

KATEGORYZACJA ZASOBÓW ZŁÓŻ WĘGLA KAMIENNEGO W ŚWIETLE WYTYCZNYCH DO JORC CODE I GEOSTATYSTYKI

CATEGORIZATION OF BITUMINOUS COAL RESOURCES BASED UPON THE GUIDELINES OF THE JORC CODE AND THE GEOSTATISTICS

Jacek Mucha, Monika Wasilewska-Błaszczuk - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, WGGiOŚ, KGZiG, Kraków

Skrótowo opisano zasady kategoryzacji zasobów złóż węgla kamiennego ujęte w australijskich wytycznych oceny i raportowania zasobów. Nawiązano do polskiej klasyfikacji stopnia zbadania złoża. Przedstawiono możliwości geostatystycznego wsparcia kategoryzacji zasobów wynikami badania zmienności parametrów zasobowych za pomocą semiwariogramów i oceny dokładności ich szacowania metodą krigingu. Wykazano, że stosowanie zasięgów semiwariogramów jako jedyne kryterium wyznaczania granic poszczególnych kategorii zasobów jest niewystarczające. Zaproponowano nową metodę kategoryzacji zasobów opartą na względnym udziale nielosowego składnika zmienności parametru zasobowego w jego całkowitej zmienności dla izotropowego modelu sferycznego semiwariogramu. W jej ramach założono, że zasoby węgla wokół punktów rozpoznania do odległości odpowiadającej minimalnemu udziałowi składnika nielosowego - 2/3 można zakwalifikować do kategorii measured, dla odległości odpowiadającej udziałom z przedziału od 2/3 do 1/3 - do kategorii indicated oraz dla odległości odpowiadającej udziałom z przedziału od 1/3 do 1/10 - do kategorii inferred. Podano przykłady oszacowań zasięgów kategorii dla trzech wytypowanych pokładów polskich złóż węgla kamiennego.

Słowa kluczowe: węgiel kamienny, zasoby, JORC Code, geostatystyka, kategoryzacja

The authors briefly describe the principles of categorization of bituminous coal resources contained in the Australian guidelines for Estimating and Reporting of Inventory Coal, Coal Resources and Coal Reserves reports, and refers these guidelines to the Polish categories of deposit assessment. The opportunities are presented of geostatistical approach as a support for categorization of resources provided by semivariograms which estimate the variability of deposit parameters and by the kriging-based accuracy evaluation of deposit parameters estimations. It was demonstrated that the application of semivariograms ranges as the only criterion contouring the particular resources categories is insufficient. Hence, the new method of resources categorization was proposed, based upon the relative share of non-random component of variability of given deposit parameter in its overall variability determined for isotropic model of spherical semivariogram. The new method presumes that coal resources around the measurement sites of deposit parameters can be categorized as "measured" within the distance corresponding to the minimum share of non-random component, which is 2/3. For the distance corresponding to the share of non-random component between 2/3 and 1/3, the resources can be categorized as "indicated" and those contained with the distance corresponding to the share of non-random component between 1/3 to 1/10 can be regarded as "inferred". The examples are provided of categories ranges for the 3 selected coal seams from the Polish deposits.

Key words: coal, resources, JORC Code, geostatistics, categorization

Wprowadzenie

Stosowany w wielu krajach świata (m.in. Australii i Oceanii, Kanadzie) i zdobywający coraz większą popularność system raportowania wyników rozpoznania złoża oraz oceny jego zasobów znany pod nazwą JORC Code (ostatnia edycja 2012) [14], w odniesieniu do metodyki kategoryzacji zasobów złóż węgla kamiennego odsyła zainteresowanych do zaleceń

