

Barbara Namysłowska-Wilczyńska, Bożena Skorupska**, Andrzej Wieniewski***

ANALIZA PRZESTRZENNA WZBOGACALNOŚCI POPIOŁOŻUŻLI Z WYKORZYSTANIEM METOD GEOSTATYSTYCZNYCH

1. Wprowadzenie

Celem wykonanych analiz przestrzennych było opracowanie modelu geostatystycznego (3D) zmienności parametrów technologicznych, charakteryzujących hałdę zwałowisk odpadów — popiołożużli (zbiornik A), związanych z działalnością przemysłu energetycznego, znajdującą się w rejonie Świecia, w pobliżu Torunia, w województwie Kujawsko-Pomorskim. Różnorodność zastosowań metod geostatystycznych w wielu dyscyplinach i dziedzinach naukowych, w najróżniejszych obszarach badania, a także często wykorzystywanych w rozwiązywaniu zagadnień interdyscyplinarnych, wielokrotnie opisywano w literaturze [1, 2, 5, 10, 16]. Należałoby tutaj wymienić nauki o Ziemi, przede wszystkim nauki geologiczne, górnictwo [3–5, 10, 13, 14, 16], geofizykę, ochronę środowiska [6–8, 10, 11], klimatologię [11], nauki rolnicze, leśnictwo, materiałoznawstwo, a nawet energetykę [9]. Uniwersalny charakter podejścia metodycznego i zalety geostatystyki w modelowaniu, szacowaniu i prognozowaniu wartości parametrów opisujących badane zjawiska zregionalizowane, zachęcają badaczy do wypróbowania tych technik w rozwiązywaniu nowych obszarów tematycznych.

Badania zmienności parametrów technologicznych popiołożużli wykonano we współpracy Autorki [12] z Instytutem Metali Nieżelaznych w Gliwicach, w ramach problemu: „Opracowanie technologii utylizacji popiołożużli ze składowisk poprzez wydzielenie węgla metodą flotacji pianowej”, realizowanego przez Zakład Przeróbki i Utylizacji Odpadów IMN [17, 18].

* Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska, Wrocław

** Zakład Przeróbki Surowców Mineralnych i Utylizacji Odpadów, Instytut Metali Nieżelaznych, Gliwice

Zaprezentowano wybrane rezultaty wykonanych analiz przestrzennych zmienności wzbogacalności e' , stanowiącej jeden z najważniejszych parametrów technologicznych rozpatrywanej hałdy odpadów¹. Przeprowadzono modelowanie przebiegu wariogramu kierunkowego wzbogacalności e' analitycznymi funkcjami teoretycznymi, a następnie dokonano estymacji wartości średnich Z^* , z użyciem krigingu zwyczajnego (blokowego)¹.

2. Przedmiot i zakres badań

Przedmiot badań statystycznych i geostatystycznych stanowił zbiornik A, wydzielony w obrębie obszaru występowania hałdy popiołożuźli¹. Wymiary rozpatrywanego zbiornika w rejonie Świecia były następujące: 150×400×10 m. Ciężar właściwy materiału w zbiorniku wynosił 1,948 g/cm³. Próbkę do badań pobrano z otworów badawczych, wykonanych na obszarze występowania hałdy popiołożuźli, z uwzględnieniem głębokości, od 1÷10 m i liczebności prób $n = 120$.

Oznaczenia zawartości popiołu A_o , wilgotności W i wzbogacalności e' popiołożuźli wykonało Laboratorium Zakładu Przeróbki Surowców Mineralnych i Utylizacji Odpadów IMN w Gliwicach, zaś zawartości węgla organicznego C_{org} — Laboratorium Chemii Analitycznej tego Instytutu¹. Wzbogacalność e' , definiuje się jako odzysk węgla (w kilogramach) z 1 tony żużlopopiołu. Parametr e' oblicza się jako iloczyn uzysku i zawartości węgla w danej próbce.

Opracowano bazę danych oryginalnych, dotyczących 4-ch parametrów technologicznych popiołożuźli, w układzie 3D1. W bazie danych zamieszczono wartości współrzędnych X, Y, Z, określających miejsca pobrania prób (Z — głębokość) i badanych zmiennych zregionalizowanych. Zawartość tej bazy stanowiła podstawę wykonanych analiz przestrzennych.

