

ALICJA PECIO¹**KRZYSZTOF KUBSIK**¹**ANDRZEJ BICHONSKI**²¹ Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Puławy² Małopolska Hodowla Roślin HBP Spółka z o.o. Polanowice

Analiza przestrzennej zmienności plonu i zawartości białka w ziarnie jęczmienia jarego w obrębie pola produkcyjnego

Analysis of spatial variation of spring barley grain yield and protein content within a production field

Przedstawiono geostatystyczną analizę przestrzennej zmienności plonu i zawartości białka w ziarnie jęczmienia jarego w obrębie pól produkcyjnych w latach 1998–2003. Obliczenia wykonano na podstawie próbek ziarna pobieranych w punktach pomiarowych siatki geostatystycznej o rozdzielczości 24 m (lata 1998 i 1999) oraz 36 m (lata 2000–2003), założonej na całej powierzchni pól. W kolejnych latach liczba punktów pomiarowych wynosiła: 130, 106, 102, 106, 94, 102. Analizę przeprowadzono metodą analizy semiwariancji izotropowej, przedstawiając jej przebieg graficznie w postaci semiwariogramów izotropowych, osobno dla każdego pola. Parametry semiwariogramów (efekt samorodka, próg, zakres) wykorzystano do interpolacji plonu ziarna i zawartości białka w ziarnie metodą krigingu punktowego, umożliwiającego wizualizację rozkładu przestrzennego badanych cech w postaci mapy izoliniowej.

Słowa kluczowe: analiza semiwariancji, jęczmień jary, plon ziarna, zawartość białka w ziarnie, zmienność przestrzenna

The results of the geostatistical analysis of spatial variability of spring barley grain yield and protein content within production fields in the years 1998–2003 are presented. The calculations were done on the base of grain samples taken in points of 24×24 m (1998–1999) and 36×36 m (2000–2003) geostatistical grid. The number of measurement points in the following years was: 130, 106, 102, 106, 94, 102. The analysis was done with the method of isotropic semivariance, which describes spatial variation dependent on the distance, but not on the direction variability (anisotropy). The semivariance was presented in graphical form of isotropic semivariograms, separately for each field. The parameters of the semivariograms (nugget effect, sill, range) were used for the interpolation of barley grain yield and protein content with the point kriging method, which enables visual presentation of spatial distribution of studied characteristics in the form of isoline map.

Key words: grain protein content, grain yield, semivariance analysis, spatial variation, spring barley

WSTĘP

Znajomość przestrzennej zmienności plonu ziarna oraz zawartości białka w ziarnie, jest szczególnie ważna w produkcji jęczmienia browarnego na dużych obszarach, gdyż słodownie i browary są zainteresowane w skupie dużych, jednolitych jakościowo partii.

Klasyczne metody statystycznego opracowania danych (np. analiza wariancji i regresji) zapewniają wiarygodne porównania międzyobiektowe, gdy zmienność glebowa w obrębie pola doświadczalnego ma charakter losowy, a sąsiednie obserwacje nie wykazują przestrzennego skorelowania. Metoda analizy wariancji zakłada, że błędy doświadczalne są niezależne. Jednak w przypadku występowania korelacji przestrzennej błędy są skorelowane, a obserwacje zależne. Należy wówczas zastosować metody, które uwzględniają korelacje przestrzenne w analizie. Założenie takie spełniają metody geostatystyczne. Umożliwiają one m.in. określenie przestrzennej zależności obserwacji w różnych kierunkach na polu, zakresu skorelowania obserwacji i przewidywania wyników na podstawie parametrów zmienności przestrzennej metodą interpolacyjną (kriging) (Namysłowska-Wilczyńska, 1993) oraz wykreślenie odpowiednich map (Faber 1998). Mapy zawartości białka w ziarnie umożliwiają wyznaczenie fragmentów pola, czy też całych obszarów zapewniających uzyskanie ziarna o właściwych parametrach (Pierce i in., 1997).

Celem pracy była analiza przestrzennej zmienności plonu i zawartości białka w ziarnie jęczmienia jarego w obrębie pól produkcyjnych za pomocą geostatystycznej analizy semiwariancji.

