

# Gospodarowanie wodą w profilu glebowym

---

Tomasz GNATOWSKI, Tomasz BRANDYK, Jan SZATYŁOWICZ

## Ocena zmienności przestrzennej właściwości fizycznych i wodnych gleby w skali nawadnianej kwatery

### Abstract

**Spatial variability estimation of some soil properties at irrigated plot scale.** The purpose of this paper is to estimate spatial variability of some soil physical properties within irrigated plot in subirrigation system. The following physical properties are analysed: bulk density, saturated moisture content, actual moisture content, saturated hydraulic conductivity measured in the field and in the laboratory. The measurements were performed on decomposed peat soil of the area of 5 ha in 547 measuring points in the grid of 10 m × 10 m. The statistical analysis of the data was performed. The semivariograms and crossvariograms were calculated in order to examine spatial variability of the properties. Kriging was used for mapping of investigated soil properties.

*Key words: peat-moorsh soils, physical properties, spatial variability, kriging.*

### Wstęp

Pomiary właściwości fizycznych i wodnych gleb mają istotne znaczenie w procesie projektowania i eksploatacji systemów melioracyjnych. Do tej pory badania gleboznawcze ograniczały się zazwyczaj do pomiarów właściwości fizycznych gleb w tzw. profilach reprezentatywnych. Ponieważ wszelkie przedsięwzięcia melioracyjne powinny opierać się na prawidłowym rozpoznaniu i sparametryzowaniu

środowiska glebowego, potrzebna jest ocena zmienności przestrzennej właściwości gleby. Zmienność pokrywy glebowej analizowana była uprzednio przez wielu autorów, m. in. przez: Becketa i Webstera (1971), Bregta i in. (1987), Warricka i Nielsena (1980), Marcinka i Komisarek (1990). Badania te dotyczyły głównie gleb mineralnych.

Celem niniejszej pracy jest ocena zmienności przestrzennej podstawowych właściwości fizycznych gleby torfowo-murszowej na obszarze ograniczonym długością i rozstawą rowów melioracyjnych w systemie nawodnień podsiąkowych.

### Zakres i metodyka badań

Badaniami objęto obszar ok. 5 ha ograniczony dwoma rowami odwadniająco-nawadniającymi na kwaterze 7 z obiektu Rzywno w rejonie Górnej Noteci. Na rozpatrywanej kwaterze występuje gleba torfowo-murszowa (Mt III bb) o miąższości około 100 cm. Obszar objęty badaniami szczegółowymi podzielono na regularną siatkę kwadratów o boku 10 m. Siatka ta składała się z 11 kolumn po 47 wierszy w każdej kolumnie. Ogółem siatka posia-

dała 517 węzłów, w których pobrano próbki z warstwy na głębokości 20–30 cm pod powierzchnią terenu. Na próbkach określono: wilgotność aktualną, maksymalną pojemność wodną, gęstość gleby (metodą suszarkowo-wagową) oraz współczynnik filtracji (metodą Ziernickiego). Na tym obszarze wykonano również pomiary współczynnika filtracji metodą studzienkową, którymi objęto warstwę położoną na głębokości od 30–70 cm pod powierzchnią terenu. Pomiary te przeprowadzono w siatce kwadratów o boku równym 20 m. Ogółem siatka składała się z 6 kolumn po 23 wiersze – posiadała 138 węzłów.

### Procedury statystyczne

W niniejszej pracy do oceny skorelowanej przestrzennie zmienności poszczególnych cech gleby wykorzystano funkcję semiwariancji i kroswariancji. Dla celów analizy statystycznej poszczególnym właściwościom gleby  $z$  w poszczególnych punktach pomiarowych przypisano indeks  $i$  charakteryzujący numer badanej wiersza oraz  $j$  charakteryzujący numer badanej kolumny. Wartości pomiarowe  $z(i, j)$  zostały poddane analizie strukturalnej wykorzystując wariogramy, które posłużyły do opisu losowej i systematycznej zmienności pomierzonych wartości danej właściwości. Wariogramy obliczono z następujących wzorów (Webster 1985):