Zmienność wzbogacalności e' analizowano na tle rezultatów oceny podstawowych parametrów statystycznych rozważanych parametrów technologicznych, badania korelacji pomiędzy ich wartościami, struktury przestrzennej zmienności parametrów i estymacji średnich Z^* [12, 15].

3. Wstępna ocena podstawowych statystyk parametrów technologicznych

Wyniki oceny podstawowych statystyk parametrów technologicznych popiołożuźli, uzyskane na podstawie danych oryginalnych, świadczą o ich zróżnicowanym zachowaniu, w zależności od rodzaju parametru (tabela 1). Zawartość popiołu A_o wykazuje małe zróżnicowanie (współczynnik $V = 8\%$), zaś wilgotność W — przeciętne zmiany ($V = 25\%$). Dużą zmienność stwierdzono natomiast, w odniesieniu do zawartości węgla organicznego C_{org} i wzbogacalności e' , opisaną wartościami współczynników V , zawierającymi się w przedziale od 53÷59%.

¹ The statistical and geostatistical analyses were carried out using selected computing programs included in the ISATIS software package — version 10.05 (Geovariances & Ecole Des Mines de Paris, Avon Cedex, France); Isatis 2001.

TABELA 1

**Podstawowe statystyki parametrów technologicznych popiołożeń
w haldzie odpadów — zbiornik A**

Analizowany parametr	Liczebność próbek n	Minimalna wartość X_{\min} [kg/t _{mat}]	Maksymalna wartość X_{\max} [kg/t _{mat}]	Wartość średnia X [kg/t _{mat}]	Odchylenie standardowe S [kg/t _{mat}]	Współczynnik zmienności V [%]
Wzbogacalność e'	120	7,97	254,33	85,42	50,43	59,00

4. Badanie współzależności parametrów technologicznych

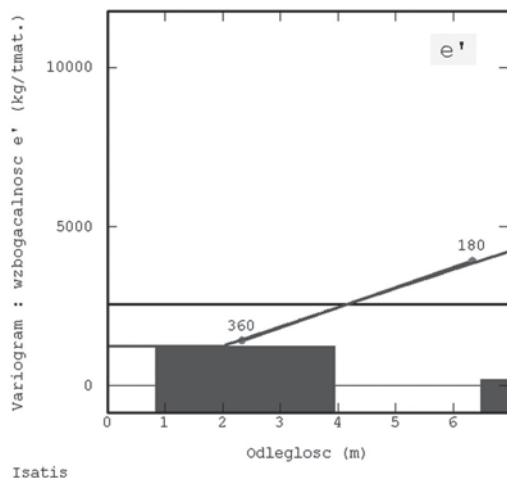
Uzyskane współczynniki korelacji liniowej r wskazują na istnienie przestrzennego skorelowania pomiędzy wartościami badanych parametrów technologicznych popiołożeń [12]. Przestrzenna korelacja jest zróżnicowana w obszarze występowania odpadów, a także na poszczególnych poziomach głębokościowych. Wystąpiła silna przestrzenna korelacja odwrotna r ze znakiem ujemnym pomiędzy zawartością popiołu A_o , a zawartością węgla organicznego C_{org} ($r = -0,75$), wilgotnością W ($r = -0,75$) i wzbogacalnością e' ($r = -0,70$). Najsilniejsza przestrzenna korelacja r ze znakiem dodatnim zaznaczyła się pomiędzy zawartością węgla C_{org} i wzbogacalnością e' ($r = 0,98$), zaś bardzo wyraźna pomiędzy zawartością węgla C_{org} i wilgotnością W ($r = 0,67$).

5. Analiza strukturalna zmienności parametrów technologicznych

Badano strukturę przestrzennej zmienności parametrów technologicznych popiołożeń, wykonując analizę strukturalną (wariograficzną), z użyciem funkcji wariogramu [1, 2, 5, 10, 16].

W przebiegach kierunkowych wariogramów parametrów, obliczonych wraz z głębokością pobrania prób z otworów, zauważa się wyraźny trend wznoszący wartości funkcji wariogramu $\gamma(h)$. Najsilniejszą tendencję wzrostu wartości $\gamma(h)$ w kierunku głębokości stwierdzono na wariogramach wzbogacalności e' (rys. 1.) i zawartości węgla organicznego C_{org} [15].

