

Magdalena ŁOZIŃSKA
Politechnika Śląska, Gliwice

PORÓWNANIE OPISU ZRÓŻNICOWANIA ZMIENNOŚCI PARAMETRÓW ZŁOŻOWYCH PRZY ZASTOSOWANIU DWÓCH RÓŻNYCH ESTYMATORÓW SEMIWARIOGRAMU, NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH PARAMETRÓW JAKOŚCIOWYCH ZŁOŻA MARGLI KREDOWYCH FOLWARK

Streszczenie. Celem pracy było porównanie opisu zróżnicowania zmienności parametrów złożowych przy zastosowaniu dwóch różnych estymatorów semiwariogramu Relative i Inverte Covariance. Starano się sprawdzić, czy zastosowanie innych estymatorów semiwariogramu niż klasyczny Matherona umożliwi lepszy – dokładniejszy opis zmienności parametrów w złożu oraz czy jest możliwe wskazanie jednego modelu teoretycznego opisu semiwariogramów empirycznych wykonanych dla parametrów jakościowych złoża margli kredowych Folwark. Do analizy wybrano trzy parametry najlepiej udokumentowane: miąższość oraz zawartości procentowe CaO i MgO.

COMPARISON OF DIVERSIFICATION OF DEPOSIT PARAMETERS VARIATION WITH TWO DIFFERENT SEMIVARIOGRAMS ESTIMATORS ON THE EXAMPLE OF CHOSEN QUALITY PARAMETERS OF FOLWARK CRETACEOUS MARL DEPOSIT

Summary. The paper presents comparison of diversification of deposit parameters variation. For this purpose two different estimators semivariograms, Relative and Inverte were used. It was to be verified whether the use of other than classic Matheron semivariograms estimators allows for better, more detailed description of deposit parameters variation. It was to be also tested if it is possible to indicate one theoretical description of empirical semivariograms executed for quality parameters of Folwark Cretaceous marl deposit. Three, best recognized parameters were chosen for analysis, i.e. depth of strata, CaO and MgO percentage.

1. Wprowadzenie

Metody geostatystyczne są stosowane, gdy podstawowe opisy statystyczne nie wystarczają. Za twórcę geostatystyki uważa się Matherona, który przedstawił jej podstawy teoretyczne w latach 1962-1963. Według oryginalnej definicji Matherona geostatystyka jest teorią zmiennych zregionalizowanych stosowaną do oceny złóż [6]. W tym ujęciu zmienna zregionalizowana reprezentuje wartości parametrów złożowych w różnych punktach przestrzeni złożowej. Z matematycznego punktu widzenia zmienna zregionalizowana jest numeryczną funkcją współrzędnych punktów złoża. Ze swej natury ma ona charakter skrajnie nieregularny i z tego względu nie może być wyrażona w formie analitycznej. Zmienna ta łączy w sobie dwa rodzaje zróżnicowania: losowy i nielosowy. Zmienność losową w sposób wystarczający opisują statystyki podstawowe (tj.: średnia arytmetyczna \bar{x} , odchylenie standardowe s , współczynnik zmienności v , współczynnik skośności (asymetrii) g , i inne), graficznie przedstawia się ją za pomocą histogramu. Statystyki podstawowe zawodzą, gdy w charakterze zróżnicowania parametru pojawiają się czynniki nielosowe, wtedy najlepiej zastosować opis zróżnicowania zmienności parametrów złożowych metodami geostatystycznymi. Podstawę geostatystycznego opisu zmienności stanowi semiwariogram, jako funkcja charakteryzująca podobieństwo wartości parametrów (autokowariancji lub autokorelacji) lub ich zróżnicowanie przyporządkowane odległościom między punktami próbowań. Na podstawie danych uzyskanych bezpośrednio ze złoża powstaje semiwariogram empiryczny, który przedstawia w syntetycznej formie strukturę zróżnicowania parametrów złożowych. W geostatystyce można stosować kilka estymatorów semiwariogramów. Obok klasycznego estymatora Matherona na uwagę zasługują dwa estymatory semiwariogramów określone jako: względny (*Relative*) i *Inverted Covariance* (*InvCov*) [1,2,6].