$$\gamma(p, q) = \frac{1}{2(m-p)(n-p)} \cdot \sum_{i=1}^{m-p} \sum_{j=1}^{n-q} \{z(i, j) - z(i+p, j+q)\}^2 \quad (1a)$$

$$\sum_{i=1}^{m-p} \sum_{j=1}^{n-q} \{z(i, j) - z(i+p, j+q)\}^2$$

$$\gamma(p, -q) = \frac{1}{2(m-p)(n-q)} \cdot \sum_{i=1}^{m-q} \sum_{j=q+1}^n \{z(i, j) - z(i+p, j-q)\}^2 \quad (1b)$$

gdzie:

$m$  – liczba wierszy,

$n$  – liczba kolumn,

$p, q$  – odległość między punktami pomiarowymi odpowiednio w wierszach i kolumnach.

Podobne wzory wykorzystano w przypadku kroswariogramów, które opisują zależność pomiędzy dwiema właściwościami gleby.

Obliczone wartości semiwariancji lub kroswariancji dla różnych właściwości gleby wyrównano za pomocą funkcji liniowej lub sferycznej. Funkcje te należą do klasy tzw. modeli bezpiecznych do określenia zależności między semiwariancją (kroswariancją) a odległością (McBratney i Webster 1986). Model liniowy określany był jako:

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= c_0 + wh \quad \text{dla } h > 0 \\ \gamma(0) &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:

$\gamma$  – semiwariancja,

$c_0$  – efekt samorodka,

$w$  – współczynnik kierunkowy prostej,

$h$  – odległość.

Model sferyczny jako:

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= c_0 + c \left[ \frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad \text{dla } 0 < h \leq a \\ \gamma(h) &= c_0 + c \quad \text{dla } h > a \\ \gamma(0) &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie:

- $a$  – odległość, po przekroczeniu której semiwariancja osiąga wartość stałą,  
 $c + c_0$  – efekt progowy semiwariancji (tzw. sill effect).

Na podstawie obliczonych parametrów semiwariogramu można oszacować zmienność obszarową pomierzonych właściwości gleb. W tym celu wykorzystano metodę krigingu, która jest metodą optymalizującą estymację skorelowanej przestrzennie wielkości  $z$ . W celu estymacji skorelowanej przestrzennie wielkości  $z$  oprócz parametrów semiwariogramu konieczne jest spełnienie podstawowych założeń geostatystycznych, wyrażonych w postaci następujących warunków (Oliver i Webster 1990):

$$z_0^* = z^*(x_0) = \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_o^i z_i$$

$$E \left[ \left( z_0^* - z_0 \right)^2 \right] = \text{minimum} \quad (4)$$

gdzie znak\* wskazuje, że wartość  $z$  jest szacowana, zaś  $\lambda_o$  jest zbiorem wag dla estymowania wartości  $z$  w punkcie  $x_0$  w którym wartość  $z$  nie była mierzona.