Wariogramy kierunkowe aproksymowano funkcjami teoretycznymi: modelem sferycznym (e') (tabela 2) lub modelem sferycznym i liniowym (C_{org}), bądź modelem sferycznym i liniowym, w połączeniu z efektem samorodków C_o (A_o , W) [12]. Zaznaczył się wyraźnie większy dystans skorelowania zawartości węgla C_{org} , tj. zasięg oddziaływania a wariogramu — $a = 76,89$ m; $a = 95,54$ m, w porównaniu do zasięgów wzbogacalności e' : $a = 13,22$ m i wilgotności W : $a = 14,42$ m oraz zawartości A_o : $a = 13,47$ m; $a = 11,26$ m. Dłuższe zasięgi a zawartości C_{org} świadczą, iż parametr ten wykazywał skorelowanie wartości na większych dystansach niż pozostałe parametry. W przebiegach wariogramów C_{org} [15] i e' (tabela 2) nie zaznaczył się efekt C_o , co wskazuje na brak gwałtownych zmian ich wartości.



Rys. 1. Wariogram empiryczny wzbogacalności e' popiołożuży w $[\text{kg}/\text{t}_{\text{mat}}]$ w hałdzie odpadów — zbiornik A, z dopasowanym modelem teoretycznym

TABELA 2

Zestawienie wartości parametrów geostatystycznych modeli kierunkowych wariogramów wzbogacalności popiołożuży w hałdzie odpadów — zbiornik A

Analizowany parametr	Efekt samorodków C_0 $[\text{kg}/\text{t}_{\text{mat}}]$	Częstkowa wariancja progowa C' $[\text{kg}/\text{t}_{\text{mat}}]$	Całkowita wariancja progowa C $[\text{kg}/\text{t}_{\text{mat}}]$	Zasięg oddziaływania a $[\text{m}]$	Podstawowe struktury modelu
Wzbogacalność e'	—	—	5558,87	13,22	sferyczny

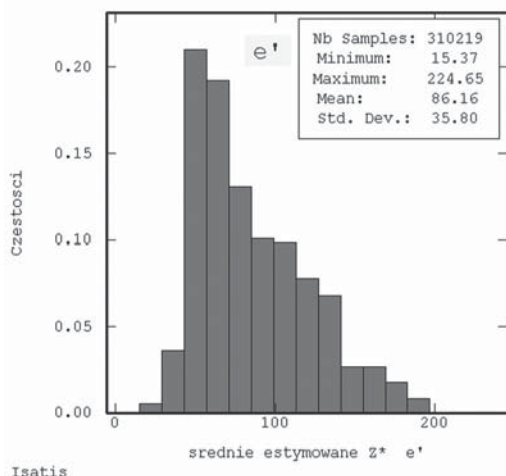
6. Rezultaty estymacji parametrów technologicznych

W kolejnym etapie badań geostatystycznych zastosowano technikę kriginu zwyczajnego (blokowego) [1, 2, 5, 10, 16]. Wykonano szacowanie (3D) średnich estymowanych Z^* i standardowego odchylenia estymacji σ_k parametrów technologicznych dla poszczególnych poziomów głębokości zalegania popiołożuży na obszarze rozprzestrzenienia hałdy odpadów, tj. w interwale od 1–10 m [12]. W obliczeniach kriginowych przyjęto przestrzenną (3D) siatkę elementarną o wymiarach bloku: $5 \times 5 \times 1$ m. Całkowita liczba węzłów sieciowych, uwzględnionych w estymacji wynosiła 34090 (wzdłuż osi: X – 63, Y – 59 i Z – 10). Wysokość plastrowania (cięcia) wzdłuż osi Z (głębokość), jaką przyjęto podczas estymacji, wynosiła 1 m.

W rezultacie obliczeń geostatystycznych otrzymano bazy danych *gridowych*, zawierające po 205062 i 34090 wartości: współrzędnych X, Y i Z węzłów sieciowych, średnich estymowanych Z^* oraz wartości odchylenia estymacji σ_k , oszacowanych w centrach bloków przyjętej siatki elementarnej. Dane *gridowe* mogą być poddawane dalszemu przetwarzaniu i stanowić podstawę do dokonywania kolejnych analiz przestrzennych i wizualizacji ich wyników.