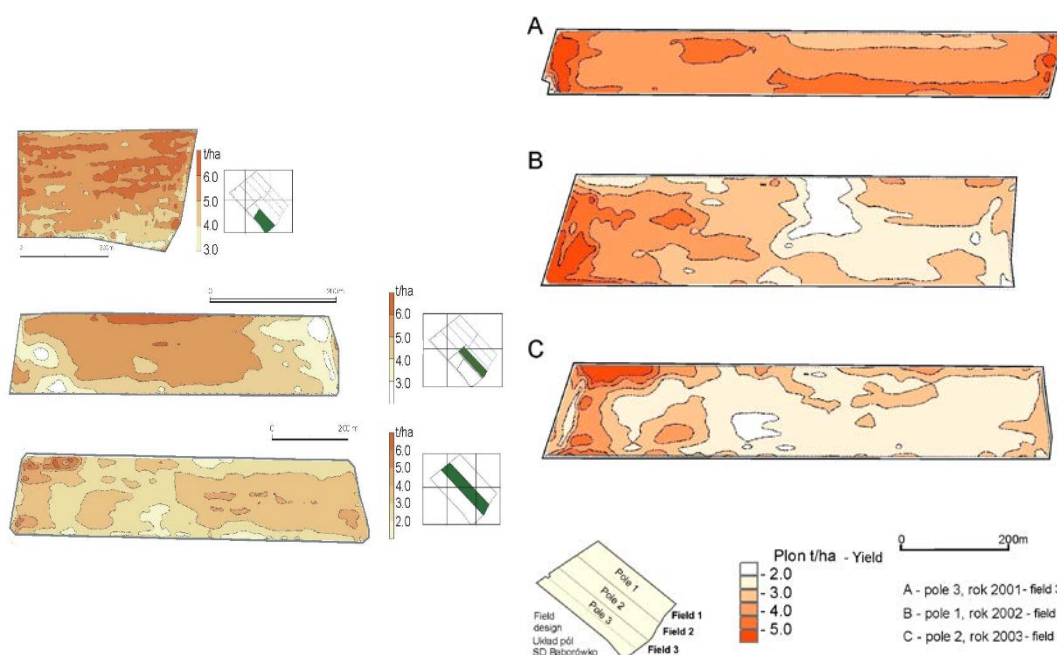
MATERIAŁ I METODY

Jęczmień jary uprawiano na polach produkcyjnych Stacji Doświadczalnej IUNG w Baborówku, woj. wielkopolskie, w kolejnych latach okresu 1998–2003. Powierzchnia pól wynosiła odpowiednio: 7,4, 8,8, 16,2, 10,7, 16 16,3 ha. Rośliny uprawiano w trójpolewym zmianowaniu: rzepak, pszenica i jęczmień jary. Na każdym z pól założono siatkę geostatystyczną, składającą się z kwadratów o boku 24 m w latach 1998 i 1999 oraz 36 m w pozostałych latach. W punktach przecięcia linii siatki umieszczono punkty pomiarowe, których ilość w kolejnych latach wynosiła: 130, 106, 102, 106, 94, 102. W punktach tych w fazie pełnej dojrzałości roślin określano plon ziarna jęczmienia z 1 m² oraz pobierano próby ziarna w celu określenia zawartości białka w ziarnie.

W punktach pomiarowych co 3 lata pobierane są próbki gleby do wykonania oznaczeń jej podstawowych właściwości chemicznych (odczyn, zasobność w przyswajalne składniki pokarmowe). Z dokonanej dotychczas charakterystyki pól wynika, że wykazują one dużą zmienność pod względem zarówno fizycznych cech gleby, jak i ich właściwości agrochemicznych (Jadczyszyn, 2000 dane niepublikowane). W obrębie każdego z pól występują gleby należące do 4 kompleksów przydatności rolniczej: pszenno dobry, żytni bardzo dobry, żytni dobry i żytni słaby, odczyn pH gleby waha się od 4,2 do 7,9, zawartość P₂O₅ — od 59 do 29, K₂O — od 50 do 184, Mg — od 13 do 119 mg składnika·kg⁻¹ gleby.

Zawartość azotu mineralnego, w kolejnych latach wahała się w następujących granicach: 39,8-177,9, 36,5-156,0, brak danych, 38,3-153,7, 42,2-236,6 i 66,1-318,5 kg·ha⁻¹.

