

PROBLEMY SZACOWANIA ZASOBÓW ZŁÓŻ KONKRECJI POLIMETALICZNYCH NA PACYFIKU

DEPOSITS OF POLYMETALLIC NODULES IN THE PACIFIC: PROBLEMS OF THEIR RESERVE ESTIMATION

Słowa kluczowe: konkrecje polimetaliczne, Pacyfik, zasoby, kriging zwyczajny, dokładność

Streszczenie: Występujące na dnie Pacyfiku konkrecje zbudowane z tlenków oraz wodorotlenków Fe i Mn, zawierają wiele innych cennych metali i stanowią unikalny rodzaj kopaliny. Znaczenie oceanicznych konkrecji polimetalicznych rośnie wraz z wyczerpywaniem się lądowych złóż rud metali a rozpoczęcie ich eksploatacji przewidywane jest około roku 2020. Specyfika występowania konkrecji na dnie oceanów wymusza odpowiedni sposób rozpoznania i szacowania ich zasobów. Duża głębokość występowania skupień konkrecji na Pacyfiku w polu Clarion - Clipperton (ponad 4 km) powoduje, że ich opróbowanie jest trudne technicznie, czasochłonne i kosztowne. Problemy szacowania zasobów wiążą się ze skrajnie nieregularnym i złożonym kształtem obszarów złożowych wynikającym z konieczności spełnienia warunków opłacalności i technicznych możliwości eksploatacji. Dokładność szacowania zasobów konkrecji w parcelach elementarnych (o rozmiarach: 500x500 m) oceniona geostatystyczną metodą krigingu zwyczajnego oraz wyrażona za pomocą błędu krigingu (dla poziomu prawdopodobieństwa $P=0.95$) jest mała i średnio wynosi 60%. Wpływa na to stosunkowo rzadka sieć opróbowań (11-15 km) nie sprzyjająca skonstruowaniu wiarygodnego modelu zróżnicowania zasobności konkrecji w małej skali obserwacji (rzędu kilku km) oraz duża zmienność zasobności konkrecji z silnie zaznaczonym składnikiem losowym i małym zasięgiem autokorelacji. Można jednak oczekiwać, że błąd oszacowania zasobów w dużych parcelach obliczeniowych, utworzonych przez agregację parcel elementarnych, nawet przy obecnym stanie rozpoznania złóż będzie znacząco mniejszy niż błąd prognozowany dla pojedynczych parcel elementarnych. Wyznaczenie wartości tych błędów jest trudne z uwagi na skomplikowane formy geometryczne parcel obliczeniowych. Doprecyzowanie modelu oraz podwyższenie dokładności szacowania zasobów w parcelach elementarnych będzie możliwe dopiero po zagęszczeniu sieci opróbowań w następnym etapie rozpoznania obszarów złożowych.

Key words: polymetallic nodules, the Pacific, reserves, ordinary kriging, accuracy

Abstract: Nodules of oxides and oxides-hydroxides of Fe and Mn located on the Pacific bottom contain many other valuable metals and represent an unique mineral raw material. The significance of the deposits of these nodules increases with depleting reserves of the terrestrial deposits; recovery of the submarine nodules is expected to begin around the year 2020. The characteristic occurrence of the submarine nodules compels adequate method of exploration and reserve estimation.

* Instytut Nauk o Morzu, Uniwersytet Szczeciński; ** ***, Katedra Geologii Złożowej i Górniczej AGH, Kraków

Substantial depths at which the nodules rest (exceeding 4 km) result in technical difficulties of sampling, which is an obviously time-consuming and expensive procedure. The problems of reserve estimation are associated with extremely irregular and complex shape of the deposits, whose limits must follow the conditions of profitability and technical possibility of exploitation. The estimation accuracy of the nodule reserves in elementary calculation plots (500x500 m) evaluated geostatistically with the method of ordinary kriging and expressed as the kriging error (for the confidence level 0.95) is low, being 60% on the average. Such a low accuracy is an effect of relatively widely spaced sampling grids (11-15 km) that do not favour constructing a reliable model of distribution of the accumulation index in a small scale of observations (the range of several km). Moreover, the variability of this deposit parameter is high and reveals a strong effect of the random component and small range of autocorrelation. Constructing a more precise model and increasing reserve estimation accuracy will be possible after applying a denser sampling grid in the next stage of exploration.