Obliczenia krigingowe przeprowadzono z uwzględnieniem wartości parametrów geostatystycznych modelu odwzorowującego przebieg wariogramu kierunkowego wzbogacalności e' . Sporządzono mapy rastrowe i blokdigramy rozkładów średnich Z^* , umożliwiające szczegółowe prześledzenie ich zmian w obszarze występowania popiołożuźli oraz zorientowanie się, czy istnieje korelacja pomiędzy wartościami e' i pozostałych parametrów technologicznych, wraz z przemieszczaniem się w kierunku zalegania głębszych warstw.

Histogram rozkładu średnich Z^* wzbogacalności e' cechuje się wyraźną skośnością dodatnią (rys. 2), o współczynniku g_1 osiągającym wartość 0,80.



Rys. 2. Histogram rozkładu średnich estymowanych Z^* wzbogacalności e' [kg/tmat] popiołożuźli w hałdzie odpadów — zbiornik A

Współczynnik zmienności V średnich estymowanych Z^* wzbogacalności pokazuje duże zróżnicowanie wartości parametru e' (tabela 3), podobnie jak już wcześniej to stwierdzono w przypadku zawartości węgla C_{org} [12, 15]. Zmiany średnich Z^* parametrów e' , w mniejszym stopniu — C_{org} [15], są silniejsze w porównaniu ze stwierdzonym bardzo małym zróżnicowaniem wartości średnich Z^* zawartości popiołu A_o i małą zmiennością wilgotności W .

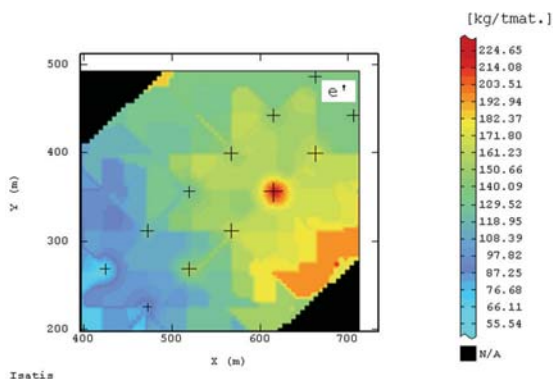
TABELA 3

Globalne statystyki wartości parametrów geostatystycznych wzbogacalności e' popiołożuźli w hałdzie odpadów — zbiornik A w węzłach przestrzennej siatki elementarnej (kriging zwyczajny blokowy)

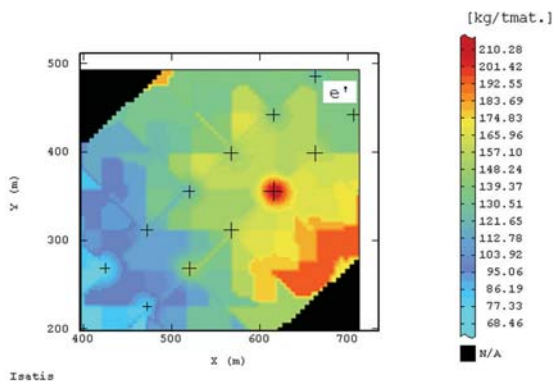
Parametr geostatystyczny	Liczba węzłów sieciowych n	Minimalna wartość estymowana X_{min} [kg/t _{mat}]	Maksymalna wartość estymowana X_{max} [kg/t _{mat}]	Wartość średnia X [kg/t _{mat}]	Odchylenie standardowe S [kg/t _{mat}]	Współczynnik zmienności V [%]
średnia estymowana Z^*	34090	15,90	224,65	87,21	37,17	43,00
standardowe odchylenie estymacji σ_k	34090	20,59	145,06	113,36	13,05	12,00

7. Charakterystyka wyników estymacji i ich wizualizacja

Mapy rastrowe i blokdiagramy rozkładów średnich Z^* wzbogacalności e' [kg/t_{mat}] popiołożużli przedstawiono na rysunkach od 3–9.