Semiwariogram relatywny $\gamma_R(h)$ otrzymuje się przez podzielenie klasycznego semiwariogramu Matherona przez kwadrat średniej wartości parametru $m(h)$ w próbkach, które są uwzględnione w obliczeniach semiwariogramu dla kolejnych kroków odległości h .

Estymator semiwariogramu *Inverted Covariance* $\gamma_{IC}(h)$ uzyskuje się przez odjęcie od wariancji próbkowej (s^2) autokowariancji $C(h)$ ustalonej dla kolejnego kroku odległości h między punktami pomiaru parametrów złożowych.

Oba estymatory niwelują wpływ niejednorodności złoża, która to przejawia się zróżnicowaniem średnich wartości parametru w różnych częściach złoża. Liczne doświadczenia praktyczne pokazują, że semiwariogramy obu rozpatrywanych typów

sprawdzają się najlepiej w przypadkach silnie skośnych dodatnio rozkładów zawartości składnika użytecznego. Ich postacie są bardziej regularne i czytelne, a zmiany wartości płynne w porównaniu z klasycznym semiwariogramem Matherona, co znacznie ułatwia interpretację i modelowanie struktury zmienności parametrów.

Uzyskane na podstawie wyników opróbowań złoża semiwariogramy empiryczne opisuje się jedną z wybranych funkcji analitycznych. Opis taki pozwala na bezpośrednie rozwiązanie podstawowych zadań geologiczno – górniczych, jakimi są ocena jakości i zasobów kopaliny, jak również interpolacja wartości parametrów [5,6].

2. Cel i zakres pracy

Celem pracy było porównanie opisu zróżnicowania zmienności parametrów złożowych przy zastosowaniu dwóch różnych estymatorów semiwariogramu. Starano się sprawdzić, czy zastosowanie innych estymatorów semiwariogramu niż klasyczny Matherona umożliwi lepszy – dokładniejszy opis zmienności parametrów w złożu oraz czy jest możliwe wskazanie jednego modelu teoretycznego opisu semiwariogramów empirycznych wykonanych dla parametrów jakościowych złoża margli kredowych Folwark. Do analizy wybrano trzy parametry najlepiej udokumentowane: miąższość oraz zawartości procentowe CaO i MgO.

3. Charakterystyka złoża Margli Kredowych Folwark

Złoże margli kredowych Folwark zlokalizowane jest w obrębie utworów wapnisto – marglisto – ilastych tzw. kredowej niecki opolskiej. Obszar ten charakteryzuje się obecnością kopaliny o parametrach bardzo korzystnych dla przemysłu cementowego [3,8]. Złoże znajduje się w województwie opolskim, w odległości około 10 km na S od Opola. Powierzchnia złoża, udokumentowana w kategorii B + C₁, wynosi 436,8 ha [5,7]. Złoże zostało rozpoznane na podstawie 56 otworów wiertniczych wierconych rdzeniowo, przewiercających cały profil złoża. Na podstawie pobranych prób z odcinków o długości od 0,2 do 2 m średnio na 1 m wykonano analizy chemiczne (m.in. zawartości procentowe CaO i MgO). Szczegółowy profil litostratygraficzny złoża "Folwark" obejmuje sześć serii (licząc

od spągu), w których wydzielono ławice A i B. Serie są wykształcone w postaci margli ilastych, margli i wapieni marglistych [3,4,5].

Serie od 2 do 6 łącznie noszą nazwę warstw prószkowskich. Całkowita miąższość warstw prószkowskich waha się od 20 m w części wschodniej do około 110 m w części zachodniej.