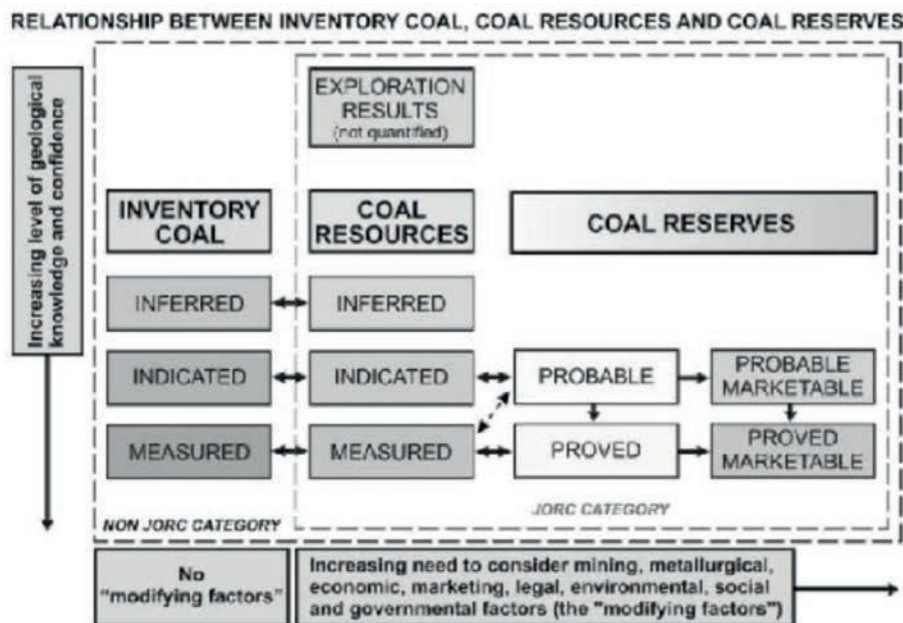
zawartych w Australian guidelines...(2003) [1] zwanych dalej wytycznymi. Ich istotnymi elementami są wymagania dotyczące minimalnych uzysków rdzenia (95%) oraz maksymalnych (dopuszczalnych) rozstawów punktów rozpoznania (obserwacji). JORC Code wyróżnia dwa rodzaje zasobów złóż kopalin stałych: resources (zasoby bilansowe) i reserves (zasoby eksploatacyjne lub operatywne) [11]. Wytyczne [1] dla złóż węgla kamiennego wyróżniają jeszcze jeden rodzaj zasobów:

inventory coal (zasoby geologiczne – bilansowe i pozabilansowe) (tab. 1). Należą do nich wszystkie zasoby węgla *in situ* i z definicji zawierają w sobie resources. W odróżnieniu jednak od resources nie są ograniczone przez wymóg ekonomicznie uzasadnionej eksploatacji w dającej się przewidzieć przyszłości. Inventory coal nie wchodzi w zakres treści kodeksu JORC i nie mogą być wykazywane w raportach. Przykładowo można do nich zaliczyć partie złoża węgla niedostępne dla eksploatacji z powodu uwięzienia zasobów w filarach ochronnych lub konieczności spełnienia wymogów ochrony środowiska, o zbyt stromym nachyleniu pokładów lub zbyt dużej głębokości ich występowania jak również zbyt małej miąższości pokładów.

Wprowadzenie dodatkowego rodzaju zasobów podyktowane było koniecznością tworzenia długoterminowych prognoz

Tab. 1. Kategorie zasobów węgla kamiennego wg wytycznych do JORC Code [14]

Tab. 1. Categories of bituminous coal resources after the guidelines of the JORC Code [14]



zasobowych, ważnych dla instytucji rządowych z uwagi na ich znaczenie dla planowania zagospodarowania przestrzennego i ochrony środowiska.

W obrębie dwóch pierwszych rodzajów zasobów węgla (inventory coal i resources) wyróżnia się trzy kategorie stopnia ich zbadania w zależności od stopnia zaufania do rozpoznania ciągłości geologicznej pokładów oraz oszacowań parametrów złoża (miąższości, głębokości, zasobów i jakości węgla):

- inferred (zasoby przypuszczalne) – niski poziom zaufania, niewystarczający dla projektowania eksploatacji,
- indicated (zasoby wykazane) – realistyczny poziom zaufania, wystarczający do wstępnego projektowania eksploatacji,
- measured (zasoby pomierzone) – wysoki poziom zaufania, wystarczający dla szczegółowego projektowania eksploatacji.

Podane w nawiasach polskie określenia kategorii zasobów należy traktować jako orientacyjne z uwagi na trudności z dopasowaniem prostych, a zarazem trafnych polskich odpowiedników [11].

Ostateczna decyzja co do kategoryzacji zasobów należy do tzw. osoby kompetentnej (competent person, estimator).

Wymienione kategorie zasobów można skorelować z polskimi kategoriami stopnia zbadania złoża według następującego schematu [11]:

- inferred – kategoria D+C₂,

- indicated – kategoria C₂, C₁,
- measured – kategoria A+B.

Zasady kategoryzacji zasobów węgla

Wytyczne [1] do JORC Code podają dopuszczalne rozstawy punktów rozpoznania, które dla poszczególnych kategorii stopnia zbadania i rozpoznania złóż węgla przedstawiają się następująco:

- inferred – do 4 km,
- indicated – do 1 km,
- measured – do 0,5 km.

Warto zwrócić uwagę, że maksymalne interwały punktów rozpoznania według Wytycznych [1] nie odbiegają generalnie (w

sensie rzędu wielkości) od maksymalnych rozstawów podanych w nieobowiązujących już polskich przepisach o ustalaniu zasobów złóż kopalin stałych dla złóż węgla kamiennych z 1980 r. (tab. 2) [12].

W przypadku dwóch ostatnich kategorii (indicated i measured) wymienione rozstawy mogą być zwiększone o ile uzasadniają to wyniki analizy geostatystycznej. Wytyczne nie precyzują jednak na czym ma polegać i jaki ma być zakres analizy.