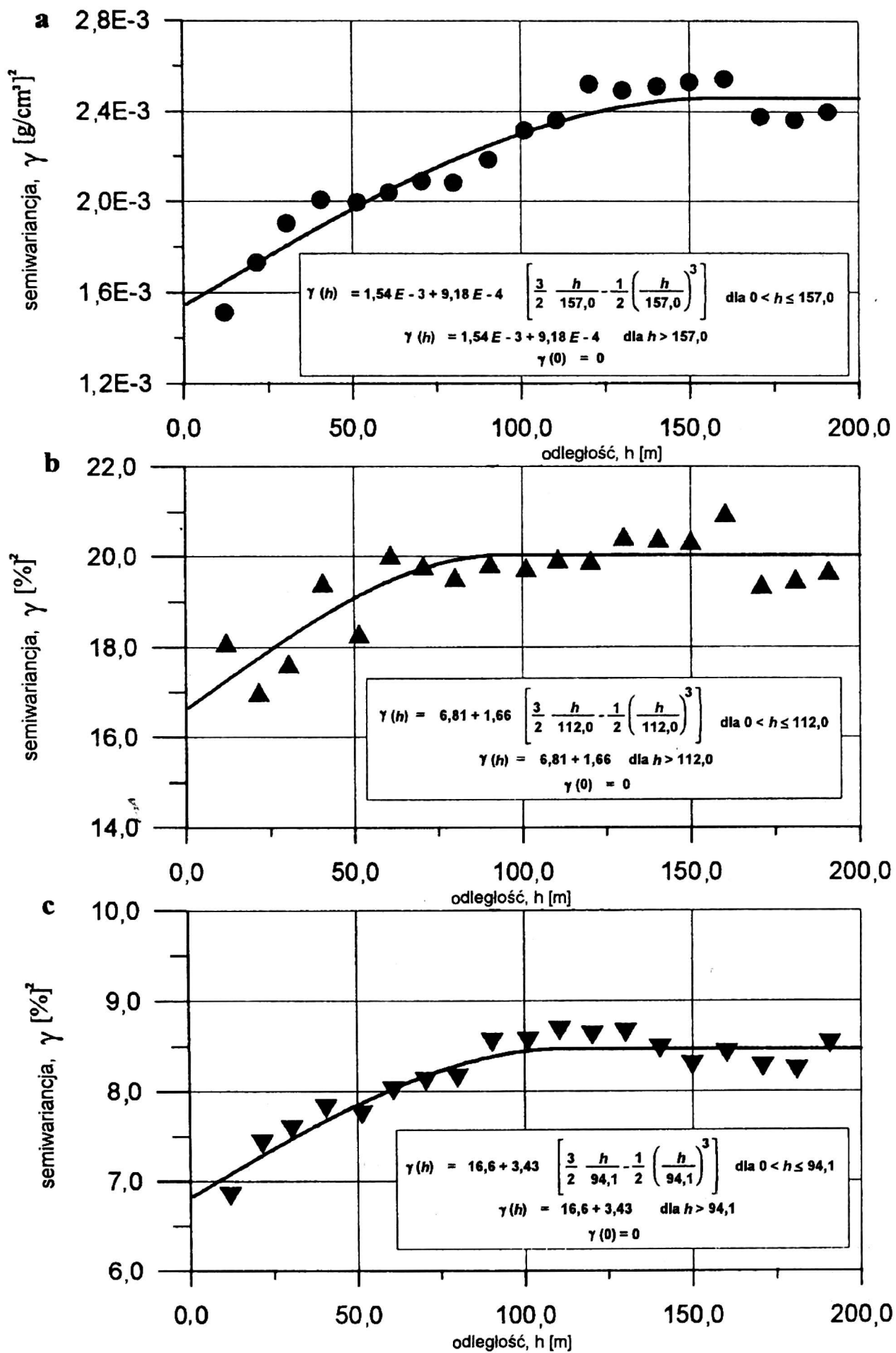
Indeks  $i$  wskazuje, że dla każdej wartości  $z$  pomierzonej w punkcie  $x_i$  istnieje waga  $\lambda_o^i$ . Suma wag  $\sum \lambda_o^i = 1$ , co jest warunkiem koniecznym, aby estymator był nie obciążony.

## Wyniki i dyskusja

Wyniki pomiarów opracowano statystycznie, obliczając wartość minimalną, maksymalną, średnią, środkową, wariancję oraz współczynnik zmienności, które zestawiono w tabeli 1. Współczynnik zmienności (CV) wyraża się stosunkiem odchylenia standardowego do wartości średniej danej cechy. Analizując wartości tego współczynnika zestawione w tabeli 1 stwierdzić można, że najniższą zmienność w rozpatrywanej glebie wykazuje pełna pojemność wodna i wilgotność aktualna, zmienność średnią wykazuje gęstość gleby, a dużą zmienność wykazują wartości współczynnika filtracji. Zakres zmian współczynników zmienności określonych dla właściwości gleby torfowo-murszowej Mt III bb zbliżony jest do spotykanego w literaturze dla gleb mineralnych (Warrick i Nielsen 1980; Marcinek 1992).