4. Opis zmienności miąższości oraz zawartości procentowej CaO i MgO w złożu „Folwark” klasycznymi metodami statystycznymi

Miąższość serii złożowej zmienia się od 22,5 do 109,8 m (tablica 1). Współczynnik zmienności tej serii pozwala zaklasyfikować ją do II grupy złóż (o przeciętnej zmienności).

Analiza zmienności miąższości w poszczególnych seriach litostratygraficznych wykazała, że wraz z głębokością maleje zróżnicowanie miąższości, czyli najbardziej zmienna jest seria 6, najmniej natomiast seria 2, co potwierdzają podstawowe parametry statystyczne (tablica 1) [5].

Tablica 1

Wartości podstawowych miar statystycznych miąższości oraz zawartości procentowej CaO i MgO

| Parametr | Min. | Maks. | Średnia \bar{x} | Mediana me | Odchylenie standardowe s | Współczynnik zmienności v [%] | Współczynnik asymetrii g |
|-------------------------|-------|--------|-------------------|------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| S E R I A Z Ł O Ż O W A | | | | | | | |
| Miąższość | 22,50 | 109,80 | 68,42 | 70,00 | 22,79 | 28,95 | -0,21 |
| CaO | 21,10 | 52,02 | 35,72 | 36,67 | 5,04 | 14,11 | -0,87 |
| MgO | 0,45 | 1,23 | 0,75 | 0,74 | 0,18 | 23,93 | 0,30 |
| S E R I A 6 | | | | | | | |
| Miąższość | 2,00 | 41,30 | 17,34 | 16,00 | 11,22 | 63,67 | 0,43 |
| CaO | 22,38 | 36,12 | 30,38 | 30,43 | 2,75 | 9,04 | -0,35 |
| MgO | 0,43 | 1,66 | 1,06 | 1,15 | 0,33 | 31,10 | -0,49 |
| S E R I A 5 | | | | | | | |
| Miąższość | 2,70 | 34,20 | 20,64 | 23,90 | 8,70 | 42,15 | -0,77 |
| CaO | 33,68 | 45,63 | 38,35 | 38,23 | 1,98 | 5,17 | 0,73 |
| MgO | 0,33 | 1,03 | 0,75 | 0,77 | 0,18 | 24,06 | -0,46 |
| S E R I A 4 | | | | | | | |
| Miąższość | 2,00 | 25,00 | 15,42 | 16,00 | 4,77 | 30,92 | -1,15 |
| CaO | 39,18 | 52,28 | 46,35 | 46,56 | 1,81 | 3,91 | -1,18 |
| MgO | 0,26 | 1,22 | 0,59 | 0,58 | 0,16 | 26,71 | 1,17 |
| S E R I A 3 | | | | | | | |
| Miąższość | 8,40 | 16,50 | 12,86 | 13,00 | 1,96 | 15,09 | -0,30 |
| CaO | 37,71 | 43,56 | 40,66 | 40,66 | 1,22 | 3,01 | 0,26 |
| MgO | 0,41 | 0,98 | 0,71 | 0,70 | 0,14 | 10,89 | -0,13 |
| S E R I A 2 | | | | | | | |
| Miąższość | 6,70 | 14,60 | 11,12 | 11,25 | 1,61 | 14,45 | -0,63 |
| CaO | 24,04 | 34,78 | 27,07 | 26,72 | 1,92 | 7,10 | 1,81 |
| MgO | 0,54 | 1,82 | 1,02 | 1,03 | 0,24 | 23,84 | 0,56 |

Zawartość procentowa CaO w serii złożowej waha się od 21,10 do 52,02%, a współczynnik zmienności klasyfikuje serię tę do I grupy złóż o małej zmienności (tablica 1).