Dotychczasowe doświadczenia pokazują, że najczęstsze są tu dwa podejścia. Pierwsze z nich, będące przedmiotem niniejszego artykułu, polega na powiązaniu zasięgu poszczególnych kategorii zasobów z wynikami geostatystycznego badania struktury zmienności reprezentatywnego parametru zasobowego (miąższości pokładu lub zasobności jednostkowej węgla) za pomocą semiwariogramów, a w szczególności z oszacowaniami zakresu autokorelacji i siły nielosowego składnika zmienności tego parametru. Pozytywny wynik analizy geostatystycznej oznacza tu, że wartości parametrów zasobowych cechują się dużym zasięgiem autokorelacji i wysokimi udziałami składnika nielosowego zmienności. Drugie podejście polega na geostatystycznej ocenie lub prognozie błędu oszacowania zasobów dla partii złoża o określonej wielkości. Zakładając dopuszczalne wielkości błędów dla poszczególnych kategorii można określić maksymalne rozstawy punktów rozpoznania. Przykładowo w Australii dla fragmentów

Tab. 2. Węgiel kamienny. Orientacyjne odległości między otworami wiertniczymi lub wyrobiskami górnictwymi dla kategorii rozpoznania (nieobowiązujące Przepisy o ustalaniu zasobów złóż kopalin stałych [12])

Tab. 2. Bituminous coal. Approximate distances between the wells or mine workings for given assessment categories (after "Regulations for resources assessment of solid raw materials", Central Mining Board, 1980, recently not in force [12])

Grupa złoża*	Odległości między wyrobiskami dla kategorii rozpoznania (w metrach)			
	C ₂	C ₁	B	A
I	4000 - 3000	3000 - 1500	1500 - 1000	tylko wyrobiska górnictwowe do 500
II	3000 - 1500	1500 - 1000	1000 - 500 w tym co najmniej jedno wyrobisko górnictwowe	tylko wyrobiska górnictwowe do 300
III	1500 - 1000	1000 - 500	tylko wyrobiska górnictwowe 500 - 250	tylko wyrobiska górnictwowe do 200

* określa stopień skomplikowania budowy geologicznej i zmienności jakości węgla

złoża węgla przewidywanych do eksploatacji w okresie 5 lat Bertoli et al. [2] podają dla poszczególnych kategorii następujące wielkości dopuszczalnych błędów oszacowania zasobów wyznaczanych geostatystyczną metodą krigingu zwyczajnego lub metodą symulacji geostatystycznej:

- measured – do 10%,
- indicated – od 10% do 20%,
- inferred – od 20% do 50%.

Dopuszczalne wielkości błędów oszacowań parametrów złoża stosuje się również w polskiej klasyfikacji stopnia zbadania złoża [13]. Dla poszczególnych kategorii wynoszą one: A – 10%, B – 20%, C₁ – 30%, C₂ – 40%. Na tej podstawie można przypisać wstępnie kategoriom JORC Code następujące dopuszczalne błędy: measured – 20%, indicated – 30% i inferred – 40%.

Geostatystyczna analiza zmienności dla potrzeb kategoryzacji zasobów

Opisu struktury zmienności w geostatystyce Matherona dokonuje się w oparciu o wyniki rozpoznania (opróbowania) złoża za pomocą semiwariogramów, które ujmuje zależność między średnim kwadratem różnic wartości parametrów i średnią odległością między punktami rozpoznania [8]. W dalszym postępowaniu dla zgeneralizowania tych zależności, semiwariogramy zastępuje się modelami teoretycznymi czyli

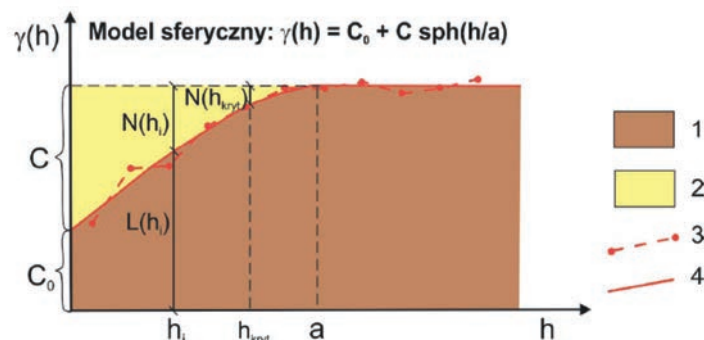
przybliżającymi je funkcjami analitycznymi ciągłymi dozwolonymi przez teorię geostatystyki. Zasady interpretacji i modelowania semiwariogramów zostały opisane wyczerpująco w pracy Gringarten'a i Deutsch'a [4].