WPROWADZENIE

Oceaniczne konkrecje polimetaliczne, występujące najobficiej na dnie Pacyfiku, stanowią unikalny rodzaj kopaliny. Tworzą je naturalne polimineralne skupienia skrytokrystalicznych i amorficznych faz mineralnych. Konkrecje oceaniczne zostały odkryte podczas ekspedycji naukowej biorącej udział w rejsie dookoła świata w latach 1872 – 1876 na statku HMS „Challenger” (Kotliński 1998). Zgodnie z Konwencją Prawa Morza (1982) złożyła te, jako położone poza wyłączną strefą ekonomiczną o szerokości 200 mil morskich, znajdują się pod jurysdykcją ONZ w ramach Międzynarodowej Organizacji Dna Morskiego (MODM). Międzynarodowa organizacja Interoceanmetal Joint Organization (IOM) ma od 1991r status inwestora pionierskiego a od 2001r tzw. kontraktora MODM (Szamałek 2007). IOM posiada dwie działki wydobywcze o łącznej powierzchni 75 000 km² zarejestrowane w polu Clarion – Clipperton na Pacyfiku, w obrębie których ma wyłączne prawo do prowadzenia działalności gospodarczej. Polska od 1987 r. jest członkiem IOM, aktualnie obok Bułgarii, Kuby, Rosji, Czech i Słowacji.

Zaletą konkrecji jest współwystępowanie i wysoka koncentracja 4 metali (Mn, Ni, Cu, Co) dająca przyszłym producentom gwarancje dużej stabilności ekonomicznej. Wartość potencjalnego złoża konkrecji polimetalicznych szacuje się wstępnie na 130 mld USD.

Według aktualnych ocen przemysłowa eksploatacja złóż konkrecji nastąpi po 2020 roku.

Kotliński (1998) wyróżnił 4 etapy badań oceanicznych konkrecji polimetalicznych:

- 1) wstępny - w oparciu o kryteria prognostyczne wydziela się pola konkrecyjonośne,
- 2) regionalny - w oparciu o kryteria poszukiwawcze wydziela się rejon konkrecyjonośny z błędem dopuszczalnym szacowania zasobów konkrecji 50-80% (kategoria zbadania R-3),

- 3) rozpoznawczy - w oparciu o kryteria dokumentacyjne wydziela się obszar złożowy z błędem dopuszczalnym szacowania zasobów konkrecji 25-50% (kategoria zbadania R-2),
4) dokumentacyjny - w oparciu o kryteria eksploatacyjne wydziela się złoża z błędem dopuszczalnym szacowania zasobów konkrecji <25% (kategoria zbadania R-1).

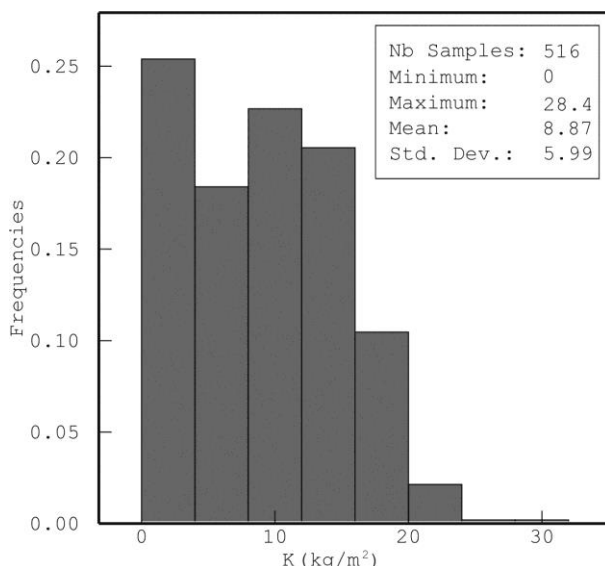
I. CECHY KONKRECJI

Z chemicznego punktu widzenia konkrecje zbudowane są z tlenków i wodorotlenków Fe i Mn, którym towarzyszą inne cenne metale takie jak: Ni, Cu, Co, Mo, Cd, V, W. Składniki płonne stanowią około 30% konkrecji z dominacją SiO_2 (90%) oraz Al_2O_3 (10%). Najczęściej konkrecje mają formę brył o średnicy do 15 cm. Tylko sporadycznie napotyka się złożone konkrecje groniaste o ogromnej masie rzędu 500 kg. Twardość konkrecji jest niewielka i w skali Mohsa wynosi 2.5-3. Z uwagi na dużą mikroporowatość gęstość przestrzenna konkrecji jest stosunkowo mała i wynosi od 1.22-1.39 g/cm³ w stanie suchym, natomiast wilgotność jest duża i mieści się w przedziale 28-35%. Wiek konkrecji jest zróżnicowany i datuje się go w przedziale: górna kreda – plejstocen. Narastanie konkrecji jest wolne, około 1 mm w ciągu 1mln lat przy narastaniu osadów w tempie 1mm na 1 tys. lat. W tej sytuacji zaskakujące jest położenie konkrecji, które gromadzą się w górnej, przydennej części osadów oceanicznych. Istnieje szereg hipotez tłumaczących to zjawisko (Kotliński 1998). Wielce prawdopodobna jest hipoteza, że za przydenne rozmieszczenie konkrecji odpowiada siła wyporu wzmocniona działaniem gazów dyfundujących z głębi osadów oceanicznych wynosząca lekkie konkrecje na powierzchnię dna oceanicznego. Ważną konsekwencją takiego nagromadzenia konkrecji jest dwuwymiarowy model złoża determinujący sposób opróbowania i szacowania zasobów.