Analizując procentowe zawartości CaO w poszczególnych seriach litostratygraficznych, można zauważyć, że seria 6 charakteryzuje się największym zróżnicowaniem omawianego parametru, Najmniejszym zróżnicowaniem, i z nim związaną największą jednorodnością, charakteryzuje się seria 3, kolejno nieco większe zróżnicowanie parametru występuje w serii 4. Serie 2 i 5 cechuje zbliżona zmienność, będąca jednakże zdecydowanie wyższa niż w serii 4.

Zawartość procentowa MgO w obrębie serii złożowej zmienia się od 0,45 do 1,23%, a współczynnik zmienności klasyfikuje serię do grupy złóż o przeciętnej zmienności.

Porównując zmienność zawartości procentowej MgO w poszczególnych seriach litostratygraficznych, można wykazać, że seria 6 charakteryzuje się największym jego zróżnicowaniem. Najmniejsze zróżnicowanie parametru zaobserwowano w serii 3. W pozostałych seriach (2,3,4) zawartość procentowa MgO wykazuje pośrednie zróżnicowanie, co potwierdzają wartości odchylenia standardowego i współczynnika zmienności (tablica 1).

5. Metodyka badań i omówienie wyników

Wykonano zarówno opis zróżnicowania zmienności miąższości i zawartości procentowej CaO i MgO w obrębie serii złożowej, jak i dla poszczególnych serii litostratygraficznych stosując trzy estymatory semiwariogramu: klasyczny, *Relative* i *Inverted Covariance*. Program *Geo-eas* umożliwił graficzne dopasowanie jednego z czterech modeli teoretycznych: liniowego, sferycznego, potęgowego i gaussowskiego do semiwariogramu empirycznego [1]. Każdy z modeli jest opisany za pomocą trzech parametrów przedstawiających: C_0 – zmienność lokalną, C – amplitudę semiwariogramu, a – zasięg semiwariogramu. Wyniki zamieszczono w tablicach 2, 3 i 4.

Przy opisie zróżnicowania parametrów semiwariogramem typu klasycznego (tablica 2) dokonano dopasowania wszystkimi czterema modelami teoretycznymi; występuje także w pięciu przypadkach model losowy. Zasięgi semiwariogramów zmieniają się od 600 do 3000 m. W większości przypadków występuje wartość zmienności lokalnej (14/18), czyli udział czynnika losowego.

Semiwariogramy typu *Relative* (tablica 3) zostały dopasowane trzema modelami teoretycznymi, w większości przypadków nastąpiło dopasowanie modelem sferycznym (9/18), w czterech przypadkach stwierdzono model losowy, wystąpił też model złożony. Zasięgi semiwariogramów zmieniają się od 400 do 3000 m. Udział czynnika losowego wystąpił w 10 przypadkach.

Dopasowanie modeli teoretycznych w przypadku semiwariogramów typu *Inverted Covariance* (tablica 4) wykonano także trzema modelami teoretycznymi: sferycznym (10/18), liniowym (1/18) i gaussowskim (2/18). W pięciu przypadkach wystąpiła jedynie zmienność losowa. Zasięgi semiwariogramów zmieniają się od 600 do 3000 m. Udział czynnika losowego stwierdzono w 14 przypadkach.

Porównując ze sobą poszczególne typy semiwariogramów, można zaobserwować, iż zastosowanie innego niż klasyczny estymator semiwariogramu umożliwiło dokonanie opisu zróżnicowania zmienności, w przypadkach w których wystąpił model losowy. Analizując występowanie modelu losowego (udział jedynie czynnika losowego) w opisie zmienności parametrów oraz ich wartości podstawowych miar statystycznych (tablica 1) można zaobserwować, iż model ten najczęściej występuje, gdy współczynnik asymetrii jest dodatni, a zarazem zmienność parametru mała (np. zawartość procentowa MgO w serii 2 lub zawartość procentowa CaO w serii 3).