Zastąpienie semiwariogramu modelem teoretycznym umożliwia szybką, ilościową ocenę ciągłości i płynności zmian parametrów złożowych wymaganą w trakcie kategoryzacji zasobów według JORC Code. Sposób tej oceny przedstawiono na przykładzie popularnego w geostatystyce izotropowego modelu sferycznego zmienności (rys. 1), często wykorzystywanego przy opisie zmienności miąższości pokładów polskich złóż węgla kamiennego [5, 9]. Do opisu zmienności miąższości pokładów polskich złóż węgla kamiennego stosowano także inne modele geostatystyczne: liniowy [5] oraz Gaussa i wykładniczy [9]. Należy jednak wspomnieć, że w większych skalach obserwacji zmienność miąższości pokładów może mieć charakter anizotropowy [6]. Ta ważna cecha struktury zmienności parametru może mieć istotny wpływ na dokładność szacowania zasobów i zasięg ich kategoryzacji [10].

Rozpatrywany w niniejszej pracy model sferyczny izotropowy opisany jest równaniem:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1.5 h/a - 0.5 h^3/h^3 \right] \quad (1)$$

lub w zapisie uproszczonym:



Rys.1. Semiwariogram i sferyczny model zmienności parametru

Objaśnienia: oś rzędnych: $\gamma(h)$ – średnie zróżnicowanie wartości parametru, oś odciętych: h – odległość między punktami złoża; 1 – pole zmienności losowej, 2 – pole zmienności nielosowej, 3 – semiwariogram, 4 – sferyczny model zmienności parametru (model semiwariogramu)

C_0 – minimalna wariancja losowego składnika zmienności parametru, C – maksymalna wariancja nielosowego składnika zmienności parametru, a – zasięg semiwariogramu (autokorelacji), $N(h_i)$ i $L(h_i)$ – nielosowy i losowy składnik zmienności parametru dla odległości h_i między punktami złoża, h_{kr} – zasięg odległości, do której składnik nielosowy zmienności jest statystycznie istotny

Fig. 1. Semivariogram and spherical model of parameter variability

Explanations: axis of ordinates: $\gamma(h)$ – average diversity of parameter values, axis of abscissae: h – distance between measurement sites within deposit, 1 – field of random variability, 2 – field of non-random variability, 3 – semivariogram, 4 – spherical model of parameter variability

C_0 – minimum variance of random component of parameter variability, C – maximum variance of non-random component of parameter variability, a – range of semivariogram (autocorrelation), $N(h_i)$ and $L(h_i)$ – respective, non-random and random components of parameter variability for distance h_i between measurement sites, h_{kr} – range to which the non-random component of parameter variability is statistically valid

$$\gamma(h) = C_0 + C \text{sph}(h/a)$$

Wyznaczone wartości parametrów modelu sferycznego (C_0 , C i a) charakteryzują strukturę zmienności badanego parametru złożowego, a w szczególności:

- C_0 – wyraża minimalną wartość składnika losowego zmienności (L) a zarazem zmienność lokalną parametru; im wyższa wartość C_0 tym mniejsza ciągłość i płynność zmian wartości parametru w złożu,
- C – wyraża maksymalną wartość nielosowego składnika zmienności (N); im wyższe wartości C tym większa jest ciągłość (płynność) zmian parametru złożowego i silniej zaznaczone prawidłowości zmienności przestrzennej parametru,
- a – zasięg semiwariogramu pokazujący jednocześnie maksymalny zasięg autokorelacji (podobieństwa) wartości parametru złożowego; wartości parametru złożowego w punktach oddalonych o więcej niż „ a ” nie wykazują żadnej korelacji.

Wzajemne relacje tych trzech parametrów pozwalają przewidywać efektywność metod geostatystycznych, rozumianą jako możliwą do uzyskania dokładność szacowania wartości parametrów złożowych. W formie schematu ideowego przedstawiono to na rysunku 2, gdzie efektywność wyrażono w sposób opisowy w zależności od udziału składnika nielosowego (C) w całkowitej zmienności reprezentatywnego parametru złożowego (C_0+C) oraz zasięgu semiwariogramu teoretycznego (autokorelacji) (a) wyrażonego w jednostkach średniego rozstawu punktów rozpoznania (d_{sr}). Schemat opracowany na podstawie wieloletnich doświadczeń autorów artykułu jednoznacznie pokazuje, że o efektywności geostatystyki decyduje struktura zmienności parametru i dalece niewystarczające

jest przy jej ocenie uwzględnianie wyłącznie zasięgu autokorelacji. Przykładowo, dla znaczącego zasięgu autokorelacji rzędu 15 średnich rozstawów opróbowania ($a/d_{sr} = 15$) i maksymalnego udziału składnika nielosowego równego 50% ($\frac{C}{C_0+C} = 50\%$), efektywność metod geostatystycznych można określić jedynie jako małą.

