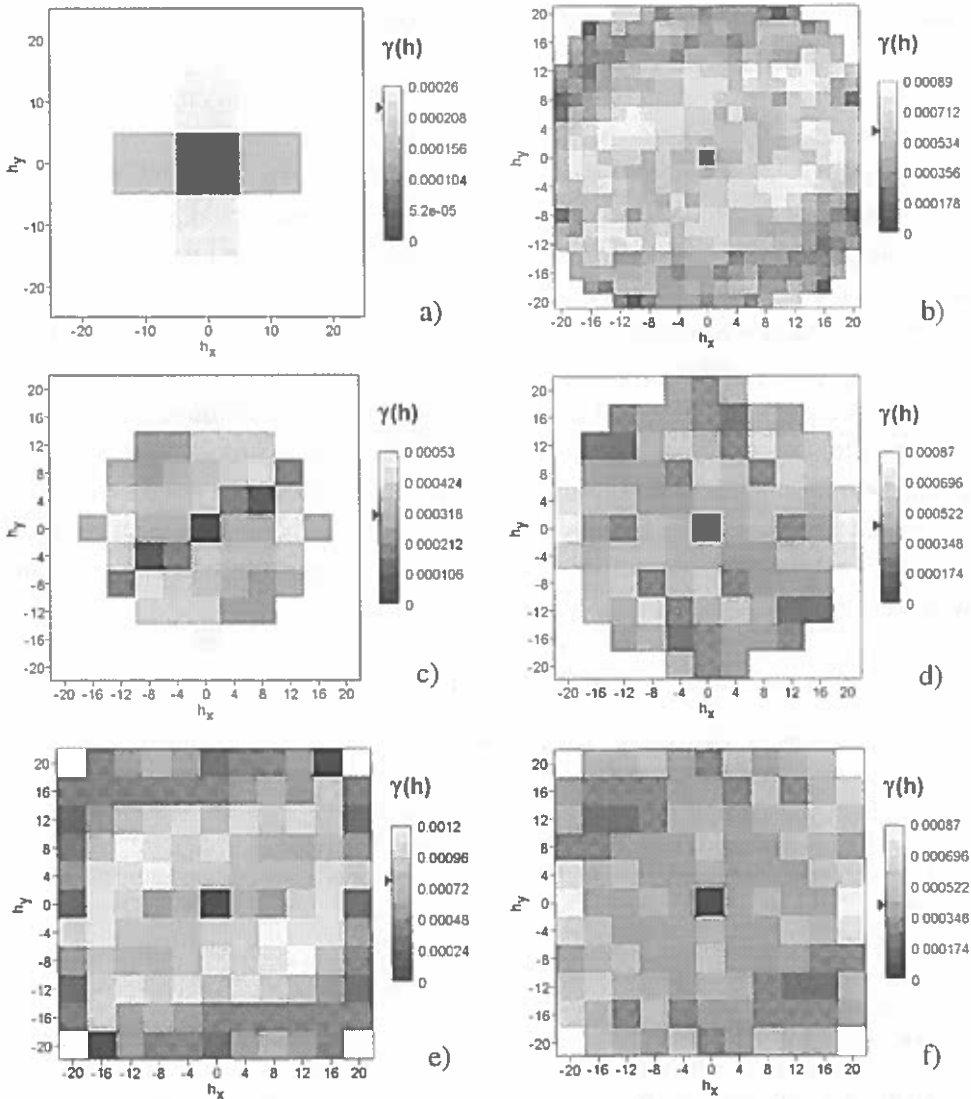
Rys. 3. Semiwariogramy wilgotności gleby dla układu: a) – 9, b) – 121 punktów pomiarowych.
 Fig. 3. Semivariograms of soil moisture for set: a) – 9, b) – 121 samples.

Semiwariogramy powierzchniowe stanowią efektywny sposób wizualizacji anizotropii w rozkładzie przestrzennym badanej cechy. W naszym przypadku pozwalają one określić preferencyjny kierunek większego lub mniejszego zróżnicowania wilgotności gleby. Przedstawione przykładowo na Rys. 4 semiwariogramy pokazują, że przy różnym układzie i liczbie punktów pomiarowych otrzymuje się zróżnicowany obraz anizotropii wilgotności gleby na rozpatrywanym obiekcie. W przypadku siatki o 9 punktach można stwierdzić, że występuje anizotropia w rozkładzie przestrzennym wilgotności, lecz określenie preferencyjnego kierunku może być obarczone dużym błędem. Przy największej liczbie próbek (121), zarówno anizotropia jak i preferencyjny kierunek zmian jest wyraźnie widoczny i łatwy do wskazania. Dla siatek o pośrednich ilościach punktów pomiarowych, otrzymane obrazy semiwariogramów dawały odmienne informacje. W przypadku siatki 25 i 60 punktów obraz rozkładu wariancji powierzchniowej był podobny do uzyskanego z siatki 121 punktów, natomiast w przypadku siatki 36 i 61 punktów – zdecydowanie odmienny (wskazywał na izotropowość rozkładu wilgotności gleby). Wynika stąd, że dobór zarówno ilości próbek jak i ich układu na badanej powierzchni miał odbicie w uzyskanych wynikach.