Ważnym parametrem ilustrującym ciągłość i płynność zmian badanego parametru złożowego jest wartość składnika losowego C_0 . Jej wielkość uzależniona jest od zmienności parametru w skali obserwacji mniejszej od stosowanego interwału opróbowań i błędów popełnionych w trakcie szeroko rozumianego opróbowania. Zestawienie udziałów procentowych składnika nielosowego (W_N) w całkowitej zmienności parametrów złożowych oraz zasięgi (a) semiwariogramów typu klasycznego, *Relative* i *Inverted Covariance* przedstawiono w tablicy 5.

Jak wynika z zamieszczonych w tablicy 5 danych, najmniejszy udział czynnika losowego wystąpił przy opisie zmienności semiwariogramem typu *Relative*.

Nie udało się jednak tak dobrać parametrów semiwariogramu teoretycznego (krok zliczeniowy), aby uzyskać opis zmienności za pomocą jednego modelu teoretycznego.

Tablica 2

Zestawienie parametrów semiwariogramów uśrednionych typu klasycznego miąższości oraz zawartości procentowe CaO i MgO [5,8]

| Parametr | Model | Parametry modelu | | | Równanie |
|---------------|------------|------------------|-------|-------|---|
| | | C ₀ | C | a | |
| SERIA ZŁOŻOWA | | | | | |
| Miąższość | gaussowski | 10 | 1 000 | 2 600 | $\gamma(h) = 10 + 1\,000 \text{ gauss } (h/2600 \text{ m})$ |
| CaO | potęgowy | 0 | 29 | 1 200 | $\gamma(h) = 29 \exp (h/1\,200 \text{ m})$ |
| MgO | gaussowski | 0,018 | 0,040 | 2 800 | $\gamma(h) = 0,018 + 0,040 \text{ gauss } (h/2\,800 \text{ m})$ |
| SERIA 6 | | | | | |
| Miąższość | sferyczny | 0 | 160 | 1 300 | $\gamma(h) = 160 \text{ sph } (h/1\,300 \text{ m})$ |
| CaO | sferyczny | 2 | 5,500 | 650 | $\gamma(h) = 2 + 5,500 \text{ sph } (h/650 \text{ m})$ |
| MgO | sferyczny | 0 | 0,115 | 600 | $\gamma(h) = 0,115 \text{ sph } (h/600 \text{ m})$ |
| SERIA 5 | | | | | |
| Miąższość | sferyczny | 0 | 110 | 1700 | $\gamma(h) = 110 \text{ sph } (h/1\,700 \text{ m})$ |
| CaO | losowy | 4 | - | - | $\gamma(h) = 4$ |
| MgO | gaussowski | 0,024 | 0,020 | 2400 | $\gamma(h) = 0,024 + 0,020 \text{ gauss } (h/2\,400 \text{ m})$ |
| SERIA 4 | | | | | |
| Miąższość | liniowy | 13 | 7 | 800 | $\gamma(h) = 13 + (7/800 \text{ m})h$ |
| CaO | sferyczny | 1,200 | 2 | 800 | $\gamma(h) = 1,200 + 2 \text{ sph } (h/800 \text{ m})$ |
| MgO | liniowy | 0,016 | 0,025 | 2800 | $\gamma(h) = 0,016 + (0,025/2\,800 \text{ m})h$ |
| SERIA 3 | | | | | |
| Miąższość | losowy | 3,750 | - | - | $\gamma(h) = 3,750$ |
| CaO | losowy | 1,450 | - | - | $\gamma(h) = 1,450$ |
| MgO | losowy | 0,018 | - | - | $\gamma(h) = 0,018$ |
| SERIA 2 | | | | | |
| Miąższość | gaussowski | 1 | 5 | 3000 | $\gamma(h) = 1 + 5 \text{ gauss } (h/3\,000 \text{ m})$ |
| CaO | gaussowski | 2,100 | 5 | 2900 | $\gamma(h) = 2,100 + 5 \text{ gauss } (h/2\,900 \text{ m})$ |
| MgO | losowy | 0,057 | - | - | $\gamma(h) = 0,057$ |