Z punktu widzenia oceny stopnia ciągłości (płynności) zmian parametru złożowego, wygodniej jest posługiwać się względnym udziałem nielosowego składnika zmienności, który dla dowolnych odległości (h) między punktami złoża można obliczyć ze wzoru:

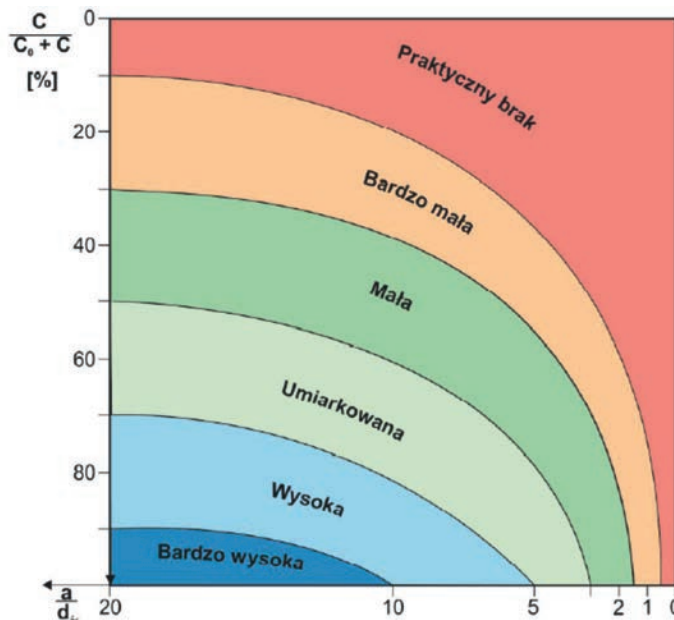
$$U_N(h) = \frac{N(h)}{L(h) + N(h)} \cdot 100\% = \frac{C_0 + C - \gamma(h)}{C_0 + C} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie: $\gamma(h)$ – wartość obliczana z równania modelu sferycznego

(1); $N(h)$ i $L(h)$ – odpowiednio składnik nielosowy i losowy zmienności dla odległości h między punktami złoża (rys. 1). We wzorze (2) wielkość składnika nielosowego odniesiona jest do sumy wielkości składników losowego i nielosowego, która jest równa teoretycznej wariancji statystycznej. Udział składnika nielosowego zmienności może przyjmować wartości z przedziału od 0% (zmienność czysto losowa, brak ciągłości i płynności, skokowe zmiany wartości parametru złożowego nawet w sąsiednich, przyległych punktach złoża) do 100% (idealna ciągłość i płynność zmian).

Nowa propozycja kategoryzacji zasobów węgla

W świetle geostatystycznej analizy zmienności niewłaściwe jest przyjmowanie jako jedyne kryterium kategoryzacji



Rys. 2. Schemat ilustrujący efektywność geostatystyki jako metody szacowania parametrów złożowych w zależności od wartości parametrów modelu sferycznego

Objaśnienia: $\frac{a}{d_{sr}}$ – zasięg modelu sferycznego (a) wyrażony w jednostkach średniego rozstawu punktów rozpoznania (opróbowania) (d_{sr}), $\frac{C}{C_0+C}$ – maksymalny udział składnika nielosowego [%]

Fig. 2. Schematic presentation of effectiveness of geostatistics as a method of estimation of deposit parameters depending on values of spherical model parameters

Explanations: $\frac{a}{d_{sr}}$ – range of spherical model (a) expressed in unit of average distance between measurements (sampling) sites (d_{sr}); $\frac{C}{C_0+C}$ – maximum share of non-random component [%]

zasobów zasięgu semiwariogramu teoretycznego (modelu semiwariogramu) miąższości pokładów lub zasobności jednostkowej węgla (rys. 2). Takie podejście zastosował przykładowo Larkin [7] dla jednego ze złóż molibdenu w Mongolii, przypisując partiom złoża wokół punktów rozpoznania w promieniu równym 1/3 zasięgu semiwariogramu kategorię measured, w pierścieniu o promieniach między 1/3 i 2/3 zasięgu semiwariogramu kategorię indicated oraz w pierścieniu z promieniami skrajnym od 2/3 do 1 zasięgu semiwariogramu kategorię inferred (rys. 3).