TABELA 1. Wyniki analizy statystycznej właściwości fizycznych i wodnych gleby torfowo-murszowej

Właściwości gleby	Wartość				Wariancja CV	
	minimalna	maksymalna	średnia	środkowa	[%]	
Gęstość gleby [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]	0,206	0,559	0,274	0,263	0,0021	16,1
Pełna pojemność wodna [%]	73,8	93,8	84,1	84,1	8,27	3,4
Wilgotność aktualna [%]	53,8	85,2	74,8	75,3	19,59	5,9
Współczynnik filtracji (metoda Ziemińskiego) [ $\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ ]	0,01	2,59	0,26	0,13	0,142	142,4
Współczynnik filtracji (metoda studzienkowa) [ $\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$ ]	0,18	3,58	1,04	0,91	0,429	62,8

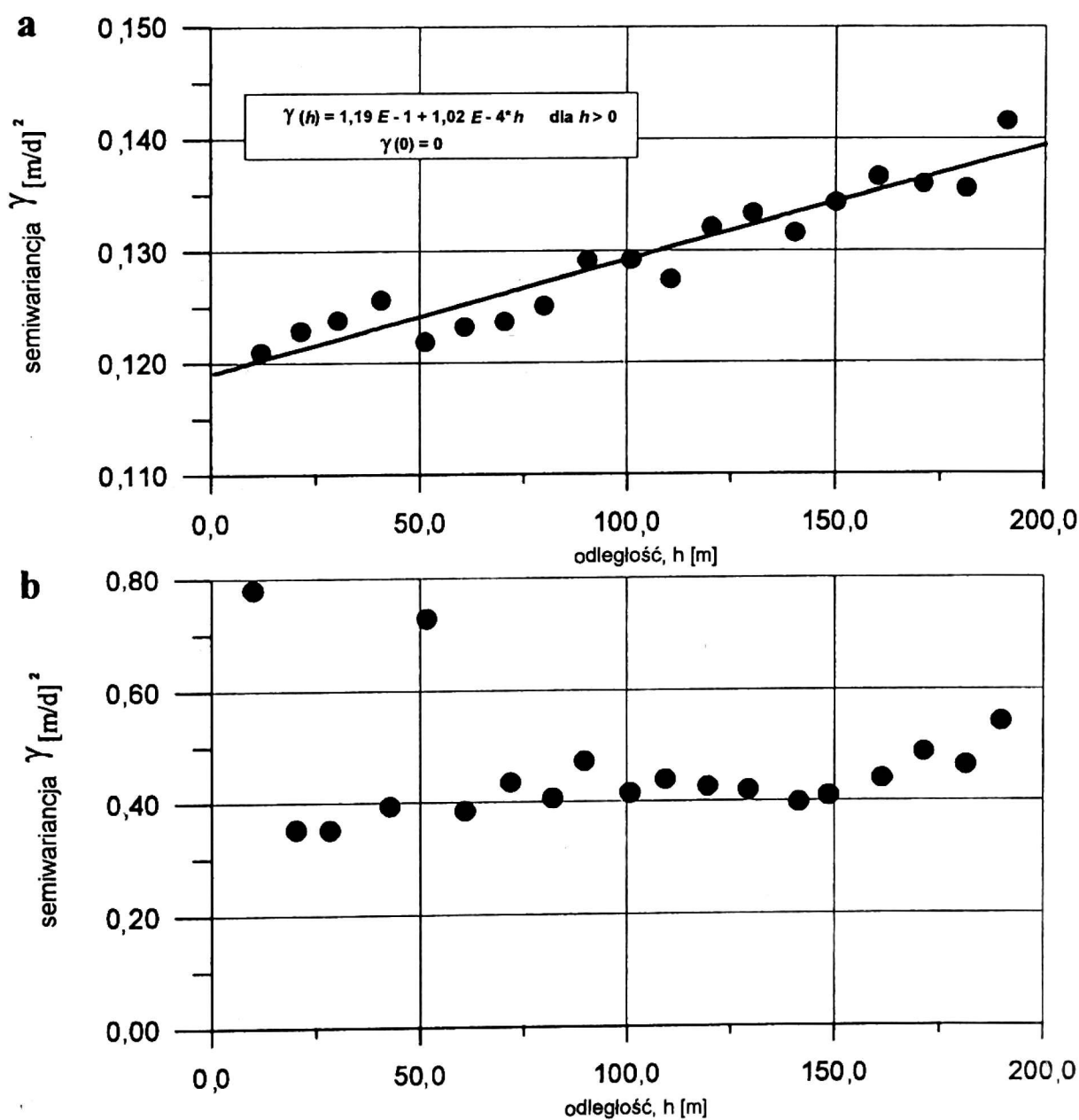


RYSUNEK 1. Semiwariogramy wartości: gęstości gleby – a, wilgotności aktualnej gleby – b i pełnej pojemności wodnej – c

Semiwariogramy określone dla wartości gęstości gleby, wilgotności aktualnej i pełnej pojemności wodnej (rys. 1) wyrównano modelem sferycznym. W tych przypadkach obserwuje się występowanie tzw. efektu samorodka świadczącego o tym, że istnieje zmienność danej cechy na odległości mniejszej niż odległość pomiędzy punktami pomiarowymi (10 m). Istnienie tego efektu może również wynikać z dokładności zastosowanej metody pomiarowej. Dla semiwariogramów przedstawionych na rysunku 1 można określić

odległość, po przekroczeniu której semiwariancja przyjmuje wartość stałą. Odległość ta nazywana jest zasięgiem wariogramu i określa limit korelacji przestrzennej danej cechy. Zasięgi wariogramów dla gęstości gleby, pełnej pojemności wodnej i wilgotności aktualnej wynoszą odpowiednio: 157 m, 112 m i 94 m.

Semiwariogram określony dla współczynnika filtracji pomierzonego metodą laboratoryjną przedstawiono na rysunku 2a. Najlepsze dane, dopasowane do danych eksperymentalnych, uzyskano przy