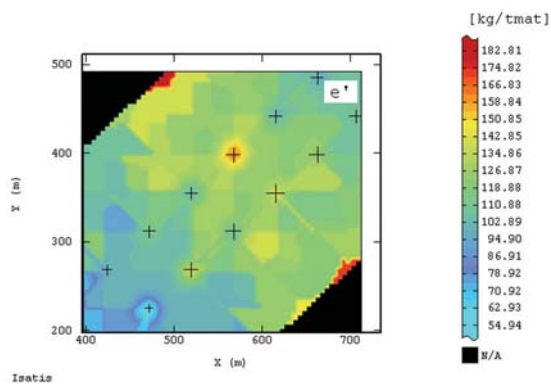
Rys. 3. Mapa rastrowa rozkładu średnich estymowanych Z^* wzbogacalności e' [kg/t_{mat}] popiołożużli w hałdzie odpadów — zbiornik A (poziom 1 m)



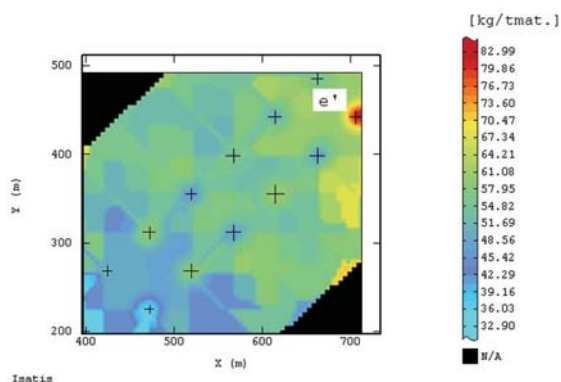
Rys. 4. Mapa rastrowa rozkładu średnich estymowanych Z^* wzbogacalności e' [kg/t_{mat}] popiołożużli w hałdzie odpadów — zbiornik A (poziom 2 m)

Obrazy map rastrowych rozkładów średnich estymowanych Z^* wzbogacalności e' (rys. 3–6) przypominają w dużym stopniu obrazy zmienności rozkładów średnich Z^* na mapach zawartości węgla organicznego C_{org} [12, 15].

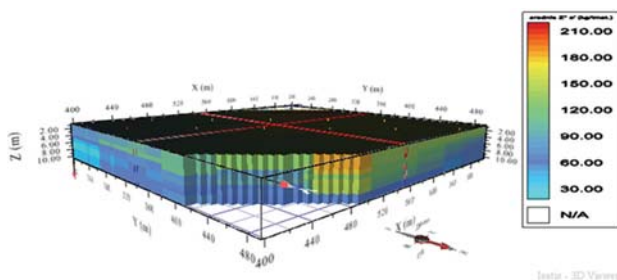
W interwale głębokości od 1–2 m na mapach (rys. 3–4) zaznacza się małe centrum o podwyższonej wzbogacalności e' (192,94–224,65 kg/t_{mat} — 1 m; 183,69–210,28 kg/t_{mat} — 2 m), o lokalizacji zgodnej z małym podobszarem o zwiększonej zawartości C_{org} . Na głębokości 9 m strefa o większej wzbogacalności e' ujawnia się już bardzo słabo (Z^* : 106,54–123,02 kg/t_{mat} ; 106,75–121,49 kg/t_{mat} ; 70,21–77,26 kg/t_{mat} — rys. 5), zanikając na 10 m (rys. 6). Ponadto na głębokości od 9–10 m pojawia się jeszcze jedno małe



Rys. 5. Mapa rastrowa rozkładu średnich estymowanych Z^* wzbogalności e' [kg/t_{mat}] popiołożużli w hałdzie odpadów — zbiornik A (poziom 9 m)



Rys. 6. Mapa rastrowa rozkładu średnich estymowanych Z^* wzbogalności e' [kg/t_{mat}] popiołożużli w hałdzie odpadów — zbiornik A (poziom 10 m)



Rys. 7. Wizualizacja (3D) rozkładu średnich estymowanych Z^* wzbogalności e' [kg/t_{mat}] popiołożużli w hałdzie odpadów (filtrowanie sieci)

centrum o większych wartościach Z^* , w zakresach od 77,26–87,85 kg/t_{mat} (rys. 5) i od 73,60–82,99 kg/t_{mat} (rys. 6).

Wymienione wyżej centra o podwyższonej wzbogalności e' zlokalizowane są na podob-szarze o wartościach Z^* parametru e' , zawierających się w granicach od 150,66–182,37 kg/t_{mat}

na 1 m (rys. 3), od 148,24–174,83 kg/t_{mat} na 2 m (rys. 4) do 63,15–73,74 kg/t_{mat} na 9 m (rys. 5) i 61,08–70,47 kg/t_{mat} na 10 m (rys. 6). Na podobszarze o najniższej wzbogacalności e' , przemieszczając się wraz z głębokością, zakresy średnich Z^* zmieniają się od 55,54–150,66 kg/t_{mat} — 1 m (rys. 3), 68,46–148,24 kg/t_{mat} — 2 m (rys. 4) do 31,40–63,15 kg/t_{mat} — 9 m (rys. 5) i 32,90–61,08 kg/t_{mat} — 10 m (rys. 6).