Zbiór końcowy przeprowadzono za pomocą kombajnu zaopatrzonego w GPS (system satelitarnego określania współrzędnych) oraz neutronowy miernik masy i wilgotności ziarna. Dzięki wykorzystaniu kombajnu każdemu punktowi w siatce 24 × 24 i 36 × 36 m przyporządkowano rzeczywisty plon uzyskany w danym roku. Pozwoliło to na sporządzenie map plonu i jego jakości dla każdego z pól doświadczalnych (rys. 1, rys. 2).



Rys. 1. Komputerowa mapa plonu ziarna jęczmienia jarego w latach 1998–2000

Fig. 1. The computer made maps of spring barley grain yield for the years 1998–2000

Rys. 2. Komputerowa mapa plonu ziarna jęczmienia jarego w latach 2001–2003

Fig. 2. The computer made maps of spring barley grain yield for the years 2001–2003

Analiza statystyczna polegała na obliczeniu statystyk opisowych, tj. średnia arytmetyczna, wartość minimalna i maksymalna oraz wskaźniki rozrzutu: wariancja, odchylenie standardowe i współczynnik zmienności. W analizie geostatystycznej obliczono semiwariancję oraz określono jej parametry (efekt samorodka, próg, zakres). Graficzny przebieg semiwariancji przedstawiono w postaci semiwariogramów (tab. 3). Jako miarę dopasowania modelu semiwariogramu opisanego parametrami takimi jak: efekt samorodka, próg i zakres przyjęto wartość współczynnika determinacji (R^2). Siłę przestrzennej zależności pomiędzy obserwacjami plonu ziarna i zawartości białka w ziarnie obliczono na podstawie udziału wariancji przypadkowej w całkowitej wariancji danych, według wzoru (Cambardella, 1997):

$$\text{Nugget} = C_0 / (C_0 + C) \times 100$$

gdzie:

C_0 — wariancja samorodka (nugget variance)

C — wariancja strukturalna (structural variance)

$C_0 + C$ — próg (sill)

Uzyskany model przestrzennego rozkładu plonu ziarna i zawartości białka w ziarnie jęczmienia jarego wykorzystano w procesie interpolacji metodą krigingu punktowego. Proces interpolacji umożliwił wykreślenie map izoliniowych przestrzennej zmienności badanych cech w obrębie badanych pól produkcyjnych.

Do obliczeń wykorzystano program komputerowy GS + 5,0 dla Windows oraz pakiet Microsoft Office.

WYNIKI I DYSKUSJA

Ilościowe zróżnicowanie plonu ziarna i zawartości białka w ziarnie charakteryzowano z zastosowaniem podstawowych elementów statystyki opisowej. W okresie 6 lat eksperymentu (640 punktów pomiarowych) plon ziarna jęczmienia wahał się od 1,0 to 7,5 t·ha⁻¹ (tab. 1). Zawartość białka w ziarnie zmieniała się od zbyt niskiej dla browarnictwa (8,5%) do zbyt wysokiej (19,1%) (tab. 2). Zakres zmienności plonu ziarna był większy niż zakres zmienności zawartości białka w ziarnie.

Tabela 1

Charakterystyka statystyczna plonu ziarna jęczmienia jarego w punktach pomiarowych w latach 1998–2003

Statistical characteristics of spring barley grain yield in measurement points

Statystyka Statistics	Rok — Year					
	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Średnia — Mean	4,68	3,78	3,58	4,49	3,79	3,07
Wartość minimalna Minimum	2,15	1,82	1,62	1,75	1,05	1,65
Wartość maksymalna Maximum	7,50	6,21	6,05	6,25	5,85	4,36
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,82	0,95	1,00	0,11	1,08	0,54
Współczynnik zmienności Coefficient of variation	17,6	25,3	28,2	24,3	28,5	17,6

Współczynnik zmienności jest względnym miernikiem poziomu zróżnicowania danej cechy w populacji. Parametr ten nie opisuje przestrzennej zależności pomiędzy wartościami w punktach pomiarowych oraz nie określa wpływów zmienności lokalnej na kształtowanie się wartości danej cechy w przestrzeni (Namysłowska-Wilczyńska, 1993). Problem ten można rozwiązać przy zastosowaniu analizy semiwariancji — jednej z metod geostatystycznych. Semiwariancja jest miarą zmienności przestrzennej analizowanej cechy przy dwukierunkowym rozłożeniu informacji. Wyznaczana dla różnych odległości (*lag h*), dzielących punkty pobierania prób (Gołaszewski, 2000). *Lag-h* jest liczbą całkowitą, będącą wielokrotnością kolejnych odległości dzielących punkty, w których wykonywano pomiary.