II. ZMIENNOŚĆ ZASOBNOŚCI KONKRECJI W REJONIE IOM

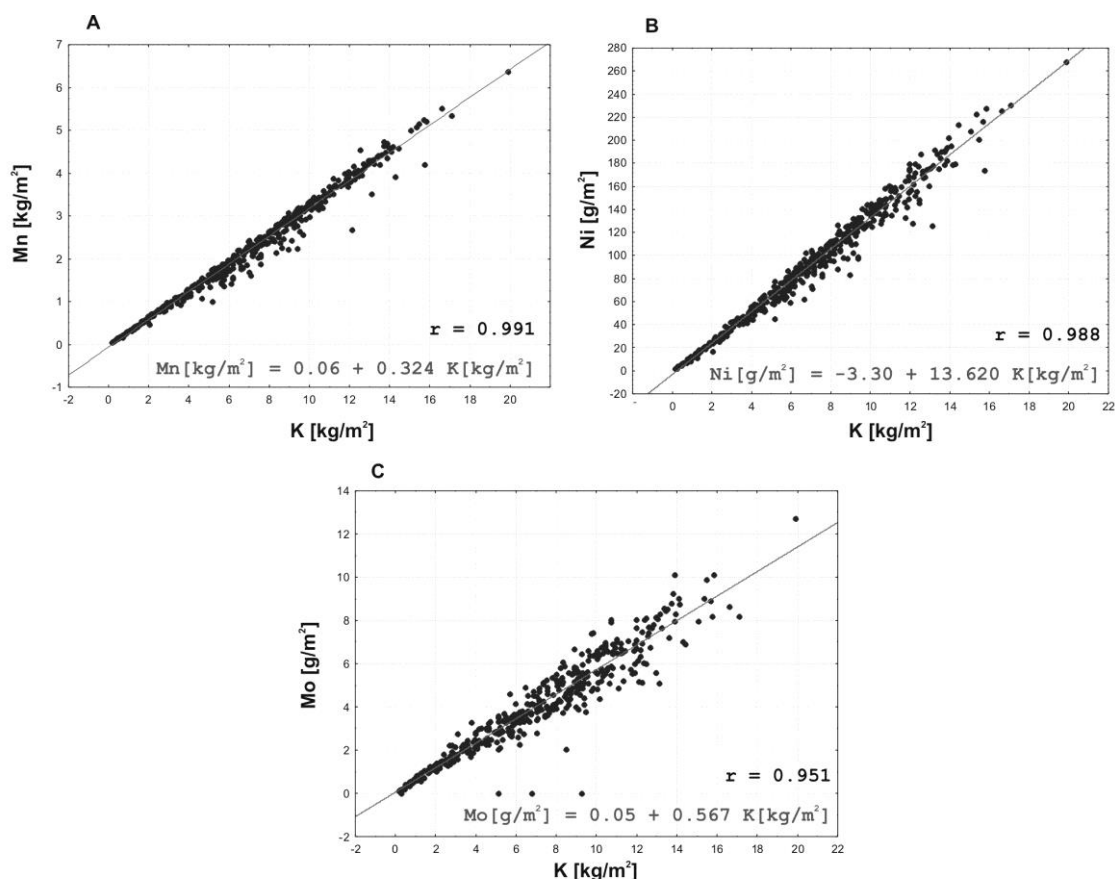
Przedmiotem statystycznego i geostatystycznego opracowania zgromadzonych danych była zasobność konkrecji (wskaźnik konkrecjoności) definiowana jako masa konkrecji przypadająca na jednostkę powierzchni dna morskiego (1 m²). W terminologii używanej przez IOM ten zasobowy parametr złożowy określa się także jako gęstość zalegania konkrecji. Dokładność oszacowania średniej zasobności konkrecji determinuje w praktyce dokładność oszacowania zasobów konkrecji.

Rozkład zasobności konkrecji w rejonie IOM, obliczony na podstawie wszystkich danych opróbowień większego z dwóch obszarów należących do IOM, jest dwumodalny z pierwszą modą w przedziale 0-2 kg/m² i drugą w pobliżu 10 kg/m² (rys. 1). Pierwszą z nich można kojarzyć z obszarami praktycznie pozbawionymi znaczenia złożowego, druga nie odbiega od średnich zasobności w obszarach złożowych.