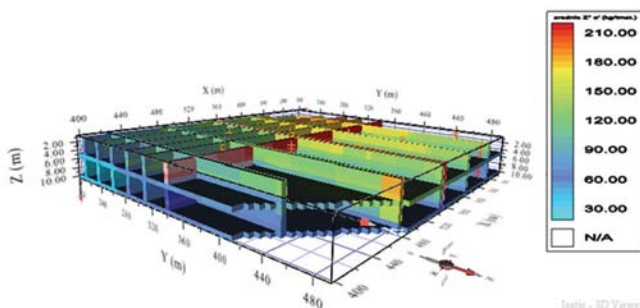
Strefom o zwiększonej zawartości węgla organicznego C_{org} i o podwyższonej wzbogacalności e' (rys. 3–6) [15] odpowiadają centra o obniżonej zawartości popiołu A_o i odwrotnie [12]. W tych miejscach stwierdza się większą wilgotność W [12].

Maksymalne średnie estymowane Z^*
wzbogacalności e'

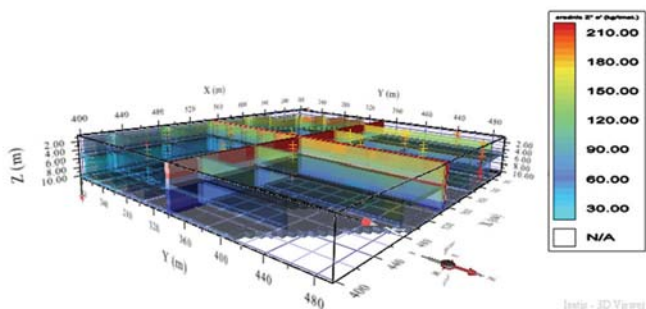
Minimalne średnie estymowane Z^*
wzbogacalności e'

1 m	92,94 ÷ 224,65 [kg/t _{mat}]	55,54 ÷ 87,25 [kg/t _{mat}]
2 m	183,69 ÷ 210,28 [kg/t _{mat}]	68,46 ÷ 95,06 [kg/t _{mat}]
3 m	158,84 ÷ 182,81 [kg/t _{mat}]	54,94 ÷ 78,92 [kg/t _{mat}]
4 m	150,13 ÷ 176,24 [kg/t _{mat}]	36,96 ÷ 63,08 [kg/t _{mat}]
5 m	136,16 ÷ 163,82 [kg/t _{mat}]	16,30 ÷ 43,96 [kg/t _{mat}]
6 m	125,59 ÷ 150,67 [kg/t _{mat}]	16,88 ÷ 41,97 [kg/t _{mat}]
7 m	123,02 ÷ 147,74 [kg/t _{mat}]	15,90 ÷ 40,62 [kg/t _{mat}]
8 m	121,49 ÷ 143,60 [kg/t _{mat}]	25,69 ÷ 47,79 [kg/t _{mat}]
9 m	77,26 ÷ 87,85 [kg/t _{mat}]	31,40 ÷ 41,99 [kg/t _{mat}]
10 m	73,60 ÷ 82,99 [kg/t _{mat}]	32,90 ÷ 42,29 [kg/t _{mat}]

Analizując zachowanie się zakresów maksymalnych średnich Z^* wzbogacalności e' można zauważyć bardzo wyraźny trend zmniejszający, wraz z przemieszczaniem się w coraz głębsze poziomy popiołożużli (rys. 3–9). Spostrzeżenie to dotyczy, zarówno dolnych, jak i górnych granic zakresów maksymalnych średnich Z^* . Dolne i górne granice minimalnych średnich Z^* zmniejszają się do głębokości 7 m (rys. 3–4), a następnie w interwale od 8–10 m stwierdza się ponownie większe średnie Z^* parametru e' (rys. 5–6).