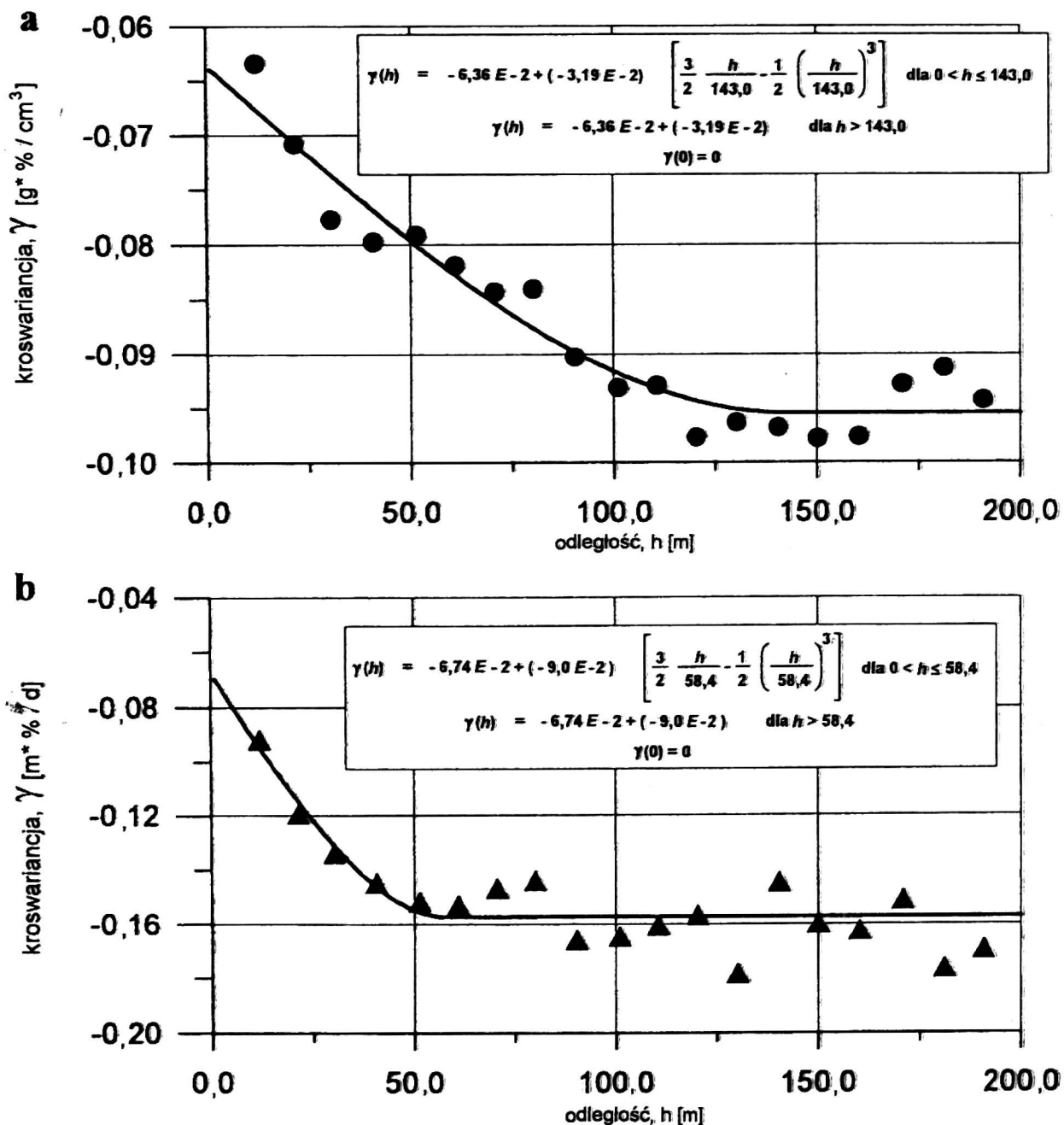


RYSUNEK 2. Semiwariogramy wartości współczynnika filtracji pomierzonego metodą laboratoryjną – a i metodą polową – b

użyciu modelu liniowego. Z rysunku tego wynika, że dla wartości współczynnika filtracji pomierzonego laboratoryjnie semiwariancja wzrasta wraz z odległością i niemożliwe jest ustalenie zakresu odległości, dla której wartość zależności przestrzennej stabilizuje się.

Semiwariogram określony dla współczynnika filtracji pomierzonego metodą polową przedstawiono na rysunku 2b. Danych eksperymentalnych dla tej właściwości gleby nie udało się wyrównać za

pomocą zastosowanych modeli semiwariogramów. Punkty pomiarowe na rysunku 2b układają się w zasadzie wzdłuż linii prostej równoległej do osi odległości. W związku z tym niemożliwe jest wyznaczenie limitu korelacji przestrzennej dla tej właściwości, jak również efektu samorodka i efektu progowego. W tym przypadku może istnieć korelacja przestrzenna, przy czym jej limit może być mniejszy niż odległość między punktami pomiarowymi.