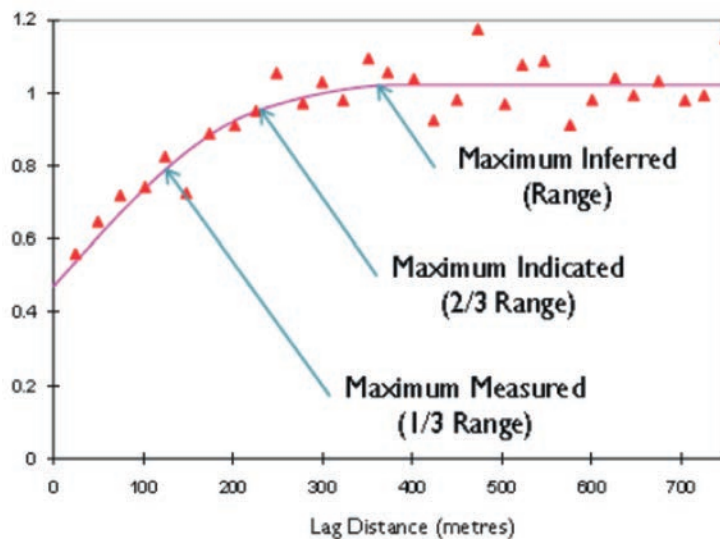
Zastosowany sposób kategoryzacji ignoruje jednak obserwowaną ciągłość i płynność zmian parametru złożowego i może prowadzić do absurdalnych wyników. Podobną wadą obarczona jest propozycja nowej metody kategoryzacji zasobów górnośląskich niezagospodarowanych złóż Zn-Pb [3].

W tej sytuacji racjonalna wydaje się propozycja, aby jako

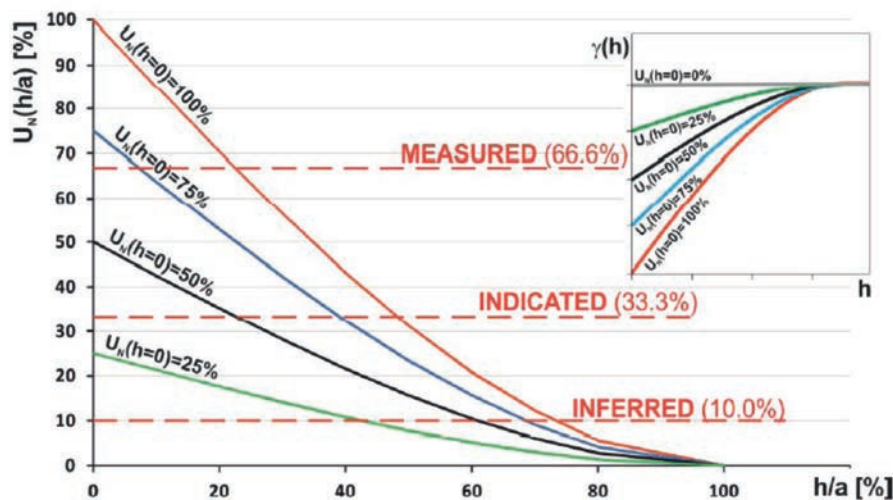
kryterium kategoryzacji przyjąć parametr modelu geostatystycznego opisujący strukturę zmienności reprezentatywnego parametru zasobowego, który uwzględni zarówno zasięg semiwariogramu teoretycznego jak i ciągłość oraz płynność zmian. Tę rolę może pełnić minimalny udział składnika nielosowego w całkowitej zmienności parametru zasobowego. Można przyjąć, że granice kategorii zasobów measured wyznaczają koła wokół punktów rozpoznania o zasięgu (promieniu), dla którego udział składnika nielosowego $U_N(h)$ stanowi co najmniej 2/3 całkowitej zmienności, do kategorii indicated pierścienie wyznaczone przez promienie, dla których udziały składnika nielosowego mieszczą się w przedziale od 2/3 do 1/3 oraz do kategorii inferred pierścienie z promieniami odpowiadającymi udziałom składnika nielosowego między 1/3 i 1/10.

W zasadzie, zasięg kategorii zasobów inferred powinien odpowiadać takiej maksymalnej odległości, dla której udział

Molibdenum
Omni-Directional Variogram



Rys. 3. Kategoryzacja zasobów oparta wyłącznie na zasięgach semiwariogramu teoretycznego (model sferyczny) [7]
Fig. 3. Categorization of resources based exclusively on ranges of theoretical semivariograms (spherical model) [7]



Rys. 4. Propozycja kategoryzacji zasobów węgla oparta na minimalnych udziałach nielosowego składnika w zmienności całkowitej miąższości pokładów lub zasobności węgla (dla izotropowego modelu sferycznego)

Objaśnienia: h/a – odległość wyrażona w jednostkach zasięgu semiwariogramu sferycznego; $\gamma(h/a)$ – średnie zróżnicowanie parametru złożowego dla punktów rozpoznania odległych o h/a ; $U_N(h=0)$ – maksymalny udział składnika nielosowego; Measured Indicated Inferred – kategorie zasobów wg JORC Code

Fig. 4. Proposed categorization of bituminous coal resources based upon the minimum shares of non-random component in overall variability for coal seam thickness and coal accumulation index (spherical model of variability)