Rys. 8. Wizualizacja (3D) rozkładu średnich estymowanych Z^* wzbogacalności e' [kg/t_{mat}] popiołożużli w hałdzie odpadów (warstwowanie)



Rys. 9. Wizualizacja (3D) rozkładu średnich estymowanych Z^* wzbogacalności e' [kg/t_{mat}] popiołożuźli w hałdzie odpadów (przezroczystość)

Zmienność 3-ch analizowanych parametrów, tj. zawartości węgla C_{org} , ich wilgotności W i wzbogacalności e' wykazuje określoną prawidłowość [12, 15]. Maksymalne i na ogół minimalne średnie Z^* , a szczególnie ich górne granice, zmniejszają się systematycznie (trend zmniejszający się), wraz z przemieszczaniem się w głębsze warstwy popiołożuźli. Natomiast zakresy maksymalnych średnich Z^* zawartości popiołu A_o wyraźnie zwiększają się [12].

Współczynnik zmienności V średnich Z^* wzbogacalności (43 %) wskazuje na stosunkowo duże zróżnicowanie parametru e' (tabela 3). Podczas szacowania średnich Z^* uzyskano niskie wartości standardowego odchylenia estymacji σ_k i współczynnika V odchylenia σ_k . Może to świadczyć o właściwym dopasowaniu przyjętego modelu teoretycznego do przebiegu kierunkowego wariogramu empirycznego.

Najsilniejszą przestrzenną korelację r ze znakiem dodatnim, zaznaczającą się na mapach rastrowych rozkładów średnich estymowanych Z^* stwierdzono w przypadku zawartości węgla organicznego C_{org} i wzbogacalności e' [12, 15].

Największe średnie Z^* zawartości węgla organicznego C_{org} i wzbogacalności e' cechują warstwy powierzchniowe (1–2 m) i przypowierzchniowe (3–4 m) analizowanej hałdy odpadów (rys. 3–4 i 7–9), zaś wyraźnie mniejsze Z^* cechują głębiej zalegające warstwy, tj. interwał od 5–8 m (rys. 7–9) [12, 15]. Najmniejszą zawartość węgla C_{org} i wzbogacalność e' stwierdzono w najgłębiej zalegających warstwach, od 9–10 m (rys. 5–9).

Podsumowując można zauważyć, iż właśnie warstwy popiołożuźli, wykazujące największą wzbogacalność e' , mogłyby stanowić obiekt zainteresowania i wykorzystania przez określone sektory gospodarki narodowej.

8. Podsumowanie

Opracowano model geostatystyczny (3D) zmienności parametrów technologicznych popiołożuźli wypełniających hałdę odpadów. Model ten pozwala na rozpoznanie przestrzennego zróżnicowania wartości tych parametrów w poziomym i pionowym rozprzestrzenieniu warstw popiołożuźli. Opracowanie tego modelu umożliwiło stworzenie pełnej dokumentacji obrazu wykrytej zmienności w postaci map rastrowych rozkładów średnich estymowanych

Z^* i standardowego odchylenia estymacji σ_k , a także innych parametrów charakteryzujących efektywność przeprowadzonego szacowania.

Zastosowanie metod geostatystycznych do opisu zmienności parametrów technologicznych odpadów — traktowanych jako złoża antropogenne (antropogeniczne), pozwoliło pozyskać bogaty zbiór cennych informacji, zarówno z poznawczego, metodycznego, jak i praktycznego punktu widzenia. Te istotne dane mogą okazać się bardzo przydatne przy ewentualnym podjęciu prac nad gospodarczym wykorzystaniem zdeponowanego materiału.