Tabela 2

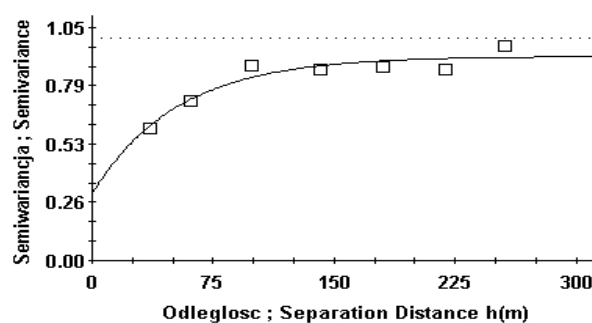
Charakterystyka statystyczna zawartości białka w ziarnie jęczmienia jarego w punktach pomiarowych w latach 1998–2003

Statistical characteristics of spring barley grain protein content in measurement points

Statystyka Statistics	Rok — Year					
	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Średnia — Mean	11,8	9,9	13,6	10,7	11,6	15,7
Wartość minimalna Minimum	8,5	8,6	11,7	9,2	9,7	9,7
Wartość maksymalna Maximum	15,2	11,0	15,0	12,2	14,0	19,1
Odchylenie standardowe Standard deviation	1,5	0,5	0,6	0,71	0,72	2,17
Współczynnik zmienności Coefficient of variation	12,5	4,7	4,3	6,63	6,88	13,8

W badaniach własnych semiwariancje plonu ziarna w kolejnych latach okresu 1998–2003 obliczono dla maksymalnych odległości lag h odpowiednio: 270, 410, 550, 350, 400 i 300 metrów, a zawartości białka w ziarnie dla 240, 300, 300, 350, 500 i 700 m.

Analiza semiwariancji wykazała liniową zależność pomiędzy plonem ziarna jęczmienia jarego a odległością lag w latach 1998 i 1999 oraz wykładniczą w pozostałych latach (rys. 3).



Rys. 3. Izotropowy semiwariogram plonu ziarna jęczmienia jarego w roku 2003
Fig. 3. The isotropic semivariogram of spring barley grain yield for the field in 2003

Zależność pomiędzy zawartością białka w ziarnie, a odległością lag we wszystkich polach opisano funkcją liniową (rys. 4). Zależności te opisane są równaniami o ogólnej postaci (Robertson, 2000):

dla zależności liniowej: $\gamma(h) = C_0 + [h(C/A_0)]$,

dla zależności wykładniczej: $\gamma(h) = C_0 + C [1 - \exp(-h/A_0)]$,

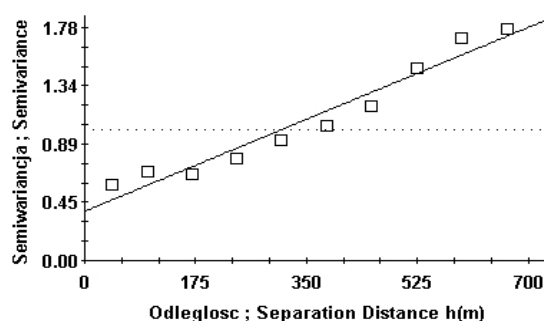
gdzie:

h — odległość (lag)

C_0 — wariancja samorodka (nugget variance)

C — wariancja strukturalna (structural variance)

A_0 — zakres (range).



Rys. 4. Izotropowy semiwariogram zawartości białka w ziarnie jęczmienia jarego w roku 2003
Fig. 4. The isotropic semivariogram of spring barley grain protein content for the field in 2003

Graficzny rozkład semiwariancji w zależności od odległości h może mieć różny kształt, zależnie od charakteru zmienności przestrzennej (Gołaszewski, 2000). Model takiego wariogramu opisany jest funkcją, dla której odchylenia wartości teoretycznych semiwariancji od uzyskanych empirycznie są najmniejsze. Model umożliwia jednoznaczne określenie parametrów wariogramu. Może on być liniowy, logarytmiczny, wykładniczy, sferyczny itp. Jednakże wybór odpowiedniego modelu jest dość trudny i jak dotychczas nie wypracowano standardowego podejścia. Problem polega na tym, że model jest jedynie przybliżeniem prawdziwego wariogramu i niewłaściwie zdefiniowany może stać się głównym źródłem zniekształcenia interpolowanych krigingiem wyników.