Explanations: h/a – distance expressed in units of spherical semivariogram range; $\gamma(h/a)$ – average diversity of deposit parameter for measurement sites distant by h/a ; $U_N(h=0)$ – maximum share of non-random component; Measured, Indicated, Inferred – resources assessment categories after the JORC Code

składnika nielosowego jest jeszcze statystycznie istotny. Problemem jest jednak wyznaczenie takiej odległości, gdyż określenie statystycznej istotności składnika nielosowego wymaga spełnienia pewnych teoretycznych założeń np. dotyczących normalności rozkładów i niezależności pomiarów różnic wartości parametru dla różnych odległości punktów rozpoznania, co jest w praktyce trudne. Z tego względu za zasięg maksymalny kategorii inferred przyjęto arbitralnie taką odległość, dla której minimalny udział składnika nielosowego wynosi 1/10 (10%) uznając tę wartość za zbliżoną do wartości krytycznej $N(h_{kr})$ (rys. 1).

W warunkach izotropowej struktury zmienności parametru zasobowego opisywanego przez model sferyczny semiwariogramu o zasięgu autokorelacji „a” i dla 4 wariantów maksymalnego udziału składnika nielosowego $U_N(h=0) = \frac{c}{C_0 + c} \cdot 100\%$ zakres

odległościowy poszczególnych kategorii można odczytać z wykresu przedstawionego na rysunku 4.

Jak wynika z rysunku 4 w przypadku maksymalnego udziału składnika nielosowego równego 50%, co ma często miejsce w przypadku zasobności jednostkowej rud i metali, niemożliwe jest kwalifikowanie zasobów do kategorii measured, do indicated można zaliczyć zasoby wokół punktów rozpoznania w promieniu stanowiącym zaledwie około 25% zasięgu semiwariogramu zaś do inferred w promieniu około 65% zasięgu semiwariogramu.

Korzystając z wykresów przedstawionych na rysunku 4 wyznaczono, w przybliżony sposób, maksymalne zasięgi poszczególnych kategorii zasobów dla dwóch wytypowanych pokładów kopalń GZW i jednego pokładu LZW (tab. 3). Podstawę obliczeń stanowiły modele semiwariogramów miąższości pokładów pomierzonych w trakcie rozpoznania wiertniczego (rys. 5).

We wszystkich przypadkach dopasowane do semiwariogramów modele były sferyczne z wysokimi maksymalnymi udziałami

składników nielosowych ($U_N(h=0) = 65-85\%$), typowymi dla większości pokładów węgla kamiennego.

Dane zawarte w tabeli 3 wykazują dość duże zróżnicowanie. Obliczone zasięgi szczególnie dla kategorii indicated i inferred wydają się znaczne co sugeruje, że przyjęte kryteria odnośnie do minimalnych udziałów składnika nielosowego być może były zbyt liberalne.

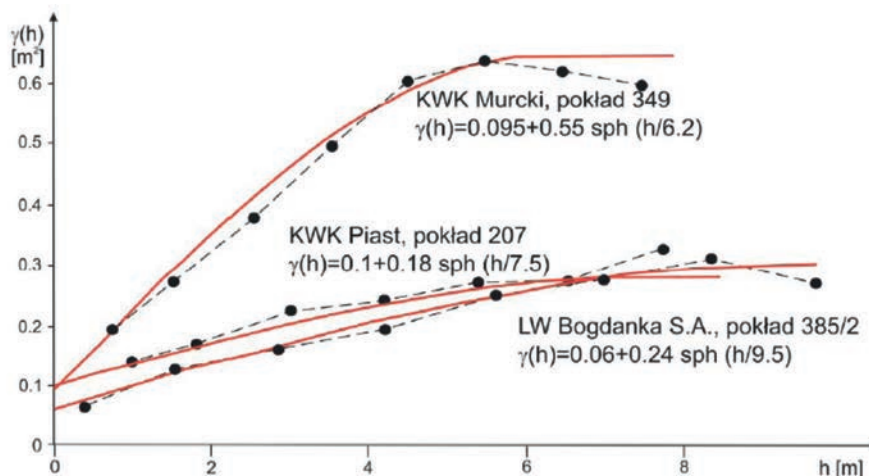
Podsumowanie i wnioski

Przedstawioną propozycję geostatystycznego wyznaczania zasięgów kategorii zasobów złóż węgla kamiennego wyróżnianych przez wytyczne do JORC Code, należy traktować jako wstępną i jako materiał do dalszej dyskusji. Weryfikacji wymagają przyjęte minimalne (graniczne) udziały składnika nielosowego dla poszczególnych kategorii zasobów. Celowe jest zbadanie skutków założenia innych granicznych (minimalnych) wartości udziałów składnika nielosowego (np. 75% dla kategorii measured, 50% dla kategorii indicated) na dokładność szacowania wielkości zasobów w poszczególnych kategoriach.