Tablica 3

Zestawienie parametrów semiwariogramów uśrednionych typu *Relative* miąższości oraz zawartości procentowej CaO i MgO

| Parametr | Model | Parametry modelu | | | Równanie |
|---------------|------------|------------------|--------|-------|---|
| | | C ₀ | C | a | |
| SERIA ZŁOŻOWA | | | | | |
| Miąższość | gaussowski | 40 | 900 | 2 500 | $\gamma(h) = 40 + 900 \text{ gauss } (h/2\,500 \text{ m})$ |
| CaO | sferyczny | 0 | 0,0250 | 1 200 | $\gamma(h) = 0,0250 \text{ sph } (h/1\,200 \text{ m})$ |
| MgO | sferyczny | 0 | 0,0800 | 2 000 | $\gamma(h) = 0,0800 \text{ sph } (h/2\,000 \text{ m})$ |
| SERIA 6 | | | | | |
| Miąższość | sferyczny | 0 | 0,5000 | 1 500 | $\gamma(h) = 0,5000 \text{ sph } (h/1\,500 \text{ m})$ |
| CaO | losowy | 0,030 0 | - | - | $\gamma(h) = 0,0300$ |
| MgO | sferyczny | 0,060 0 | 0,0500 | 1 500 | $\gamma(h) = 0,0600 + 0,0500 \text{ sph } (h/1\,500 \text{ m})$ |

cd. tablicy 3

| SERIA 5 | | | | | |
|-----------|----------------------|------------|------------------|--------------|--|
| Miąższość | liniowy | 0 | 0,2000 | 1 000 | $\gamma(h) = (0,2000/1\ 000\ m)h$ |
| CaO | sferyczny | 0,000 6 | 0,0015 | 1 000 | $\gamma(h) = 0,0006 + 0,0015\ sph$ (h/1 000 m) |
| MgO | losowy | 0,065 0 | - | - | $\Gamma(h) = 0,0650$ |
| SERIA 4 | | | | | |
| Miąższość | sferyczny liniowy | 0 | 0,0600 0,0800 | 700 2 500 | $\gamma(h) = 0,0600\ sph$ (h/700 m) $\gamma(h) = (0,0800/2\ 500\ m)h$ |
| CaO | losowy | 0,001 8 | - | - | $\gamma(h) = 0,0018$ |
| MgO | sferyczny | 0,030 0 | 0,0400 | 500 | $\gamma(h) = 0,0300 + 0,0400\ sph$ (h/500 m) |
| SERIA 3 | | | | | |
| Miąższość | sferyczny | 0 | 0,0220 | 400 | $\gamma(h) = 0,0220\ sph$ (h/400 m) |
| CaO | losowy | 0,001 0 | - | - | $\gamma(h) = 0,0010$ |
| MgO | sferyczny | 0 | 0,0350 | 500 | $\gamma(h) = 0,0350\ sph$ (h/500) |
| SERIA 2 | | | | | |
| Miąższość | gaussowski | 0,008 0 | 0,0400 | 3 000 | $\gamma(h) = 0,0080 + 0,0400\ gauss$ (h/3 000 m) |
| CaO | gaussowski | 0,003 0 | 0,0060 | 2 500 | $\gamma(h) = 0,0030 + 0,0060\ gauss$ (h/2 500 m) |
| MgO | sferyczny | 0 | 0,0550 | 500 | $\gamma(h) = 0,0550\ sph$ (h/500 m) |