LITERATURA

- [1] *Armstrong M.*: Basic Linear Geostatistics. Springer Verlag, Berlin, 1998, p. 153
- [2] *Isaaks E. H., Srivastava R. M.*: An Introduction to Applied Geostatistics. OUP, N.Y., 1989, p. 561.
- [3] *Mucha J., Nieć M.*: Struktura zmienności parametrów złoża. [w:] Piestrzyński A. (red.) Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Lubin, 1996, s. 195–200
- [4] *Mucha J.*: Struktura zmienności zawartości Zn i Pb w śląsko–krakowskich złożach rud Zn-Pb. Studia Rozprawy Monografie 108. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią IGSMiE PAN, Kraków, 2002, s. 149
- [5] *Namysłowska-Wilczyńska B.*: Zmienność złóż rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej w świetle badań geostatystycznych. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej 64 Seria: Monografie 21. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1993, s. 207.
- [6] *Namysłowska-Wilczyńska B., Rusak K.*: Geostatistics Description of Heavy Metal Content Variation in Soil of Olkusz Region Against a Background of Geological Structure by GIS Method. *Mathematische Geologie, Volume 7. Mathematical Methods Applied to Geology and Mining. Mathematische Methoden in Geologie und Bergbau.* CPress Verlag. Band 7, Dresden, December 2003, pp. 51–63
- [7] *Namysłowska-Wilczyńska B., Pyra J.*: Analiza przestrzenna zawartości miedzi w środowisku gruntowo-wodnym Legnicko–Głogowskiego Okręgu Miedziowego. *ROCZNIKI GEOMATYKI (Annals of Geomatics), Tom III, Zeszyt 4, Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej, Warszawa, 2005, s. 137–147*
- [8] *Namysłowska-Wilczyńska B., Rusak K.*: Zastosowanie geostatystyki i GIS do analizy wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych na koncentrację metali ciężkich w glebach rejonu olkuskiego. *ROCZNIKI GEOMATYKI (Annals of Geomatics), Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej, Warszawa, Tom III, Zeszyt 2, 2005, s. 115–124*
- [9] *Namysłowska-Wilczyńska B., Wilczyński A.*: Zastosowanie metod geostatystycznych do analizy przestrzennej zmienności obciążeń elektrycznych dla obszaru Polski. *ROCZNIKI GEOMATYKI (Annals of Geomatics), Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej, Warszawa, Tom III, Zeszyt 2, 2005, s. 125–134*
- [10] *Namysłowska-Wilczyńska B.*: Geostatystyka — Teoria i Zastosowania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2006, s. 356
- [11] *Namysłowska-Wilczyńska B.*: Modelowanie i prognozowanie (3D) wysokości opadu atmosferycznego i zawartości siarczanów w opadzie dla obszaru dorzecza środkowej Odry z zastosowaniem geostatystyki. 3D Geostatistical Modelling and Forecasting of Precipitation Amount and Sulphate Content in Precipitation for Middle Oder Basin. Praca zbiorowa — Modelowanie Procesów Hydrologicznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2008, s. 35–74

- [12] *Namysłowska-Wilczyńska B.*: Analiza geostatystyczna zmienności parametrów technologicznych popiołożużli dla wybranej hałdy odpadów. Raport Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej serii SPR nr 8/2008. Wrocław, 2008, s. 115
- [13] *Namysłowska-Wilczyńska B.*: 3D Geostatistical Modelling of Parameters of Rio Blanco Porphyritic Copper Deposit in Peru. Proceedings — Primer Seminario Internacional de Geología para la Industria Minera, Editors: Irene Aracena, Carmen Holmgren & Romke Kuyvenhoven, GEOMIN 2009, GECAMIN, 10–12 June 2009, Antofagasta, Chile, CAPITULO 05, Geoestadística, 2009, pp. 301–325
- [14] *Namysłowska-Wilczyńska B.*: Analizy przestrzenne z zastosowaniem metod geostatystycznych. Modelowanie 3D porfirowego złoża miedzi Rio Blanco w Peru. Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej . Annals of Geomatics, Volume V Number 1 Warszawa, 2007, pp. 91–103
- [15] *Namysłowska-Wilczyńska B., Skorupska B., Wieniewski A.*: Application of Geostatistical Methods to Describe Variation in Technological Parameters of Ash–slags. PROCEEDINGS OF LINNAEUS ECO-TECH '10 22-24 November, 2010 KALMAR, SWEDEN, Edited by: Fabio Kaczala, Sandrine Arzur, Ida Tjader, William Hogland, 2010, pp. 607–618
- [16] *Wackernagel H.*: Multivariate Geostatistics, An Introduction with Applications. 2nd edition, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1998, p. 291
- [17] *Wieniewski A., Skorupska B. et al.*: Development of a Technology of Utilizing Waste Dump Ash–slags Through Carbon Separation by Froth Flotation (in Polish), Technological Initiative I Project, INFM 6656/1–12/09, Gliwice, 2009
- [18] *Wieniewski A., Skorupska B., Mazurek D.*: Technology of Utilizing Waste Dump Ash–slags Through Carbon Separation by Froth Flotation. XVIIth International Conference on Ashes in Power Industry, Zakopane, 2009