PODSUMOWANIE

Podjęta w pracy próba charakterystyki pola wilgotności gleby miała na celu zbadanie przestrzennej jej zmienności, znalezienie możliwie najlepiej charakteryzujących ją parametrów, a także sprawdzenie, czy różna liczba próbek i ich lokalizacja w obrębie rozpatrywanego obiektu wpływała na te parametry. Przyjęta

strategia próbkowania uwzględniała różny krok próbkowania, liczebność i układ punktów pomiarowych na określonej powierzchni.



Rys. 4. Semiwariogramy powierzchniowe wilgotności gleby dla układu: a) – 9, b) – 121, c) – 25, d) – 36, e) – 60, f) – 61 punktów pomiarowych.

Fig. 4. Semivariograms surface of soil moisture for set: a) – 9, b) – 121, c) – 25, d) – 36, e) – 60, f) – 61 samples.

Analiza wykazała, że spośród parametrów statystycznych wartości średnie wilgotności gleby były mało czułe na zmiany liczby i układu próbkowania, natomiast parametry opisujące rozrzut (rozstęp, odchylenie standardowe, błąd standardowy, współczynnik zmienności) reagowały w sposób bardziej znaczący.

Analizowana metodami geostatystycznymi zmienność wilgotności gleby wykazywała zależność przestrzenną, przy czym jej zakres malał wraz ze wzrostem liczby próbkowań, a powyżej pewnej ich liczby (około 36) zmieniał się już niewiele i wynosił 4–6 m. Kierunkowa analiza semiwariogramów dla różnych układów i liczb punktów pomiarowych dała zróżnicowany obraz anizotropii wilgotności gleby na rozpatrywanym obiekcie.

Można zatem stwierdzić, że zarówno dobór ilości próbkowań jak i ich układu na badanej powierzchni miały odbicie w parametrach charakteryzujących pole wilgotności gleby. Sugeruje to konieczność zastosowania minimum dwóch wariantów próbkowania różniących się liczbą i układem rozmieszczenia punktów pomiarowych na badanym obiekcie (w miarę równomiernym), przy czym liczba ich powinna wynosić co najmniej 40. Wynika to z wielkości błędu standardowego, jak i zakresu zmienności przestrzennej, które wykazują niewielkie zmiany wraz ze wzrostem liczby próbkowań powyżej tej liczby.

PIŚMIENNICTWO

1. **Baranowski P., Kossowski J., Usowicz B.:** Spatial variability of soil water content in cultivated fields. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.*, 405, 9–19, 1994.
2. **Brus D., J.:** Incorporating models of spatial variation in sampling strategies for soil. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 211pp, 1993.
3. **Gamma Design Software.** GS+ v. 3.06.5 beta. Geostatistics for the environmental Sciences. 1998.
4. **Kołodziej J., Liniewicz K., Orzel W.:** Investigations into the relationship between the amount of precipitation, the precipitation interception, and the moisture of the soil under cultivated plants. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.*, 220, 191–202, 1979.
5. **Malicki M.A.:** Reflectometric (TDR) meter of moisture content in soils and other capillary-porous materials. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.*, 388:107–114, 1990.
6. **McBratney A.B., Webster R.:** How many observations are needed for regional estimation of soil properties. *Soil Sci.*, 135(3), 177–183, 1983.
7. **Pannatier Y.:** Variowin 2.1. Program for geostatistical analysis. University of Lausanne, 1994.

8. Usowicz B., Kossowski J., Baranowski P.: Spatial variability of soil thermal properties in cultivated fields. *Soil Tillage Res.*, 39, 85–100, 1996.
9. 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.
10. Walczak R., Usowicz B.: Variability of moisture, temperature and thermal properties in bare soil and in crop field. *Int. Agrophysics*, 8, 161–168, 1994.
11. Webster R.: Quantitative Spatial Analysis of Soil in the Field. *Advances in Soil Science*. 3: 1–70, 1985.
12. Webster R., Burgess T.M.: Sampling and bulking strategies for estimating soil properties in small regions. *J. Soil Sci.*, 35, 127–140, 1984.

CHARACTERISTICS OF SOIL MOISTURE FIELD AT DIFFERENT SAMPLING NUMBER

J. Kossowski, B. Usowicz

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

Summary. The aim of the paper was to recognise soil moisture variability and features its spatial distribution, as well as, to examine whether a different sampling number is reflected in the characteristics of soil moisture field. Measurements of topsoil (1–6 cm) moisture were made on the maize field. The data obtained from eight sets with various number and location of measurement points were analysed by means of statistical and geostatistical methods. Among the statistical parameters the mean values of soil moisture appeared a little sensitive to a change of number and arrangement of sampling, yet the parameters describing the scattering of values reacted more significantly. The spatial dependence of soil moisture values was stated, although the range of this dependence was related to sampling number (over 36 it oscillated between 4–6 m). The directional variograms calculated for sets contained different number and location of sampling created a differential picture of anisotropy of soil moisture on the object studied.

Key words: soil moisture, spatial variability, sampling strategy.