Tablica 4

Zestawienie parametrów semiwariogramów uśrednionych typu *Inverted Covariance* miąższości oraz zawartości procentowe CaO i MgO

| Parametr | Model | Parametry modelu | | | Równanie |
|---------------|------------|------------------|------|-------|---|
| | | C ₀ | C | a | |
| SERIA ZŁOŻOWA | | | | | |
| Miąższość | sferyczny | 0 | 700 | 2 400 | $\gamma(h) = 700\ sph$ (h/2 400 m) |
| CaO | sferyczny | 15 | 15 | 1 500 | $\gamma(h) = 15 + 15\ sph$ (h/1 500 m) |
| MgO | linowy | 0,02 | 0,01 | 1 000 | $\gamma(h) = 0,02 + (0,01/1\ 000\ m)h$ (h/2 600 m) |
| SERIA 6 | | | | | |
| Miąższość | sferyczny | 30 | 120 | 1 500 | $\gamma(h) = 30 + 120\ sph$ (h/1 500 m) |
| CaO | losowy | 23 | - | - | $\gamma(h) = 23$ |
| MgO | sferyczny | 0,07 | 0,05 | 1 600 | $\gamma(h) = 0,07 + 0,05\ sph$ (h/1 600 m) |
| SERIA 5 | | | | | |
| Miąższość | gaussowski | 15 | 90 | 1 400 | $\gamma(h) = 15 + 90\ gauss$ (h/1 400 m) |
| CaO | losowy | 4 | - | - | $\gamma(h) = 4$ |
| MgO | losowy | 0,035 | - | - | $\gamma(h) = 0,035$ |
| SERIA 4 | | | | | |
| Miąższość | sferyczny | 0 | 25 | 1 000 | $\gamma(h) = 25\ sph$ (h/1 000 m) |

cd. tablicy 4

| | | | | | |
|-----------|------------|-------|-------|-------|--|
| CaO | sferyczny | 0 | 3,5 | 600 | $\gamma(h) = 3,5 \text{ sph } (h/600 \text{ m})$ |
| MgO | sferyczny | 0 | 0,025 | 600 | $\gamma(h) = 0,025 \text{ sph } (h/600 \text{ m})$ |
| SERIA 3 | | | | | |
| Miąższość | sferyczny | 3 | 0,8 | 650 | $\gamma(h) = 3 + 0,8 \text{ sph } (h/650 \text{ m})$ |
| CaO | losowy | 1,5 | - | - | $\gamma(h) = 1,5$ |
| MgO | sferyczny | 0,009 | 0,010 | 750 | $\gamma(h) = 0,009 + 0,010 \text{ sph } (h/750 \text{ m})$ |
| SERIA 2 | | | | | |
| Miąższość | sferyczny | 0,6 | 3,5 | 2 500 | $\gamma(h) = 0,6 + 3,5 \text{ sph } (h/2 500 \text{ m})$ |
| CaO | gaussowski | 3 | 2 | 3 000 | $\gamma(h) = 3 + 2 \text{ gauss } (h/3 000 \text{ m})$ |
| MgO | losowy | 0,055 | - | - | $\gamma(h) = 0,055$ |

Tablica 5

Zestawienie udziałów procentowych składnika nielosowego (W_N) w całkowitej zmienności parametrów złożowych oraz zasięgi (a) semiwariogramów typu klasycznego, *Relative* i *Inverted Covariance*

| | Typy semiwariogramów | | | | | |
|---------------|----------------------|---------|-----------|---------|---------------------|---------|
| | Klasyczny | | Relative | | Inverted Covariance | |
| | W_N | a [m] | W_N [%] | a [m] | W_N [%] | a [m] |
| SERIA ZŁOŻOWA | | | | | | |
| Miąższość | 99 | 2600 | 95 | 2 500 | 100 | 2 400 |
| CaO | 100 | 1200 | 100 | 1 200 | 50 | 1 500 |
| MgO | 68 | 2800 | 100 | 2 000 | 33 | 1 000 |
| SERIA 6 | | | | | | |
| Miąższość | 100 | 1300 | 100 | 1 500 | 80 | 1 500 |
| CaO | 73 | 650 | 0 | - | 0 | - |
| MgO | 100 | 600 | 45 | 1 500 | 42 | 1 600 |
| SERIA 5 | | | | | | |
| Miąższość | 100 | 1700 | 100 | 1 000 | 86 | 1 400 |
| CaO | 0 | - | 71 | 1 000 | 0 | - |
| MgO | 45 | 2400 | 0 | - | 0 | - |
| SERIA 4 | | | | | | |
| Miąższość | 35 | 800 | 100 | 2 500 | 100 | 1 000 |
| CaO | 62 | 800 | 0 | - | 100 | 600 |
| MgO | 61 | 2800 | 57 | 500 | 100 | 600 |
| SERIA 3 | | | | | | |
| Miąższość | 0 | - | 100 | 400 | 21 | 650 |
| CaO | 0 | - | 0 | - | 0 | - |
| MgO | 0 | - | 100 | 500 | 53 | 750 |
| SERIA 2 | | | | | | |
| Miąższość | 83 | 3000 | 83 | 3 000 | 85 | 2 500 |
| CaO | 70 | 2900 | 66 | 2 500 | 40 | 3 000 |
| MgO | 0 | - | 100 | 500 | 0 | - |