Rys. 1. Histogram zasobności konkrecji polimetalicznych (K) we fragmencie obszaru IOM
Fig. 1. Histogram of the accumulation index of polymetallic nodules (K) in a part of the IOM area

Zmienność zasobności konkrecji mierzona współczynnikiem zmienności wynosi $v=68\%$, co pozwala określić ją jako dużą. Zbliżoną zmiennością charakteryzują się poddane badaniom statystycznym zasobności metali: Mn, Ni i Mo, dla których współczynniki zmienności są rzędu 65-70%. W odróżnieniu od zasobności metali ich zawartości procentowe w konkrecjach wykazują małą zmienność $v=7-15\%$, co świadczy o dużej stabilności składu chemicznego. Potwierdza to bardzo silna, liniowa korelacja wiążąca zasobności metali z zasobnością konkrecji ze współczynnikami korelacji przekraczającymi 0,95 (rys. 2).



Rys. 2. Modele liniowe zależności zasobności Mn (A), Ni (B), Mo (C) od zasobności konkrecji polimetalicznych (K)

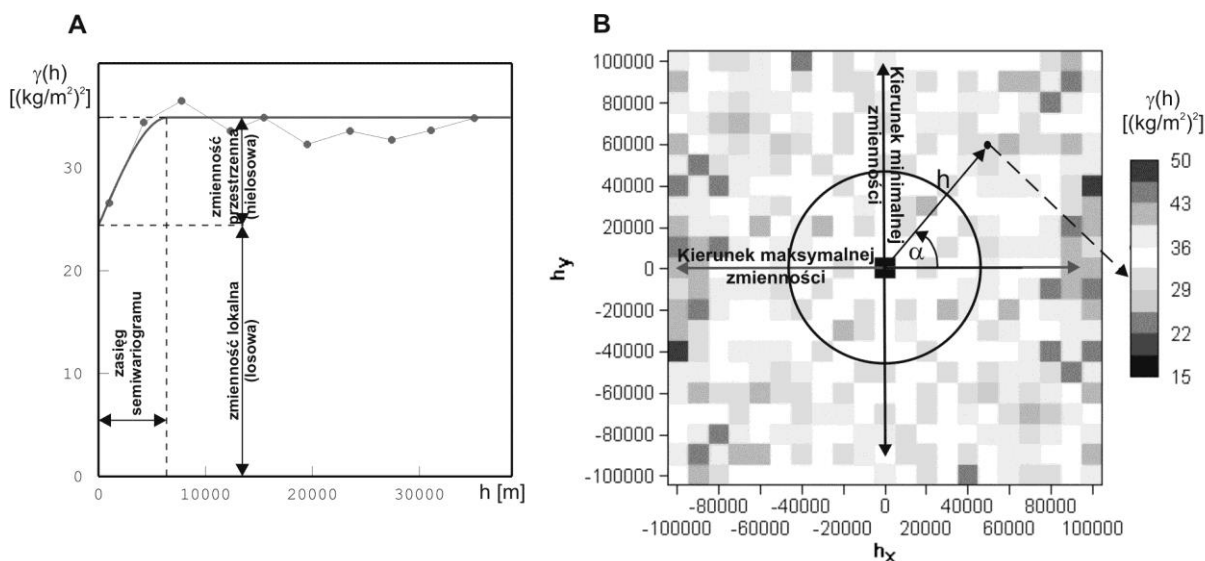
r – współczynnik korelacji liniowej

Fig. 2. Linear models of relation between the accumulation indices of Mn (A), Ni (B) and Mo (C) and the accumulation index of polymetallic nodules (K).

r – linear correlation coefficient

Struktura zmienności zasobności konkrecji w największej działce rejonu IOM, opisana metodą geostatystyczną (Journel, Huijbregts 1978) za pomocą semiwariogramu uśrednionego i jego modelu cechuje się znaczącym udziałem składnika losowego zmienności, wynoszącym około 70 % i małym zasięgiem autokorelacji nie przekraczającym 7 km (rys. 3A). Oznacza to dużą zmienność lokalną zasobności konkrecji i stosunkowo słabo zaznaczone prawidłowości zmian parametru w przestrzeni złożowej.

Należy mieć jednak na względzie fakt rzadkiej sieci pomiarów z przeciętnym rozstawem około 11 km (tzn. 1 punkt opróbowania na 121 km²). Nie można wykluczyć, że silniejsza prawidłowość rozmieszczenia zasobności konkrecji może ujawnić się w małej skali obserwacji rzędu pojedynczych kilometrów. Weryfikacja tej hipotezy wymaga jednak zagęszczenia aktualnej sieci opróbowań, co będzie realizowane w następnym etapie rozpoznania złoża.



Rys. 3.

A. Semiwariogram (punkty i linia łamana) i geostatystyczny model (linia ciągła) zmienności zasobności konkrecji polimetalicznych we fragmencie obszaru IOM (oś rzędnych – średnie zróżnicowanie zasobności, oś odciętych – odległość między punktami złoża).