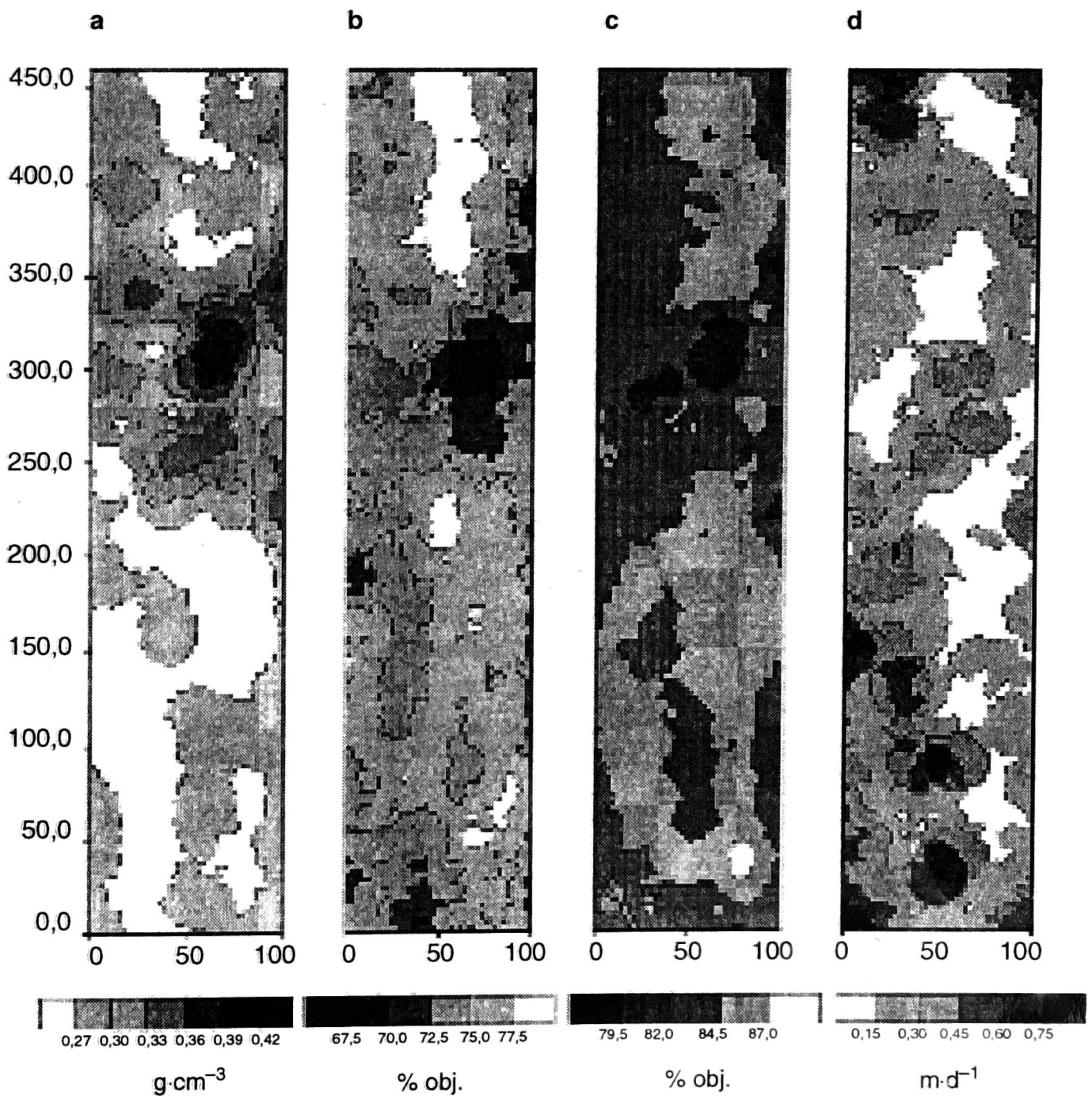


RYSUNEK 3. Kroszwariogramy wartości gęstości gleby i pełnej pojemności wodnej – a oraz gęstości gleby i współczynnika filtracji pomierzonego metodą laboratoryjną – b

Kroswariogramy określone dla wartości gęstości gleby i pełnej pojemności wodnej oraz dla gęstości gleby i współczynnika filtracji pomierzonego metodą laboratoryjną przedstawiono na rysunku 3. Z rysunku tego wynika, że istnieje zależność pomiędzy gęstością gleby i pełną pojemnością wodną oraz gęstością gleby i współczynnikiem filtracji, pomierzonym laboratoryjnie i jest to w obydwu

przypadkach zależność odwrotnie proporcjonalna, a zasięg tych zależności wynosi odpowiednio 143 m i 58 m.