6. Wnioski

Zastosowanie estymatorów semiwariogramów typu *Relative* i *Inverte Covariance* do opisu zmienności miąższości i zawartości procentowej CaO i MgO w obrębie serii złożowej

i w poszczególnych seriach litostratygraficznych pozwoliło zaobserwować następujące zależności:

1. W każdym przypadku rozpiętość zasięgów semiwariogramów mieści się w zbliżonych granicach (od 400 do 3000 m), świadczy to o dużym zasięgu autokorelacji, który przewyższa odległości między punktami opróbowania.
2. Przy obu estymatorach dokonano opisu modelu empirycznego trzema różnymi modelami teoretycznymi. Najczęściej występował model sferyczny.
3. Nie udało się dobrać tak parametrów modelu empirycznego (krok zliczeniowy), aby uzyskać przybliżenie tylko jednym modelem teoretycznym.
4. Analizując występowanie modelu losowego (udział jedynie czynnika losowego) w opisie zmienności parametrów oraz ich wartości podstawowych miar statystycznych, można zaobserwować, iż model ten najczęściej występuje, gdy współczynnik asymetrii jest dodatni, a zarazem zmienność parametru mała.
5. Dokonując porównania udziału czynnika losowego w strukturze zróżnicowania parametrów opisanej dwoma różnymi estymatorami, można stwierdzić, iż najmniejszy udział czynnika losowego wystąpił przy opisie zmienności semiwariogramem typu *Relative*.

LITERATURA

1. Englund E., Sparks A.: Geo – eas 1.2.1 user's guide. EPA/6000/8-91/008, Las Vegas 1991.
2. Journel A.G., Huijbregts Ch.J.: Maining geostatistics. Academic press, London 1978.
3. Łozińska M., Probiez K.: Rozpoznanie jakości kopaliny w złożu margli kredowych Folwark koło Opola. *Górn. Odkr.*, XXXVIII, 3, 1996.
4. Łozińska M., Probiez K.: Modele zmienności parametrów jakości margli kredowych w złożu Folwark koło Opola. *Zesz. Nauk. Pol. Śl., Górnictwo*, z. 246, Gliwice 2000.
5. Łozińska M.: Model zmienności jakości surowca do produkcji cementu ze złoża Folwark w kredowej niecce opolskiej. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Instytut Geologii Stosowanej, Gliwice 2002.
6. Mucha J.: Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż. AGH, Kraków 1994.
7. Probiez K., Łozińska M.: Zmienność jakości kopaliny w złożu margli kredowych Folwark koło Opola. *Zesz. Nauk. Pol. Śl., Górnictwo*, z. 230, Gliwice 1996.
8. Probiez K., Łozińska M., Kaliski M.: Characterization of quality of raw material for the production of cement from the Folwark deposit in the Opole cretaceous trough (western part of Upper Silesia. Poland). *Archiwum Górnictwa*, vol. 51, Kraków 2006, p.55 – 88.