Z metodycznego punktu widzenia konieczne jest także przeanalizowanie zasad kategoryzacji dla innych, nieco rzadziej stosowanych dla polskich złóż węgla kamiennych, geostatystycznych modeli semiwariogramów z asymptotą (modele wykładniczy i Gaussa) oraz modeli bez asymptoty (model liniowy, potęgowy). Należy również rozpatrzyć zasady kategoryzacji w warunkach anizotropowej struktury zmienności parametrów złóż węgla.

Odrębnego potraktowania wymaga kategoryzacja złóż ze względu na ciągłość zmian jakości kopaliny.

Zaproponowana metoda może znaleźć praktyczne zastosowanie do kategoryzacji zasobów wszystkich złóż, eksploatowanych lub przewidzianych do eksploatacji podziemnej lub odkrywkowej, w tym przede wszystkim złóż węgla brunatnego.



Rys. 5. Semiwariogramy miąższości trzech wytypowanych pokładów węgla kamiennego i ich modele sferyczne [9, 15]

Fig. 5. Semivariograms of thickness of 3 selected coal seams and their spherical models [9, 15]

Tab. 3. Zasięgi kategorii zasobów węgla wokół punktów rozpoznania dla wytypowanych pokładów

Tab. 3. Ranges of assessment categories of bituminous coal resources around measurement sites of deposit parameters for selected coal seams

Kopalnia/Pokład	$U_N(h=0)$ [%]	a [km]	Maksymalne zasięgi kategorii [km]		
			Measured	Indicated	Inferred
Murcki/349	85	6.2	0.9	2.8	4.5
Piast/207	65	7.5	0	2.5	4.7
Bogdanka/385/2	80	9.0	1.0	3.8	6.3

Literatura

- [1] Australian Guidelines for Estimating and Reporting of Inventory Coal, Coal Resources and Coal Reserves. The Coalfields Geology Council of New South Wales and the Queensland Mining Council (edition 2003)
- [2] Bertoli O., Paul A., Zach C., Dunn D., *Geostatistical drillhole spacing analysis for coal resource classification in the Bowen Basin, Queensland*, International Journal of Coal Geology, 112, 107-113, 2013
- [3] Blajda R., *New methodology of resources categorization and calculation for undeveloped Zn-Pb ore deposits in the Upper Silesian ore district*, Gosp. Sur. Min., T. 26 Z. 4, 45-58, 2010
- [4] Gringarten E., Deutsch C.V., *Variogram Interpretation and Modeling*, Math. Geology, Vol. 33. No.4, 507-534, 2001
- [5] Kokesz Z., *Geostatystyczna charakterystyka zmienności miąższości pokładów węgla w GZW na potrzeby szacowania zasobów*, Przegląd Górniczy, T.63, nr 4, 27-36, 2007
- [6] Kokesz Z., *Anizotropia i niejednorodność złóż w świetle badań geostatystycznych*, Zesz. Nauk. IGSMiE PAN, nr 85, 181-197, 2013
- [7] Larkin B. J., *Geostatistical Study Zuun Mod Molybdenum Deposit Mongolia*. Report Prepared for Erdene Resource Development Corp. Mongolia, GeoCheck Pty. Ltd., s. 56, [W]: Project No. 3210M, Minarco-Mineconsult, M.AusIMM, Qualified Person: R.W. Knox, BSc. M.AusIMM, Executive Consultant, Minarco-Mineconsult, 2008
- [8] Mucha J., *Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż*. Skrypt AGH, Kraków, s.115, 1994
- [9] Mucha J. (red), Nieć M., Wasilewska M., Sobczyk E. J., Saługa P., *Dokładność szacowania zasobów węgla kamiennego jako element oceny ryzyka inwestycyjnego*, Monografia, Wyd. AWK GEO, Kraków, s. 119, 2007
- [10] Mucha J., Wasilewska-Błaszczuk M., *Variability anisotropy of mineral deposits parameters and its impact on resources estimation – a geostatistical approach*, Gosp. Sur. Min. T. 28, z. 4, 113-135, 2012
- [11] Nieć M., *Polska i Międzynarodowa Ramowa Klasyfikacja Zasobów (UNCF) złóż kopalin stałych i węglowodorów - podobieństwa i różnice*, Górnictwo Odkrywkowe, R. L, Nr 2-3, 50-57, 2009
- [12] Przepisy o ustalaniu zasobów złóż kopalin stałych. CUG Warszawa, 1980
- [13] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 grudnia 2011 r w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny. Dziennik Ustaw Nr 291, Poz. 1712
- [14] The JORC Code (2012 edition) – Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves prepared by The Australasian Institute of Mining and Metallurgy (AusIMM), Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia
- [15] Wasilewska M., *Struktura zmienności parametrów złóż węgla kamiennego w wybranych kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*, Rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Zakład Geologii Złożowej i Górniczej, Kraków, 2007



fot. Teresa Świernubska

Góra Cisowa - Łopuchowo