Typowy semiwariogram określają następujące parametry: zakres (A_0), wariancja samorodka (efekt samorodka) (C_0), wariancja strukturalna (C), próg ($C_0 + C$). Zakres (A_0) określa granice przestrzennej zależności obserwacji, przy czym zakłada się, że semiwariancje poza zakresem a są równe s^2 i tłumaczy je zmienność losowa. Wyznacza też maksymalny promień, w zasięgu którego pobiera się sąsiednie obserwacje do krigingu. Wariancja samorodka (C_0) określa nieciągłość wariogramu względem środka układu współrzędnych, wynika z błędów pomiarowych oraz mikrozmienności w zakresach odległości mniejszych niż dokonywano pomiaru. Wariancja strukturalna (C) określa prawdziwy przestrzenny komponent wariancji próby, odpowiadający tej części wariancji, która wynika z przestrzennego skorelowania obserwacji. Próg ($C_0 + C$) określa wartość, przy której następuje stabilizacja wariancji i równa się w przybliżeniu wariancji s^2 danych. Gdy wartość progu jest równa C_0 , czyli określa tzw. czysty efekt samorodka, wówczas brak jest skorelowania przestrzennego obserwacji, a fakt ten może być interpretowany jako niezależność obserwacji w analizowanej przestrzeni, z najlepszym estymatorem — średnią wartością zmiennej dla całego pola. W przypadku, gdy próg jest określony wielkością C , w warunkach obecności przestrzennej zależności nie występuje efekt mikrozmienności.

Jedynie w roku 1998 przestrzenna zmienność plonu ziarna była w dużym stopniu związana z efektem samorodka $C_0 = 0,87$ i $C_0/(C_0 + C) = 0,81$ (tab. 3). W pozostałych latach udział zmienności przypadkowej tzn. w zakresach mniejszych niż dokonywano pomiaru

(24 m lub 36 m) był mniejszy. Wartość $C_0/(C_0+C)$ w kolejnych latach wynosiła 0,50; 0,27; 0,19; 0,00; 0,33.

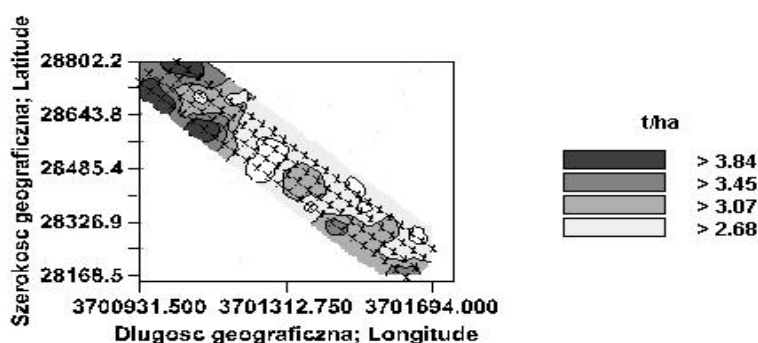
Zmienność zawartości białka w ziarnie we wszystkich latach badań była wyjaśniona głównie przez zmienność przypadkową (tab. 3). Udział wariancji samorodka w całkowitej zmienności tej cechy wynosił w kolejnych latach 0,78, 0,81, 0,81, 0,78, 0,50, 0,22. Tak duża zmienność zawartości białka w ziarnie jęczmienia może być związana ze zmiennością właściwości fizycznych i chemicznych w obrębie badanych pól.

Z literatury (Cambardella, 1997) wiadomo, że udział wariancji samorodka w ogólnej semiwariancji mieszczący się w przedziale 25%–75% świadczy o istnieniu umiarkowanej przestrzennej zależności pomiędzy obserwacjami.