Wyniki interpolacji zmienności pomierzonych właściwości fizycznych gleby metodą krigingu przedstawiono w postaci mapek konturowych na rysunku 4. Na podstawie przeprowadzonej analizy można zaobserwować brak stopniowej zmiany estymowanej wartości  $z$ , co



RYSUNEK 4. Mapy izolinii gęstości gleby – a, wilgotności aktualnej – b, pełnej pojemności wodnej – c, współczynnika filtracji określonego metodą laboratoryjną – d dla kwatery eksperymentalnej z obiektu Rzywno wykonane metodą krigingu

świadczą może o bardzo dużej zmienności przestrzennej występującej w glebach torfowych. Z rysunku 4 wynika również, że rowy ograniczające obszar badawczy nie mają wpływu na przestrzenną zmienność właściwości fizycznych w rozpatrywanej glebie.

## Wnioski

1. Przeprowadzona analiza współczynników zmienności dla rozpatrywanych właściwości fizycznych w glebie torfowo-murszowej Mt III bb wykazała, że największą wartością współczynnika zmienności charakteryzuje się współczynnik filtracji, średnią wartością gęstość gleby, a najmniejszą wilgotność aktualna i pełna pojemność wodna.

2. W przypadku gęstości, pełnej pojemności wodnej i wilgotności aktualnej określono limity korelacji przestrzennej, które wynoszą odpowiednio 157 m, 112 m i 94 m.

3. Stwierdzono odwrotnie proporcjonalną zależność przestrzenną pomiędzy gęstością gleby i pełną pojemnością wodną oraz gęstością gleby i współczynnikiem filtracji pomierzonym metodą laboratoryjną, których zasięg wynosił odpowiednio 143 m i 58 m.

4. W przypadku współczynnika filtracji pomierzonego laboratoryjnie w rozpatrywanej glebie semiwariancja wzrasta liniowo wraz z odległością i dlatego niemożliwe było określenie limitu korelacji przestrzennej.

5. W rozpatrywanej glebie torfowo-murszowej Mt III bb dla współczynnika

filtracji pomierzonego metodą studzienkową nie można było określić modelu semiwariogramu, właściwości te wykazują dużą zmienność losową, której obecność świadczyć może o tym, że zmiana tych właściwości może wystąpić na przestrzeni mniejszej niż odległość pomiędzy punktami pomiarowymi (20 m).

## Literatura

- BECKET P.H.T., WEBSTER R. 1971: *Soil variability. A review*. Soil and Fertilisers, 34; 1–15.
- BREGT A.K., BOUMA J., JELLINEK M. 1987: *Comparison of thematic maps derived from a soil map and from kriging of point data*. Geoderma, 39; 281–291.
- MARCINEK J., KOMISAREK J., 1990: *Zmienność przestrzenna infiltracji ustalonej gleb pyłowych i czarnych ziem równin dennomorenowych*. Zesz. Nauk. AR Kraków, 249; 3–21.
- MARCINEK J., 1992: *Parametryzacja środowiska glebowego w aspekcie gospodarki wodnej gleb*. Prob. Agrofizyki 67; 20–52.
- McBRATNEY A.B., WEBSTER R. 1986: *Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sampling estimates*. J. Soil Sci. 37; 617–639.
- OLIVER M.A., WEBSTER R. 1990: *Statistical methods in soil and land resource survey*. University Press, Oxford.
- WEBSTER R. 1985: *Quantitative spatial analysis of soil in the field*. [w:] Advances in soil science, New York, 3; 1–70.
- WARRICK A.W., NIELSEN D.R. 1980: *Spatial variability of soil physical properties in the field*. [w:] Application of soil physics, Acad. Press, 319–344.

### Adres autorów

T. Gnatowski, T. Brandyk, J. Szatyłowicz  
Katedra Melioracji Rolnych i Leśnych SGGW  
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166