B. Mapa semiwariogramów kierunkowych (indykatrysa zmienności) zasobności konkrecji (średnie zróżnicowanie dla danej odległości h odmierzanej od środka mapy i danego kierunku α odczytuje się z barwnej legendy w sposób przedstawiony na rysunku).

Fig. 3.

A. A semivariogram and a geostatistical model of variability of the accumulation index of polymetallic nodules in a part of the IOM plot (Y-axis – mean squared difference of the accumulation index, X-axis – distance between samples).

B. Map of directional semivariograms (variability indicatrix) of the accumulation index of nodules (mean squared difference of the accumulation index for a given h distance measured from the centre of the map and a given direction α is read from the colour legend following the procedure presented in the figure).

Indyktrysa zmienności badanego parametru złożowego zilustrowana za pomocą mapy semiwariogramów kierunkowych pokazuje w zakresie odległości, co najmniej do 50 km, izotropowy charakter zmienności, wyrażający się zbliżonym zróżnicowaniem zasobności w różnych kierunkach badania, dla tych samych odległości między punktami złoża (rys. 3B). Słabej anizotropii zmienności można dopatrywać się jedynie w większej skali obserwacji, tzn. dla odległości rzędu 100 km, przy czym kierunek maksymalnej zmienności jest W-E a kierunek minimalnej zmienności N-S. W procedurze szacowania zasobów konkrecji w pełni uzasadnione jest więc przyjęcie założenia o izotropowym stylu zmienności zasobności.

III. PROBLEMY SZACOWANIA ZASOBÓW KONKRECJI

Specyfika występowania oceanicznych konkrecji polimetalicznych rodzi pewne problemy i trudności rozpoznawania i szacowania ich zasobów, odmienne na ogół od problemów szacowania złóż lądowych. Ważniejsze z nich przedstawiono i skomentowano poniżej.

- W porównaniu z największymi znanymi lądowymi złożami kopalin złoża oceaniczne konkrecji polimetalicznych wyróżniają się ogromną rozległością. W obrębie samego tylko rejonu IOM powierzchnia obszaru z zasobnością konkrecji $>2 \text{ kg/m}^2$ wynosi około 60 000 km^2 , co stanowi blisko 1/5 powierzchni Polski. Rozpoznanie tak wielkiego obszaru złożowego wymaga ogromnych nakładów finansowych i jest bardzo czasochłonne, jak również trudne technicznie z uwagi na konieczność opróbowania i foto-teleprofilowania dna oceanicznego położonego w strefie równi abisalnych Pacyfiku na dużej głębokości ($>4000 \text{ m}$).
- Lokalizacja punktów opróbowania rejestrowana jest za pomocą geograficznego układu współrzędnych. Określenie odległości punktów opróbowania i powierzchni parcel obliczeniowych, koniecznych do oszacowania zasobów musi być poprzedzone transformacją geograficznego układu współrzędnych do płaskiego układu współrzędnych. Dokonywane jest to przez zastosowanie odwzorowania UTM (Universal Transverse Mercator coordinate system) dostępnego w programach komputerowych takich jak np Arc GIS lub MapViewer.
- Pobieranie próbek z dna oceanicznego jest prowadzone głównie za pomocą czepaków skrzynkowych (*boxcorers*) o rozmiarach poziomych: $0,25 \times 0,25 \text{ m}$ i głębokości $0,5 \text{ m}$. Niewielkie rozmiary próbnika nie pozwalają na pobranie konkrecji o znacznych rozmiarach. Przy założeniu kulistych form konkrecji jednorazowo można pobrać próbkę zawierającą maksymalnie około 20 kg konkrecji. Brak możliwości pobrania konkrecji o większej masie nie powinien mieć zauważalnego wpływu ani na poprawność opisu zmienności ani na oszacowanie średniej zasobności konkrecji, gdyż stanowią one rzadkość. Masa konkrecji pobranych za pomocą czepaka skrzynkowego musi być następnie przeliczona na jednostkę powierzchni (1 m^2) w celu wyrażenia jej zasobności. Wymaga to założenia stałej zasobności w najbliższym otoczeniu miejsca opróbowania, weryfikowanego jedynie za pomocą fotoprofilowania dokonywanego przy pobieraniu każdej próbki. Samo opróbowanie jest czasochłonne (w ciągu doby pobiera się zaledwie 3-4 próbki) a błąd opróbowania tego rodzaju jest trudny do oszacowania ilościowego. W odróżnieniu od złóż lądowych rozpoznanych wyrobiskami górniczymi możliwości pobierania z dna morskiego

większych próbek są na obecnym etapie badań ograniczone ze względów technicznych i ekonomicznych. Wyjątkiem są tu nieliczne próby pobierane do badań technologicznych za pomocą dragi, które osiągają masę kilkuset kilogramów. Mała wielkość próbek pobieranych czerpakiem skrzynkowym może skutkować dość dużą zmiennością zasobności konkrecji w lokalnej skali obserwacji, a w konsekwencji małą dokładnością szacowania zasobów w parcelach obliczeniowych o niewielkich rozmiarach (parcelach elementarnych).

- Z punktu widzenia dokładności szacowania zasobów konkrecji istotna jest obok gęstości opróbowania struktura zmienności zasobności konkrecji. Silnie zaakcentowany składnik losowy zmienności (rys. 3A) przy aktualnym systemie opróbowania jest w pełni zrozumiały, zważywszy na znaczny rozstaw punktów opróbowania, małą wielkość próbek i dyskretną naturę rozmieszczenia składników użytecznych w postaci oddzielonych od siebie skupień konkrecji. Zmniejszenie znaczenia czynnika losowego, sprzyjające podwyższeniu dokładności oszacowania średnich zasobności konkrecji w parcelach elementarnych, jest możliwe przez zwiększenie wielkości pobieranych próbek i zmniejszenie interwału opróbowania. Należy oczekiwać, że kolejne zagęszczenie rozpoznania w następnym etapie badań, ujawni silniej zaznaczony składnik nielosowy zmienności, co będzie wymagało zmodyfikowania przedstawionego na rys. 3A geostatystycznego modelu zmienności.
- Oszacowanie zasobów konkrecji w obrębie całych działek IOM a nawet ich małych części (parcel obliczeniowych) w ramach jednorazowej procedury obliczeniowej (np. geostatystycznej procedury krigingu) nie jest praktycznie możliwe. Przyczyny tego wyjaśnia mapa zasobności konkrecji sporządzona dla fragmentu rejonu IOM metodą krigingu (rys. 4). Parcele obliczeniowe o zasobnościach konkrecji większych od 10 kg/m^2 po wykluczeniu z nich partii dna oceanicznego o nachyleniu większym niż 7° (ze względu na obecny brak technicznych możliwości eksploatacji), mają kształty skrajnie nieregularne. Konieczne do zastosowania komputerowej procedury obliczeniowej okonturowanie takich pól za pomocą wieloboków, przez podanie współrzędnych punktów załamania (wierzchołków wieloboków) z uwagi na ich mnogość jest zadaniem skrajnie żmudnym. W tej sytuacji szacowanie zasobów w dużych parcelach obliczeniowych może być łatwo i szybko dokonywane przez sumowanie zasobów oszacowanych w obrębie małych parcel elementarnych o prostych formach geometrycznych np. kwadratu. Optymalne rozmiary takich parcel są jednak trudne do zdefiniowania w realiach występowania oceanicznych złóż konkrecji polimetalicznych. W geostatystyce za maksymalny zasięg stref jednorodnych przyjmuje się umownie zasięg autokorelacji parametru odczytywany z modelu semiwariogramu w warunkach dominacji nielosowego składnika zmienności. W rozpatrywanym przypadku wyniki geostatystycznego

modelowania zmienności wskazujące na zasięg autokorelacji zasobności rzędu kilku kilometrów mają ograniczone zastosowanie ze względu na dominację losowego składnika zmienności konkrecji. Dla potrzeb przyszłej eksploatacji korzystne jest, podobnie jak w przypadku lądowych złóż rud metali, szacowanie zasobów w małych parcelach. Ułatwia to projektowanie optymalnej strategii wydobywania i umożliwia szybkie szacowanie zasobów w większych parcelach obliczeniowych o nieregularnych kształtach przez prostą agregację zasobów parcel elementarnych. Trudne i żmudne w takich przypadkach jest bezpośrednie ustalenie błędów oszacowania zasobów z powodu skomplikowanych kształtów parcel obliczeniowych. Nie jest również możliwe w praktyce uzyskanie oceny wielkości takiego błędu w sposób pośredni, z formuł teoretycznych, na podstawie błędów ocenionych dla parcel elementarnych z uwagi na ich wzajemne skorelowanie.

Wadą małych parcel obliczeniowych jest na ogół mała dokładność szacowania w ich granicach zasobów, bowiem zgodnie z zasadą regresu dokładności, zmniejszanie rozmiarów parcel obliczeniowych prowadzi do zwiększania błędów oszacowań. Z kolei zwiększanie rozmiarów parcel w celu uzyskania zadowalającej dokładności szacowania musi być w przypadku złóż konkrecji polimetalicznych limitowane nie tylko ze względu na mały zasięg autokorelacji zasobności konkrecji, ale również z uwagi na nieregularne i częste występowanie skłónów dna oceanicznego o nachyleniu większym od 7° (rys. 4).

Uwzględniając przedstawione uwarunkowania, metodą krigingu blokowego oszacowano średnie zasobności konkrecji oraz oceniono błędy standardowe tych oszacowań zwane błędami krigingu w parcelach elementarnych o formie kwadratu o boku 500 m. W procedurze obliczeniowej wykorzystywano każdorazowo dane z 8 punktów opróbowań najbliższych centrum danej parceli. Przyjęcie stosunkowo niewielkich rozmiarów parcel gwarantuje, że zdecydowana większość z nich znajduje się w całości bądź to w obrębie złoża lub poza nim. Przyjęcie znacznie większych rozmiarów parcel skutkuje lokalizacją wielu z nich częściowo w strefie złożowej częściowo poza nią.

Średni względny, standardowy błąd szacowania zasobności (i równocześnie zasobów) konkrecji w parcelach elementarnych (z zasobnościami przekraczającymi progową wartość 10 kg/m^2 i w partiach usytuowanych poza skłónami dna powyżej 7°) wynosi około 30%. W zagadnieniach geologii górniczej błąd oszacowania wyznacza się z reguły dla poziomu prawdopodobieństwa $P = 0,95$, co przy założeniu normalności rozkładu błędów sprowadza się w praktyce do podwojenia błędu standardowego. Tak oceniony średni błąd oszacowania zasobności konkrecji w parcelach elementarnych jest znaczący i wynosi 60%. Wielkość ta może być traktowana jako bezpieczna miara niepewności oszacowania zasobów konkrecji w

parcelach elementarnych, gdyż prawdopodobieństwo, że błąd rzeczywisty przekroczy tę wartość jest małe, bo nie większe od 0,05. Oceniona dokładność szacowania zasobów konkretu jest mała i odpowiada etapowi rozpoznawczemu z błędem dopuszczalnym 50-80% (kategoria zbadania złoża R-3; Kotliński 1998). Należy jednak pamiętać, że błąd oszacowania zasobów w parcelach obliczeniowych powstałych przez sumowanie parcel elementarnych, choć trudny do wyznaczenia, może być znacząco mniejszy.

IV. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

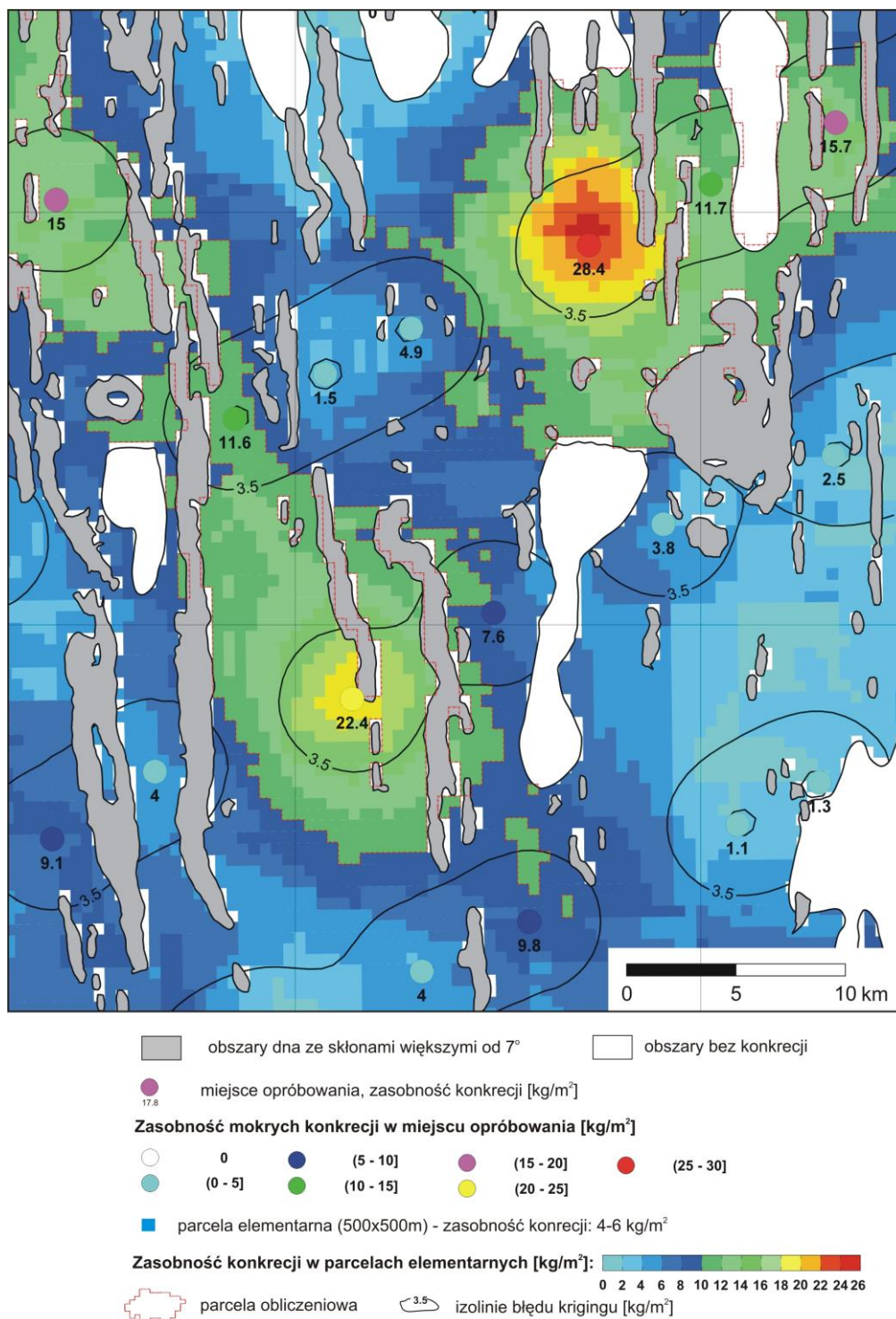
1. Bezpośrednie oszacowanie zasobów konkretu w całym rejonie IOM lub jego częściach w ramach jednorazowej procedury obliczeniowej jest w praktyce niemożliwe z uwagi na skrajnie nieregularne kształty parcel obliczeniowych. Skomplikowany przebieg granic tych parcel wynika z konieczności równoczesnego spełnienia wymagań odnośnie do minimalnej zasobności konkretu 10 kg/m^2 oraz wykluczenia ze względów technicznych partii złoża na skłonach dna oceanicznego o nachyleniu powyżej 7° . Z tego względu zasoby parcel obliczeniowych winny być ustalane przez sumowanie zasobów oszacowanych w małych parcelach elementarnych. Wadą takiego postępowania jest brak realnych możliwości oceny błędu oszacowania zasobów w parcelach obliczeniowych.
2. Gęstość sieci opróbowań złoża konkretu w rejonie należącym do IOM na Pacyfiku jest na obecnym etapie jego rozpoznania niewystarczająca dla precyzyjnego wyznaczenia modelu struktury zmienności zasobności konkretu (wskaźnika konkretowości) w małej skali obserwacji, odpowiadającej odległościom rzędu pojedynczych kilometrów. Konsekwencją tego jest ograniczona wiarygodność oszacowania zasobów konkretu w małych parcelach elementarnych ($500 \times 500 \text{ m}$) ze średnią dokładnością 60%. Doprecyzowanie modelu zmienności i podwyższenie dokładności oszacowań zasobności konkretu będzie możliwe w następnym etapie rozpoznania złoża, po zagęszczeniu aktualnej sieci opróbowań.
3. W pełni wiarygodne zweryfikowanie poprawności ocen dokładności szacowania zasobów konkretu możliwe będzie dopiero po rozpoczęciu ich wydobywania, tzn. na wstępnym etapie rozpoznania eksploatacyjnego złoża.
4. Szacowanie zasobów metali występujących w konkretach nie powinno nastręczać większych trudności i nie wymaga stosowania indywidualnych procedur obliczeniowych z uwagi na silną korelację liniową wiążącą zasobności metali i konkretu. W tej sytuacji

dokładność szacowania zasobów metali z liniowych modeli regresji jest zdeterminowana dokładnością szacowania zasobów konkrecji.

5. Z metodycznego punktu widzenia celowe byłoby zbadanie przydatności do szacowania zasobów konkrecji polimetalicznych bardziej zaawansowanych, ale i bardziej pracochłonnych, metod geostatystycznych, takich jak procedury krigingu nieliniowego i symulacja geostatystyczna. Winny one umożliwić bardziej precyzyjny, niż zastosowany kriging zwyczajny, opis rozmieszczenia zasobności i dokładniejsze oszacowanie zasobów konkrecji polimetalicznych w rejonie IOM.

LITERATURA

- Journel, A.C., Huijbregts Ch.J., 1978 - Mining Geostatistics. London Academic Press, s. 600.
- Kotliński R., 1998 - Konkrecje polimetaliczne. [W:] Surowce mineralne mórz i oceanów.
- Kotliński R., Szamałek K. (red.). Warszawa, Wyd. Nauk. SCHOLAR, ss. 127-184.
- Szamałek K., 2007 - Podstawy geologii gospodarczej i gospodarki surowcami mineralnymi. Warszawa, PWN, s. 265.



Rys. 4. Mapa rastrowa zasobności konkrecji polimetalicznych i izolinie błędów standardowych jej szacowania w parcelach 500x500m (wycinek rejonu IOM)
Fig. 4. Raster map of the accumulation index of polymetallic nodules and the contours of standard errors of its estimation in the plots/areas 500x500m (a section of the IOM plot)