Tabela 3

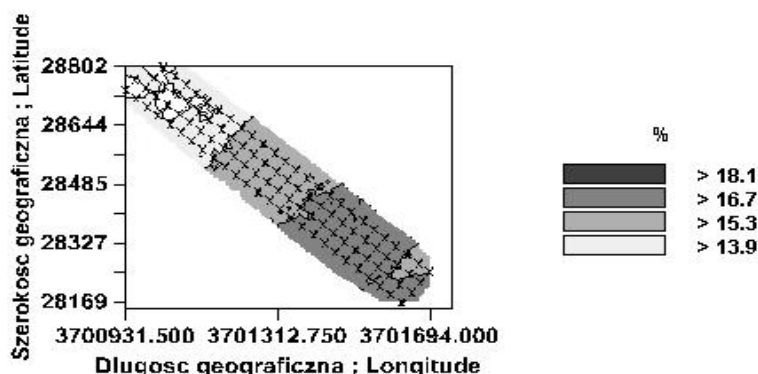
Parametry semiwariogramów plonu ziarna i zawartości białka w ziarnie jęczmienia
Semivariogram parameters of barley grain yield and grain protein content

Parametr Parameter	Rok Year	Wariancja samorodka Nugget variance C_0	Próg Sill C_0+C	Zakres Range A_0	$C/(C_0+C)$	R^2
Plon ziarna Grain yield	1998	0,87	1,08	249	0,19	0,64
	1999	0,67	1,35	350	0,50	0,89
	2000	0,31	1,15	89,0	0,73	0,84
	2001	0,21	1,13	51,8	0,81	0,86
	2002	0,001	1,44	91,5	1,00	0,97
	2003	0,30	0,92	52,8	0,67	0,90
Zawartość białka w ziarnie Grain protein content	1998	0,86	1,10	219	0,22	0,62
	1999	0,88	1,09	254	0,19	0,64
	2000	0,86	1,07	256	0,19	0,54
	2001	0,86	1,11	329	0,22	0,71
	2002	0,55	1,10	467	0,50	0,96
	2003	0,37	1,72	667	0,78	0,95



Rys. 5. Mapa przestrzennego zróżnicowania plonu ziarna ($t \cdot ha^{-1}$) jęczmienia jarego na polu w roku 2003

Fig. 5. The map of spatial variation of spring barley grain yield ($t \cdot ha^{-1}$) for the field in 2003



Rys. 6. Mapa przestrzennego zróżnicowania zawartości białka w ziarnie jęczmienia jarego na polu w roku 2003

Fig. 6. The map of spatial variation of spring barley grain protein content for the field in 2003

Opisane powyżej parametry semiwariogramów wykorzystano w predykcji metodą krigingu punktowego plonu ziarna i zawartości białka w ziarnie w punktach, gdzie nie pobierano prób ziarna. Zastosowana metoda *cross-validation* wykazała dużą zgodność wartości interpolowanych z rzeczywistymi, co umożliwiło przedstawienie przestrzennej zmienności analizowanych cech w postaci map (rys. 5, rys. 6).

WNIOSKI

1. Zmienność wielkości plonu ziarna jęczmienia jarego w obrębie badanych pól wahała się od 17,6 do 28,5%, a zawartości białka w ziarnie od 4,3% do 13,8%.
2. Analiza geostatystyczna wykazała liniową lub wykładniczą zależność pomiędzy semiwariancją plonu ziarna a odległością pomiędzy punktami pobierania prób oraz zależność liniową dla zawartości białka w ziarnie.
3. Zmienność przestrzenna plonu ziarna jęczmienia jarego determinowana była głównie przez wariację strukturalną. Zmienność zawartości białka w ziarnie na większości pól związana była z efektem samorodka, co wskazuje na duży wpływ czynników losowych.

LITERATURA

- Cambardella A, Karen J. 1997. Spatial analysis of soil fertility parameters precision agriculture. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- Faber A. 1998. System rolnictwa precyzyjnego. II. Analiza i interpretacja map plonów. *Fragm. Agron.* 1: 16 — 27.
- Namysłowska-Wilczyńska B. 1993. Zmienność złóż rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej w świetle badań geostatystycznych. *Prace Naukowe Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej*, 64: 1 — 197.

- Pierce F. J., Anderson N. W., Colvin T. S., Schueller J. K., Humburg D. S., McLaughlin. 1997. Yield mapping. In: The state of site-specific management for agriculture. Invited chapters and the proceedings of the Symposium on Site Specific Management (NCR-180) in St. Louis, Missouri, 31 October 1995: 211 — 244.
- Robertson G. P. 2000. GS⁺: Geostatistics for the environmental Sciences. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA.