



Krzysztof ZIELIŃSKI¹, Jan WIERCHOWIEC²

Miedzioność ekwiwalentna mineralizacji polimetalicznej Cu, Ag, Zn, Pb na monoklinie przedsudeckiej na przykładzie obszaru perspektywicznego Sulmierzyce-Odolanów

Streszczenie: Analizowany w niniejszym artykule obszar badań Sulmierzyce-Odolanów stanowi przykład występowania głębokiej cechsztyńskiej mineralizacji metalicznej na monoklinie przedsudeckiej. W przeciwieństwie do złóż eksploatowanych obecnie tego typu obszary nie były wcześniej brane pod uwagę pod kątem ewentualnego wydobycia. Jednakże w ostatnich latach, ze względu na rozwój nowoczesnych technologii górniczych, sytuacja ta uległa zmianie i zyskały one status obszarów perspektywicznych dla przyszłego dokumentowania złóż.

Graniczne parametry wyznaczające złożo, zalecane do stosowania przy przygotowywaniu dokumentacji geologicznej, choć nieobowiązkowe, ustanowione zostały rozporządzeniem Ministra Środowiska. W przypadku stratoidalnych złóż cechsztyńskich biorą one pod uwagę ekwiwalentną zawartość i zasobność jedynie dwóch metali, tj. miedzi, jako głównego składnika użytecznego, oraz srebra. Prowadzi to do niedoszacowania zasobów rud, w których występują także inne metale, m.in. cynk i ołów, co jest szczególnie niekorzystne w przypadku złóż głębokich, gdzie z ekonomicznego punktu widzenia wskazane jest koncentrowanie się na ich najbogatszych partiach oraz dokumentowanie, a w przyszłości wydobywanie wszystkich użytecznych metali. Rozporządzenie Ministra Środowiska nie uwzględnia także wahań rynkowych cen metali w czasie, które mają istotny wpływ na zawartość i zasobność ekwiwalentną tych pierwiastków w złożu.

W artykule zaprezentowano autorskie wzory mające na celu obliczenie zawartości i zasobności polimetalicznego ekwiwalentu uwzględniającego udział w rudzie czterech pierwiastków: miedzi, srebra, cynku i ołowiu. Umożliwiają one także oznaczanie tych wartości dla dowolnie wybranych przedziałów czasowych oraz śledzenie ich zmian w czasie. Poza parametrami jakościowymi możliwe jest również obliczenie wartości zasobów kopaliny w złożu wyrażonej w dolarach amerykańskich na metr kwadratowy jego powierzchni dla każdego z wybranych przedziałów czasowych.

Do obliczeń wykorzystano wyniki analiz chemicznych archiwalnych rdzeni wiertniczych pochodzących z badanego obszaru. Łącznie przeanalizowano 135 otworów archiwalnych położonych w jego granicach. Na podstawie uzyskanych wyników oszacowano zmienne w czasie zasoby ekwiwalentu polimetalicznego (Cu-Ag-Zn-Pb) oraz ich wartość rynkową wyrażoną w dolarach amerykańskich dla każdego roku w przedziale czasowym 2012–2016.

Słowa kluczowe: monoklina przedsudecka, cechsztyń, głębokie złoża miedzi, mineralizacja stratoidalna, ekwiwalent polimetaliczny

¹ Mózów Copper Sp. z o.o., e-mail: kzielinski@miedzicopper.com

² Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Warszawa; e-mail: jan.wierchowiec@uw.edu.pl

The equivalent copper producibility of polymetallic Cu, Ag, Zn, Pb mineralisation in the Fore-Sudetic Monocline as illustrated by the Sulmierzyce-Odolanów prospective area

Abstract: The "Sulmierzyce-Odolanów" study area analyzed in the present paper constitutes an example of the presence of deep Zechstein metallic mineralization in the Fore-Sudetic Monocline. Unlike the shallow deposits which are being mined nowadays, these types of areas were not previously considered in terms of their possible extraction. However, in recent years, due to the development of modern mining technologies, this situation has changed and these areas have become prospective for the future documenting of mineral deposits.

The threshold parameters delimiting an ore deposit, recommended for use when preparing geological documentation and not compulsory, have been established by the regulation of the Minister of Environment. In the case of stratabound Zechstein deposits they take the equivalent percentage and productivity of only two metals, i.e. copper, as the main useful component, and silver into account. This leads to the underestimation of the resources of ore which also contains other metals, including zinc and lead, which is particularly disadvantageous in the case of deep deposits, which from an economic standpoint, it is advisable to focus on their richest parts and to document, and in the future to extract all the useful metals. Also, the regulation of the Minister of Environment does not take into account the fluctuations of the market prices of metals over time, the impact of which on the equivalent content and productivity of these elements in the deposit is considerable.

This paper presents the authors' own formulas intended to calculate polymetallic equivalent content and productivity taking the share of four elements in the ore into account: copper, silver, zinc and lead. They also enable determining these values for arbitrarily selected time intervals and tracing their changes over time. Apart from the quality parameters it is also possible to calculate the value of mineral resources in the deposit expressed in American dollars per one square meter of its area for each selected time interval.

The calculations used the results of chemical analyses of historical drill cores originating from the studied area. A total of 135 historical holes located within its boundaries were analyzed. Based on the obtained figures, the time-varying resources of the polymetallic equivalent (Cu-Ag-Zn-Pb) were estimated along with their market value expressed in American dollars for each year in the time interval of 2012–2016.

Keywords: Fore-Sudetic Monocline, Zechstein, deep copper deposits, stratabound mineralisation, polymetallic equivalent

Wprowadzenie

Pierwsze stratoidalne cechsztyńskie złożo miedzi i srebra na monoklinie przedsudeckiej (południowo-zachodnia Polska) odkryto w 1957 roku (Wyżykowski 1958, 1959). Dało ono początek powstaniu Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego, gdzie obecnie trwa wydobycie i przeróbka rudy, które prowadzi KGHM Polska Miedź SA. Niemal od początku poszukiwań przypuszczano, iż bogata mineralizacja Cu-Ag w obrębie monokliny przedsudeckiej nie jest ograniczona tylko do udokumentowanego obszaru złożowego, lecz rozciąga się dalej na północ i wschód od niego, w strefach o głębszym położeniu horyzontu rudnego. Tezę taką postawiono na podstawie oznak mineralizacji stwierdzonych w dwóch otworach poszukiwawczo-rozpoznawczych: Ostrzeszów 1 i Wschowa 1, wykonanych już w 1956 r. (Wyżykowski 1958), a potwierdzono kolejnymi otworami wiertniczymi (Gospodarczyk i in. 1975, 1980; Oszczepalski i Rydzewski 1983; Oszczepalski 1994).

Postęp badań nad cechsztyńską mineralizacją miedziową pozwolił nie tylko na uszczegółowienie rozpoznania płytkich obszarów złożowych (Preidl i in. 2007), ale także na wyznaczenie na większych głębokościach (przekraczających 1500 m) licznych obszarów prognostycznych, perspektywicznych i hipotetycznych występowania złóż rud Cu-Ag w południowo-zachodniej Polsce, z których część znajduje się w granicach badanego obszaru

Sulmierzyce-Odolanów (Gospodarczyk i Metlerski 1986; Rydzewski i in. 1996; Oszczepalski i Rydzewski 1997; Oszczepalski i Speczik 2011; Oszczepalski i in. 2012a, b; Oszczepalski i Chmielewski 2015; Oszczepalski i in. 2016).

Obszar Sulmierzyce-Odolanów położony jest na wschód od udokumentowanych złóż rud miedzi i srebra Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego, w rejonie prognoz występowania tzw. głębokich złóż cechsztyńskich. Głębokość zalegania horyzontu potencjalnie zmineralizowanego wynosi tu od 1400 do około 2350 m p.p.t. Obszary o tego typu charakterystyce geologicznej były w przeszłości wykluczone z jakichkolwiek prób zagospodarowania ze względu na znaczne głębokości zalegania serii miedzionośnej, które biorąc pod uwagę dawny stan techniki, uniemożliwiałyby opłacalne ekonomicznie wydobycie rud. Jednakże, z uwagi na rozwój i stałe unowocześnianie technologii górniczych, sytuacja ta w ostatnich latach uległa zmianie. Dzięki temu obszar Sulmierzyce-Odolanów oraz inne pola głębokiej polimetalicznej mineralizacji cechsztyńskiej stały się przedmiotem zainteresowania spółek górniczych. Głębokość spągu cechsztynu w granicach powyższego obszaru jest tym samym znaczna, jednak nie na tyle duża, by uniemożliwić ewentualną przyszłą eksploatację rud polimetalicznych, pod warunkiem zastosowania najnowocześniejszych technologii górniczych i koncentracji prac na obszarach o najbogatszej mineralizacji (Zieliński i Speczik 2017). Wskazana jest także odpowiednia modyfikacja metodyki szacowania zasobów kopaliny, tak by uwzględniała ona jak największą liczbę składników użytecznych występujących w złożu i możliwych do pozyskania na drodze głębokiej przeróbki. W rachunkach ekonomicznych wykonywanych przez ewentualne podmioty planujące eksploatację należy uwzględniać dotychczas niemierzone składniki użyteczne, ponieważ ich pomijanie w praktyce często skutkuje niedoszacowaniem zasobów złoża.

W niniejszym artykule jako przykładem składników nieuwzględnianych przy szacowaniu zasobów złóż Cu-Ag Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego posłużono się cynkiem i ołowiem, z uwagi na dostępność obszernych danych na temat występowania tych dwóch metali na badanym obszarze. Uwzględniając ich udział w rudzie, przedstawiono propozycję wyeliminowania problemu niedoszacowania zasobów rud polimetalicznych monokliny przedsudeckiej, stanowiącą pomoc przy projektowaniu i realizacji inwestycyjnych projektów górniczych.

1. Charakterystyka geologiczno-złożowa

1.1. Sytuacja geologiczna

W omawianym obszarze monokliny przedsudeckiej można wyróżnić trzy następujące zasadnicze kompleksy strukturalne: podłoże monokliny, które stanowi waryscyjskie piętro strukturalne, zbudowane z karbońskich skał metamorficznych i granitoidów; laramijską pokrywę permsko-mezozoiczną, reprezentowaną przez utwory permu i triasu leżące niezgodnie na podłożu waryscyjskim, oraz pokrywę kenozoiczną, zbudowaną z utworów paleogenu, neogenu i czwartorzędu (Grocholski 1991).

Cechsztyń stanowi jednostkę litostratygraficzną, wchodzącą w skład górnego permu (loping) i obejmuje okres około 5–7 Ma (wuczaping i czangsing) (Peryt i in. 2012). W rezultacie transgresji morza cechsztyńskiego na ląd czerwonego spągowca oraz cyklicznie postępujących zmian w paleogeografii basenu, doszło do depozycji czterech podstawowych cyklotemów: Z1 (Werra), Z2 (Stassfurt), Z3 (Leine) i Z4 (Aller), tworzących sekwencje terygeniczo-węglanowo-ewaporatowe (Wagner 1994). W polskiej części basenu cechsztyńskiego najstarszymi osadami związanymi z tą transgresją są zlepińce podstawowe i piaskowce morskiego pochodzenia występujące w stropie tzw. białego spągowca, natomiast formalnie najstarszą jednostką litostratygraficzną cechsztyńską jest łupek miedzionośny (Peryt i Oszczepalski 1996), którego wiek określany jest na około 258 Ma (Menning i in. 2006).

Łupek miedzionośny reprezentuje dojrzałe stadium stabilizacji transgresji cechsztyńskiej, związane z pogłębieniem zbiornika. Jego sedymentacja odbywała się w warunkach redukcyjnych stratyfikowanego morza epikontynentalnego (Oszczepalski i Rydzewski 1987). Łupek miedzionośny występuje na przeważającej części obszaru, z wyjątkiem elewacji podłoża, gdzie na białym spągowcu bezpośrednio zalega wapień cechsztyński. Cechuje go nieznaczna, lecz zmienna miąższość, zwykle w granicach od 30 do 60 cm, rzadko przekraczająca 100 cm. Łupki facji redukcyjnej zawierają znaczne ilości materiału organicznego (zwykle od 2 do 16% C_{org}), syndiagenetycznego framboidalnego pirytu oraz wczesno- i późnodia-genetycznych siarczków miedzi, ołowiu i cynku, natomiast odmiany szarobrunatne (wtórnie utlenione) są ubogie w C_{org} (<1%) i zawierają tlenki żelaza (Oszczepalski 1989). Pod względem petrograficznym łupek miedzionośny obejmuje osady złożone z laminowanych, drobnoziarnistych skał terygeniczych oraz laminowanych margli lub margli dolomitycznych.

Łupek miedzionośny powstał po krótkim okresie formowania się klastycznych utworów transgresyjnych, znajdujących się w górnej części białego spągowca, wskutek znacznego podniesienia poziomu morza. Reprezentuje on dojrzałe stadium transgresji morza cechsztyńskiego, związane z pogłębieniem się zbiornika. Jego sedymentacja odbywała się w warunkach redukcyjnych stratyfikowanego morza epikontynentalnego (Oszczepalski i Rydzewski 1987). Lokalnie sedymentacja łupka miedzionośnego poprzedzona była depozycją warstwy wapienia podstawowego, zwanego również dolomitem granicznym. Ponad łupkiem miedzionośnym występuje wapień cechsztyński, stanowiący ogniwo przedewaporatowe. Wapień cechsztyński jest reprezentowany najczęściej przez szare dolomity (rzadziej wapień i wapień dolomityczne) rozwinięte w facji basenowej (Peryt 1984). Zwykle dolną jego część stanowi kompleks mikrytowy, a górną – onkolitowy. Utwory zalegające na wapieniu cechsztyńskim: anhydryt dolny (A1d), najstarsza sól kamienna (Na1) i anhydryt górny (A1g) stanowią ewaporatową fazę stabilizacji morza cechsztyńskiego w czasie depozycji pierwszego cyklotemu cechsztyńskiego. Utwory te występują na całym omawianym obszarze.

1.2. Mineralizacja kruszcowa cechsztyńskiej serii miedzionośnej

Charakterystyczną cechą cechsztyńskiej serii miedzionośnej jest zróżnicowanie facjalne, przejawiające się występowaniem dwóch zasadniczych facji geochemicznych: redukcyjnej oraz utlenionej Rote Fäule (Oszczepalski 1989). Utwory facji redukcyjnej cechują ciemno-

szare lub czarne barwy, wysoka zawartość materiału organicznego oraz obecność siarczków metali. W przeciwieństwie do nich, utwory utlenione cechują się czerwoną barwą, obecnością hematytu, silnie zdegradowanej materii organicznej oraz brakiem siarczków metali (z wyjątkiem ich reliktywów).

Zasadniczą prawidłowością dystrybucji kruszców jest występowanie bogatej mineralizacji miedziowo-srebrzej w najbliższym otoczeniu utworów utlenionych, mineralizacji ołowiowo-cynkowej w oddaleniu od utworów o charakterze utlenionym, a lokalnie mineralizacji Au-Pt-Pd w samych utworach utlenionych (Oszczepalski 1999). Z tych względów systematyczne śledzenie przebiegu lateralnego kontaktu utworów utlenionych z redukcyjnymi stanowi podstawę stosowanej strategii poszukiwawczej cechsztyńskich złóż Cu-Ag. Prawidłowość ta ma także zasadnicze znaczenie dla konstrukcji postdepozycyjnego modelu genetycznego omawianej mineralizacji, przyjmującego powstanie utworów utlenionych i okruszczenia wskutek interakcji niskotemperaturowych roztworów hydrotermalnych z osadami o charakterze redukcyjnym (Oszczepalski 1994). Z analizy rozkładu strefy utlenionej i redukcyjnej wynika wzajemny związek tych stref jako integralnego systemu mineralizacyjnego, tworzącego się we wspólnym procesie.

Głównymi kruszcami miedzi są: siarczki systemu Cu-S (chalkozyn, digenit, kowelin, djurleit, anilit), Cu-Fe-S (bornit, chalkopiryt, idait) oraz Cu-As-Sb-S (tennantyt, tetraedryt). Srebro występuje w formie minerałów własnych (srebro rodzime, elektrum, stromeyeryt, mckinstyryt, chlorargiryt, eugenit, amalgamaty srebra), lecz najistotniejszymi nośnikami srebra są siarczki miedzi (głównie bornit, chalkozyn i tennantyt-tetraedryt) (Pieczonka 2011).

Pospolitymi siarczkami występującymi lokalnie w znacznych ilościach są galena i sfaleryt (średnia zawartość Pb i Zn w cechsztyńskiej serii miedzionośnej może przekraczać 1%). Siarczki te występują w dalszej odległości od utworów utlenionych, koncentrycznie wokół rejonów zmineralizowanych siarczkami miedzi. Innymi powszechnie współwystępującymi siarczkami są piryt i markasyt.

Obok ołowiu i cynku, najistotniejszymi metalami towarzyszącymi są: Co, Mo, Ni, V, występujące w koncentracjach rzędu 10–1000 ppm, metale szlachetne (Au, Pt, Pd), a także pierwiastki towarzyszące szkodliwe dla procesu przeróbki rudy i środowiska naturalnego (Cd, As, Hg, F, Sb, Se, Bi, Cl i pierwiastki promieniotwórcze) (Oszczepalski i in. 2012a).

2. Zakres wykorzystanych danych oraz metodyka szacowania zasobów

2.1. Wykorzystane dane

Oszacowanie zasobów i ich wartości pieniężnej przeprowadzono z wykorzystaniem wyników analiz chemicznych wykonanych do roku 2012 na próbach rdzeni wiertniczych ze 135 otworów archiwalnych odwierconych w granicach badanego obszaru Sulmierzyce-Odolanów. Dodatkowo przeanalizowano dane z 30 otworów o śladowej mineralizacji lub bez jej oznak, położonych w bezpośrednim sąsiedztwie jego granic. Użyto ich jako otworów konturujących dla analiz przestrzennego rozmieszczenia mineralizacji polimetalicznej.

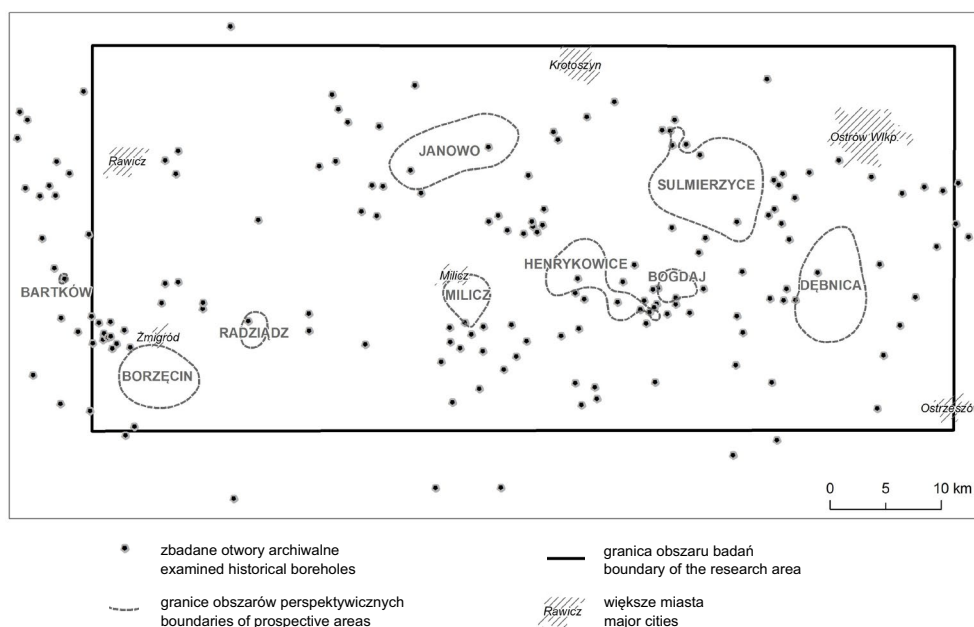
Stopień kompletności danych był odmienny dla różnych otworów. Dla 69 spośród 135 otworów, a więc nieznacznie ponad połowy, dostępne były kompletne jednostkowe zawartości Cu, Ag, Zn i Pb oznaczone w kompleksowo zbadanych próbach materiału rdzeniowego, pobranych z interwałów o określonej długości. Wartości te pochodziły z własnych analiz przeprowadzonych, a następnie zestawionych w opracowaniu zespołu badawczego z udziałem jednego z autorów niniejszego artykułu (Oszczepalski i in. 2012a), a także wykonanych na zlecenie Miedzi Copper Corporation (Oszczepalski i in. 2012b).

Z każdego z takich otworów pobrano kilkadziesiąt, kilkanaście lub w rzadkich przypadkach kilka prób, a każda z nich obejmowała interwał głębokościowy rzędu kilku, kilkunastu lub kilkudziesięciu cm. Badania chemiczne prób przeprowadzono częściowo w Państwowym Instytucie Geologicznym w Warszawie, a częściowo w firmie Acme Analytical Laboratories Ltd., Vancouver, Kanada. Badania zawartości metali w cechsztyńskiej serii miedzionośnej dla prób analizowanych w Polsce wykonano z wykorzystaniem metody XRF (fluorescencyjna spektrometria rentgenowska) przy użyciu spektrometru Philips PW 2400, oznaczając następujące pierwiastki: Cu, Pb, Zn, Ag, Co, Mo, Ni, V, Cd, Cr, U, As, Ba, a także Th, Bi i Rb, jak również metodą spektrometrii emisyjnej ICP-MS (oznaczenia Ag) w próbkach o wysokiej zawartości srebra i odpowiednio dużej naważce (Oszczepalski i in. 2012a). W części prób oznaczono zawartości Au stosując metodę ET-AAS – absorpcyjnej spektrometrii atomowej z atomizacją elektrotermiczną – przy użyciu spektrometru AA 4100 ZL firmy Perkin Elmer 6000 (Górecka i Oszczepalski 2011). W zależności od wyników oznaczeń złota i wielkości analizowanej naważki, w niektórych próbkach określono zawartości Pt i Pd metodą absorpcji atomowej AAS. Dla próbek z reprezentatywnych interwałów z mineralizacją kruszcową lub hematytową wykonano analizy chemiczne pełne metodą XRF (rentgenowskiej spektrometrii fluorescencyjnej próbek stapianych), oznaczając zawartości: Al_2O_3 , SiO_2 , $Fe_2O_3(T)$, MnO, TiO_2 , MgO, CaO, Na_2O , K_2O , P_2O_5 , SO_3 , Cl, F. Stratę prażenia (LOI) oznaczono stosując metodę wagową, a całkowitą zawartość węgla organicznego (TOC) – wykorzystując metodę kulometryczną (Oszczepalski i in. 2012a). W przypadku prób badanych w laboratorium Acme w Kanadzie oznaczenia chemiczne zawartości Cu, Ag, Pb, Zn, Co, Mo, Ni oraz V wykonano metodą ICP i ICP-MS, natomiast udziały Au, Pt i Pd metodą AAS (Oszczepalski i in. 2012b) lub ICP-ES (Oszczepalski i in. 2012a). Zawartości wanadu, platyny i palladu oznaczono tylko w części badanych prób.

Dla czterech otworów dysponowano wynikami jednostkowymi podobnymi do uzyskanych powyżej, jednak brak było oznaczeń zawartości srebra, którą w związku z tym przyjęto za zerową. Wyniki te również pochodziły z analiz wykonanych w ramach realizacji wyżej wymienionych tematów. Dla kolejnych otworów nie wykonano własnych analiz poszczególnych prób, a jedynie dysponowano wynikami archiwalnymi, które w ramach realizacji badań usystematyzowano i skompilowano (Oszczepalski i in. 2012a, b). W przypadku czterech otworów były to dane dotyczące całego wydzielonego makroskopowo interwału okruszcowanego o znanej głębokości zalegania stropu i spągu oraz średniej zawartości miedzi i srebra. Z powodu braku informacji o zawartości cynku i ołowiu przyjęto te wielkości za zerowe. W przypadku 16 otworów znane były tylko interwały okruszcowane o średniej zawartości procentowej Cu, bez wyników analiz jednostkowych i bez oznaczeń Ag, Zn i Pb, których wartości przyjęto za zerowe. Dla 5 otworów dysponowano informacjami na temat

interwału okruszcwanego o znanej średniej zawartości miedzi ekwiwalentnej uwzględniającej udział srebra, obliczonej według wzoru z rozporządzenia Ministra Środowiska. Brak było danych na temat rozdzielonych zawartości miedzi i srebra. Nie dysponowano także żadnymi wynikami dotyczącymi cynku i ołowiu, toteż ich zawartości przyjęto za zerowe. W przypadku 37 otworów również nie dysponowano jednostkowymi wynikami analiz, jednak wiadomo było, że nie stwierdzono w nich interwałów okruszcowania spełniających kryteria jakościowe określone rozporządzeniem Ministra Środowiska. Jednocześnie brak było informacji na temat oznaczeń Zn i Pb. Tym samym dla tych otworów przyjęto zerową zawartość wszystkich 4 analizowanych pierwiastków.

Lokalizację otworów wykorzystanych do oszacowania zasobów (wraz z otworami konturującymi) na tle granic obszaru Sulmierzyce-Odolanów przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Lokalizacja obszaru Sulmierzyce-Odolanów oraz zbadanych otworów archiwalnych na tle obszarów perspektywicznych złóż miedzi i srebra (wg Oszczepalski i in. 2016, zmienione)

Fig. 1. Location of the Sulmierzyce-Odolanów area and the examined historical boreholes against prospective areas of copper and silver deposits

2.2. Niekorzystne aspekty stosowania obecnej metodyki szacowania zasobów

Według obowiązujących przepisów obliczenia zasobów cechsztyńskich złóż miedzi i srebra powinny być wykonywane w oparciu o parametry definiujące złożę i jego granice. Są one zdefiniowane w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny, z wyłączeniem złoża węglowodorów (Dz.U. z 15 lipca 2015, poz. 987) (tab. 1). Do parametrów tych należą ekwiwalentna za-

wartość i zasobność miedzi, uwzględniająca udział srebra, przy czym wzór na zawartość ekwiwalentną zdefiniowany w wyżej wymienionym rozporządzeniu ma postać:

$$Cu_e = Cu + 0,01 \cdot Ag \quad (1)$$

gdzie:

- Cu_e – zawartość ekwiwalentna miedzi [%],
- Cu i Ag – odpowiednio zawartość miedzi [%] i srebra [g/Mg].

Jeśli chodzi o wartość rynkową składników rudy, rozporządzenie zakłada, że dla danego pokładowego stratoidalnego złoża rud miedzi odpowiednikiem zawartości srebra wynoszącej 100 g/Mg jest zawartość miedzi wynosząca 1%. Dla przykładu, próba zawierająca 2,0% Cu i 50 g/Mg Ag ma zgodnie z tym wzorem 2,5% Cu_e (miedzi ekwiwalentnej).

TABELA 1. Graniczne wartości parametrów definiujących złożo i jego granice dla pokładowych stratoidalnych złóż rud miedzi

TABLE 1. The threshold values of parameters defining an ore deposit and its boundaries for bed-hosted stratiform copper ore deposits

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
1.	Maksymalna głębokość spągu złoża	m	1500
2.	Minimalna zawartość miedzi (Cu) w próbce konturującej złożo	%	0,5
3.	Minimalna średnia ważona zawartość ekwiwalentna miedzi (Cu) z uwzględnieniem zawartości srebra (Ag) w profilu złoża wraz z przerostami $Cu_e = (\%Cu) + 0,01$ (g/t Ag)	%	0,5
4	Minimalna zasobność złoża (Cu_e)	kg/m ²	35

Powyższy wzór (1) pomija udział innych metali, takich jak cynk i ołów, co powoduje zaniżenie zasobów rud polimetalicznych. Jest to niekorzystne z punktu widzenia potencjalnego inwestora, zwłaszcza w przypadku mineralizacji głębokiej, takiej jak w obszarze Sulmierzyce-Odolanów, gdzie z przyczyn ekonomicznych istotne jest skoncentrowanie się na najbogatszych partiach złoża. Takie zaniżone zasoby przedstawiane są w dokumentacji geologicznej złoża i uaktualnianym co roku *Bilansie zasobów złóż kopalin w Polsce* (Szufflicki i in. 2017). Ich niedoszacowanie może być także przyczyną strat finansowych Skarbu Państwa. Dzieje się tak w przypadku rozpoczęcia wydobywania kopaliny ze złoża, co niesie ze sobą obowiązek uiszczania przez przedsiębiorcę górniczego tzw. opłaty eksploatacyjnej. Jest ona ustalana co roku obwieszczeniem Ministra Środowiska dotyczącym stawek opłat z zakresu przepisów Prawa geologicznego i górniczego. W przypadku cechstyńskich stratoidalnych złóż polimetalicznych uwzględnia ona jedynie obecność miedzi i srebra, pomijając pozostałe metale występujące w rudzie, np. cynk i ołów. Powoduje to zaniżenie stawki opłaty, a co za tym idzie pomniejszenie wpływów z tego tytułu do Skarbu Państwa. Proponowane rozwiązanie powinno mieć zastosowanie do metali faktycznie odzyskiwanych z rudy przez przedsiębiorcę, w tym do eksploatowanych w przy-

szłości złóż głębokich, gdzie od początku należy koncentrować się na pozyskiwaniu jak największej ilości składników użytecznych.

Inną wadą stosowanego wzoru jest fakt, iż sprawdza się on tylko dla konkretnego wzajemnego stosunku cen miedzi i srebra, przy przyjęciu ogólnie określonych wartości uzysku tych metali w procesie przeróbki rudy. Oznacza to, że nie uwzględnia on wahań, jakim stale podlegają ceny tych surowców. Wzór spełniony jest dla ceny srebra wynoszącej 25 USD za 1 tr oz (jedną uncję trojańską) i ceny miedzi równej 3,5 USD za 1 lb (jeden funt) przy średnim uzysku przeróbki wynoszącym 85,5% dla srebra i 89,0% dla miedzi (Bartlett i in. 2013). Jest to spowodowane faktem, iż przy zawartości srebra równej 100 g/Mg z jednej tony rudy można odzyskać 85,5 g tego metalu, czyli 2,7489 tr oz. Po pomnożeniu powyższej masy Ag przez cenę jednostkową 25 USD/tr oz otrzymuje się wartość srebra uzyskanego z 1 tony rudy równą 68,7 USD. Z kolei zawartość miedzi równa 1% oznacza 10 kg tego metalu w 1 tonie rudy, z czego odzyskać można 8,9 kg, czyli 19,6211 lb. Pomnożenie tej masy Cu przez cenę jednostkową równą 3,50 USD/lb również daje wartość pieniężną równą 68,7 USD. Innymi słowy, przy podanych powyżej cenach miedzi i srebra zawartość Ag wynosząca 100 g/Mg przynosi taki sam zysk w dolarach, jak zawartość Cu równa 1%.

Wzór ten będzie prawidłowy także dla innych teoretycznych cen tych metali, o ile pozostaną one w takiej samej wzajemnej proporcji, tj. stosunek ceny miedzi w USD/lb do ceny srebra w USD/tr oz będzie wynosił od 3,5 do 25. Jednakże ciągle wahania cen i ich wzajemnych relacji powodują, iż realna zawartość ekwiwalentna nie jest stała w czasie. W praktyce oznacza to, że dany otwór wiertniczy ze złożowego punktu widzenia może być np. w danym roku pozytywny, a w innym negatywny, nie zawierając interwału spełniającego graniczne parametry jakościowe. Alternatywnie, w jednym roku parametry te mogą być spełnione przez interwał bardziej miąższy, a w innym przez interwał o znacznie mniejszej miąższości. Co za tym idzie, samo złożo, mimo braku dokładniejszego rozpoznania bądź eksploatacji, może z biegiem czasu zmieniać swój zasięg przestrzenny zarówno w pionie (miąższość), jak i poziomie (granice złoża na mapach). Tym samym również zasoby złoża mogą ulegać zwiększeniu lub zmniejszeniu w zależności od zmian cen rynkowych obecnych w nim metali.

Należy zaznaczyć, że Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. dopuszcza stosowanie innych niż wyznaczone w nim parametrów definiujących złożo i jego granice, o ile jest to odpowiednio uzasadnione w dokumentacji geologicznej.

2.3. Proponowana metodyka szacowania zasobów złóż polimetalicznych Cu, Ag, Pb, Zn

Pierwszym krokiem w przygotowaniu nowej metodyki było zmodyfikowanie wzoru z rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. tak, by możliwe było uwzględnienie zmian cen miedzi i srebra w czasie. W tym celu wprowadzono własną zmienną, w niniejszym artykule nazwaną współczynnikiem zysku ekwiwalentnego dla srebra, odpowiadającą zawartości Ag wyrażonej w g/Mg, która da taki sam zysk wyrażony w dolarach, jak zawartość Cu równa 1%. Zaproponowano następującą formułę:

$$Cu_e = Cu + s^{-1} \cdot Ag \quad (2)$$

Symbol s oznacza współczynnik zysku ekwiwalentnego dla srebra, pozostałe symbole są analogiczne jak we wzorze (1). Wartość s obliczana jest ze wzoru:

$$s = \frac{U_{Cu} \cdot \$_{Cu}}{0,0001 \cdot U_{Ag} \cdot \$_{Ag}} \quad (3)$$

Symbole U_{Cu} i U_{Ag} oznaczają odpowiednio uzysk miedzi i srebra w procesie przeróbki, natomiast $\$_{Cu}$ i $\$_{Ag}$ są to ceny miedzi i srebra wyrażone w USD/Mg (dla ułatwienia obliczeń zastosowano te same jednostki cen dla obu metali). Wartość 0,0001 w mianowniku ułamka wynika z różnicy między g/Mg a % (1 g/Mg, inaczej 1 ppm, czyli jedna milionowa, to 0,0001%).

Wartości U_{Cu} i U_{Ag} przyjęto odpowiednio na poziomie 89% i 85,5%, jak podano powyżej (Bartlett i in. 2013).

W dalszym etapie zmodyfikowano wzór tak, aby możliwe było obliczenie zawartości polimetalicznego ekwiwalentu miedzi w rudzie, uwzględniając nie tylko udział srebra, ale także cynku i ołowiu. W tym celu wprowadzono współczynniki zysku ekwiwalentnego dla Zn i Pb, czyli odpowiednio zawartości cynku i ołowiu wyrażone w procentach, dające taki sam zysk w dolarach, jak zawartość miedzi równa 1%. Po uwzględnieniu tych wielkości otrzymano następujący wzór:

$$Cu_{epol} = Cu + s^{-1} \cdot Ag + c^{-1} \cdot Zn + o^{-1} \cdot Pb \quad (4)$$

Symbol Cu_{epol} oznacza zawartość polimetalicznego ekwiwalentu miedzi uwzględniającego Cu , Ag , Zn i Pb , wyrażoną w %. Symbole c i o oznaczają odpowiednio współczynniki zysku ekwiwalentnego dla cynku i ołowiu, natomiast symbole Zn i Pb zawartości procentowe tych pierwiastków w rudzie. Pozostałe symbole bez zmian. Wartości c i o obliczono z następujących wzorów:

$$c = \frac{U_{Cu} \cdot \$_{Cu}}{U_{Zn} \cdot \$_{Zn}} \quad (5)$$

$$o = \frac{U_{Cu} \cdot \$_{Cu}}{U_{Pb} \cdot \$_{Pb}} \quad (6)$$

Symbole U_{Zn} i U_{Pb} oznaczają odpowiednio uzysk cynku i ołowiu w procesie przeróbki; symbole $\$_{Zn}$ i $\$_{Pb}$ to ceny tych metali wyrażone w USD/Mg, pozostałe symbole jak powyżej.

Uzysk dla cynku przyjęto na poziomie 92%, a dla ołowiu 90% (Retman i in. 2014). Są to wielkości charakterystyczne dla, niebędących przedmiotem niniejszego artykułu, rud sfalerytowo-galenowych, w których Zn i Pb są kopalinią główną. Niemniej, autorzy uważają, że dla umożliwienia opłacalnej eksploatacji głębokich złóż cechsztyńskich konieczne będzie wdrożenie przełomowych metod przeróbki rudy niestosowanych dotychczas w Polsce, które pozwolą na odzyskanie maksymalnej ilości składników użytecznych. Obecnie prowadzo-

ne są z sukcesami badania dążące do zwiększania uzysku metali z rud polimetalicznych w procesie przeróbki, m.in. z zastosowaniem ultradźwięków (Kursun i Ulusoy 2012, 2015). Ewentualnym przedmiotem przyszłych prac może być także prześledzenie zmian wartości współczynników s , c i o w zależności od różnych założonych wartości uzysku metali w procesie przeróbki.

Użyte we wzorach ceny miedzi, srebra, cynku i ołowiu można przyjąć dla dowolnego przedziału czasowego, jaki interesuje autora obliczeń, np. dla konkretnej daty lub średnie dla ubiegłego miesiąca, roku itd., pod warunkiem, że są to te same przedziały dla wszystkich czterech metali. Tym samym współczynniki s , c i o , a na ich podstawie także zawartość polimetalicznego ekwiwalentu miedzi, mogą być liczone dla dowolnych przedziałów czasowych.

Dysponując zawartością polimetalicznego ekwiwalentu miedzi można obliczyć jego zasobność, stosując następujący wzór:

$$QCu_{epol} = \frac{\rho_{sk} - Cu_{epol}(\rho_{sk} - \rho_{Cu})}{100 \cdot \rho_{sk}} \cdot \frac{Cu_{epol}}{100} \cdot m \quad (7)$$

Zasobność polimetalicznego ekwiwalentu miedzi uwzględniającego Cu, Ag, Zn i Pb wyrażoną w kg/m^2 oznaczono symbolem QCu_{epol} . Symbole ρ_{sk} i ρ_{Cu} oznaczają odpowiednio gęstość skały i gęstość miedzi w kg/m^3 , natomiast m – miąższość interwału w metrach. Pozostałe symbole jak wyżej.

W niniejszym artykule przyjęto gęstość miedzi równą $8933 kg/m^3$, a także zależną od litologii gęstość skały równą $2600 kg/m^3$ dla łupków oraz wapieni/dolomitów, $2300 kg/m^3$ dla piaskowców i $2900 kg/m^3$ dla anhydrytów (Bartlett i in. 2013).

Dysponując zasobnością polimetalicznego ekwiwalentu miedzi wyrażoną w kg/m^2 ustaloną dla danego otworu wiertniczego można następnie obliczyć wartość rynkową metali występujących w tym otworze, wyrażoną w dolarach amerykańskich na metr kwadratowy, stosując wzór:

$$\$Cu_{epol} = QCu_{epol} \cdot \$Cu \cdot 0,001 \quad (8)$$

Wartość mineralizacji polimetalicznej Cu, Ag, Zn i Pb w USD/m^2 oznaczono symbolem $\$Cu_{epol}$, pozostałe symbole jak powyżej.

3. Zasobność i wartość rynkowa mineralizacji polimetalicznej

W celu uzyskania obrazu zmian zasobów polimetalicznego ekwiwalentu miedzi w funkcji czasu, w obliczeniach posłużono się średnimi cenami czterech badanych metali w latach 2012, 2013, 2014, 2015 i 2016. Wszystkie ceny użyte do obliczeń pochodzą z portalu Bankier.pl. Obliczone dla tych lat współczynniki zysku ekwiwalentnego s , c i o wraz ze średniorocznymi cenami przedstawiono w tabeli 2. Ponieważ przytoczone we wcześniejszej części artykułu graniczne wartości parametrów definiujących złożę i jego granice dotyczą tylko miedzi i srebra, w celach pomocniczych skorzystano również z parametrów definiujących złożę ustalonych w tym samym Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r.

dla siarczkowych rud cynku i ołowiu (tab. 3). Pomimo iż dotyczą one znacznie płytszych złóż, przytoczone w nich parametry jakościowe okazały się przydatne przy wyznaczaniu interwałów z mineralizacją polimetaliczną.

TABELA 2. Wahania średniorocznych cen metali w latach 2012–2016 i wynikające z nich różnice wartości współczynników zysku ekwiwalentnego s, c i o (ceny według www.bankier.pl)

TABLE 2. The fluctuations of average annual metal prices in the years 2012–2016 and the resulting differences in the values of equivalent gain coefficients s, c and o

Rok	Średnia cena metalu w roku [USD/t]				Wartości współczynników		
	Miedź	Srebro	Cynk	Ołów	s	c	o
2012	7 944	1 000 000	1 973	2 071	82,7	3,896	3,793
2013	7 354	763 666	1 949	2 162	100,2	3,651	3,364
2014	6 826	613 826	2 170	2 117	115,8	3,043	3,189
2015	5 495	504 823	1 941	1 794	113,3	2,739	3,029
2016	4 871	551 768	2 102	1 876	91,9	2,242	2,568

TABELA 3. Graniczne wartości parametrów definiujących złożę i jego granice dla siarczkowych rud cynku i ołowiu

TABLE 3. The threshold values of parameters defining an ore deposit and its boundaries for sulphide zinc and lead ores

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
1.	Minimalna zawartość cynku i ołowiu (Zn+Pb) w formie siarczkowej w próbce konturującej złożę, niezależnie od stopnia utlenienia rudy	%	2
2.	Minimalna średnia ważona zawartość cynku i ołowiu (Zn+Pb) w formie siarczkowej w profilu złoża wraz z przerostami	%	2
3.	Minimalna zasobność interwału złożowego	m%	5
4.	Maksymalna głębokość spągu złoża	m	500

W przypadku otworów, dla których dysponowano wynikami jednostkowych analiz chemicznych prób skalnych, dla każdej z nich obliczono zawartość polimetalicznego ekwiwalentu miedzi stosując wzór (4). Dana próba została uznana za spełniającą kryterium minimalnej zawartości ekwiwalentu polimetalicznego, jeśli spełniała co najmniej jeden z poniższych warunków:

- a) zawartość miedzi większa lub równa 0,5% (jak dla próbki konturującej wg tabeli 1);
- b) sumaryczna zawartość cynku i ołowiu większa lub równa 2% (jak dla próbki konturującej i średniej zawartości w profilu według tabeli 3);
- c) zawartość polimetalicznego ekwiwalentu miedzi Cu_{epol} liczona według wzoru (4) większa lub równa 0,5%.

Dany interwał profilu rdzenia był uznawany za kwalifikujący się do obliczeń zasobności polimetalicznego ekwiwalentu miedzi, jeśli spełniał jednocześnie dwa kryteria:

- 1) co najmniej dwie próbki konturujące interwał – najwyższa i najniższa w pionowym profilu otworu, plus ewentualnie dowolna ilość prób znajdujących się pomiędzy nimi – spełniały co najmniej jeden z powyższych warunków: a), b) lub c);
- 2) średnia ważona zawartość polimetalicznego ekwiwalentu miedzi Cu_{epol} liczona dla całego interwału była większa lub równa 0,5% (analogicznie jak w tabeli 1).

Oznacza to, iż w danym otworze miąższość takiego interwału mogła zmieniać się w zależności od średnich cen w badanym roku. Dla wyznaczonych interwałów określono zasobność polimetalicznego ekwiwalentu miedzi według wzoru (7) dla każdego roku z analizowanego okresu 2012–2016.

W przypadku otworów, dla których dysponowano tylko średnią zawartością miedzi i srebra w interwale rudnym o stałej miąższości, zawartość i zasobność ekwiwalentu polimetalicznego obliczono z użyciem wzorów (4) i (7), korzystając z tych wartości średnich i przyjmując zerowe zawartości cynku i ołowiu. Dla pozostałych otworów przyjęto stałe zawartości polimetalicznego ekwiwalentu miedzi, w zależności od otworu: zerowe, równe zawartości samej miedzi, albo ekwiwalentu miedziowo-srebrowego, a następnie analogicznie obliczono zasobności.

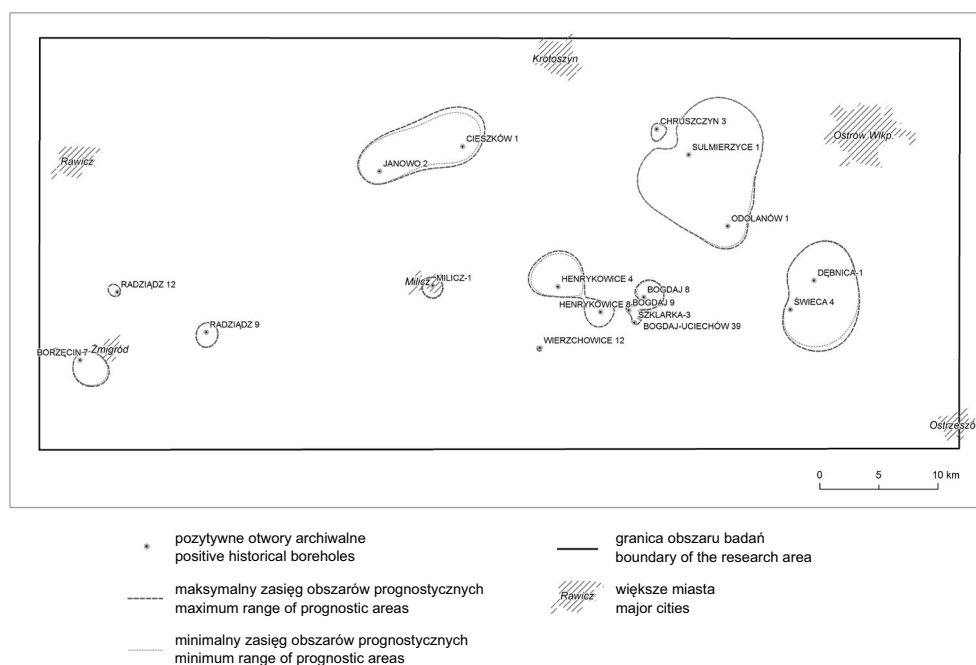
4. Dyskusja wyników

Z puli 73 otworów, dla których dysponowano wynikami analiz jednostkowych zawartości metali, wytypowano łącznie 45, w których przekroczona została minimalna zawartość polimetalicznego ekwiwalentu miedzi. W przypadku jednego otworu przekroczono ją tylko w roku 2016, w pozostałych otworach – w każdym roku z badanego okresu 2012–2016. Spośród pozostałych 44 otworów siedem charakteryzowało się zmienną miąższością interwału zmineralizowanego w zależności od badanego roku, natomiast w czterech wykazano zmienną liczbę interwałów – dwa lub jeden – na przestrzeni badanych lat.

Ponieważ badania miały służyć przede wszystkim lepszemu oszacowaniu mineralizacji o koncentracjach złożowych, z puli wszystkich otworów wyznaczono te, gdzie osiągnięto zasobność polimetalicznego ekwiwalentu miedzi równą 35 kg/m^2 . Jest to wartość analogiczna do tej, jaką sugeruje Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. w przypadku miedzi ekwiwalentnej uwzględniającej udział srebra (tab. 1). Łącznie została ona osiągnięta w dziewiętnastu otworach, z czego dla szesnastu dysponowano wynikami jednostkowych analiz. Spośród nich w czternastu otworach kryterium to spełniono w każdym z analizowanych lat, natomiast w dwóch – tylko w niektórych latach. Z kolei łącznie w 65 otworach spośród 135 znajdujących się w granicach obszaru Sulmierzyce-Odolanów nie stwierdzono próbek o zawartości polimetalicznego ekwiwalentu miedzi $\geq 0,5\%$ (otwory o zerowej zasobności). Oznacza to, że w przypadku 50 otworów w każdym roku z przedziału 2012–2016 zasobność polimetalicznego ekwiwalentu miedzi była większa niż 0 kg/m^2 i mniejsza niż 35 kg/m^2 .

W oparciu o obliczone dane opracowano mapy izolinii zasobności polimetalicznego ekwiwalentu miedzi oraz izolinii wartości mineralizacji w USD/m^2 . Zostały one sporządzone oddzielnie dla każdego z badanych lat, z zastosowaniem geostatystycznej metody

krigingu zwyczajnego w odmianie punktowej, wykorzystującej algorytm średniej ważonej (Wasilewska-Błaszczuk i in. 2017). Na ich podstawie dokonano obliczeń parametrów obszarów prognostycznych, tj. wydzielonych izoliniami zasobności polimetalicznego ekwiwalentu miedzi równej 35 kg/m^2 . Do parametrów tych należały: powierzchnia, szacowane zasoby oraz szacowana wartość pieniężna kopaliny. Wyniki ich obliczeń przedstawiono w tabeli 4. Dla zobrazowania zmian parametrów jakościowych mineralizacji w tabeli 5 porównano najwyższe i najniższe wartości zasobności polimetalicznego ekwiwalentu miedziowego odnotowane w latach 2012–2016 dla otworów, dla których dysponowano jednostkowymi wynikami analiz chemicznych z pominięciem tych, gdzie we wszystkich badanych latach wartości te były zerowe. Przykładową mapę przedstawiającą różnice między największym a najmniejszym zasięgiem obszarów prognostycznych wyznaczonych metodą krigingu zaprezentowano na rysunku 2.



Rys. 2. Minimalne i maksymalne zasięgi obszarów prognostycznych dla polimetalicznych złóż Cu-Ag-Zn-Pb

Fig. 2. Minimum and maximum ranges of prognostic areas of polymetallic Cu-Ag-Zn-Pb deposits

Największe zasoby polimetalicznego ekwiwalentu miedzi odnotowano w roku 2016, a najmniejsze w roku 2014 – różnica pomiędzy nimi wynosi 4,93%. Jednakże w przypadku wartości kopaliny widoczny jest stały trend spadkowy między rokiem 2012 a 2016, przy różnicy wynoszącej aż 39,24%. Jest to spowodowane przede wszystkim znacznymi stałymi spadkami średniorocznych cen miedzi w omawianych latach (tab. 2).

TABELA 4. Parametry obszarów prognostycznych polimetalicznych złóż Cu-Ag-Zn-Pb

TABLE 4. Parameters of prognostic areas of polymetallic Cu-Ag-Zn-Pb deposits

Rok	Powierzchnia sumaryczna obszarów prognostycznych [km ²]	Łączne zasoby Cuepol [mln ton]	Wartość kopaliny [mld USD]
2012	219,71	13,54	106,98
2013	212,35	13,14	95,36
2014	207,48	12,93	86,82
2015	209,21	13,06	72,30
2016	218,45	13,60	65,00

TABELA 5. Porównanie maksymalnych i minimalnych zasobności polimetalicznego ekwiwalentu miedziowego

TABLE 5. A comparison of maximum and minimum productivities of polymetallic copper equivalent

OTWÓR	Maks. zasobność Cuepol [kg/m ²]	Min. zasobność Cuepol [kg/m ²]	OTWÓR	Maks. zasobność Cuepol [kg/m ²]	Min. zasobność Cuepol [kg/m ²]	OTWÓR	Maks. zasobność Cuepol [kg/m ²]	Min. zasobność Cuepol [kg/m ²]
Antonin 17	14,40	13,71	Jutrosin 4	1,52	1,48	Wierzchowice 12	38,50	31,83
Biedzianów 1	13,88	3,96	Kocięba 2	4,40	4,31	Wysocko 4	19,57	18,82
Bogdaj-Uciechów 23	33,28	26,46	Lelików 3	24,85	23,81	Dębica 1	93,51	93,30
Bogdaj-Uciechów 39	43,24	40,05	Pakosław 4	13,61	13,51	Bogdaj 8	80,21	75,49
Bogdaj-Uciechów 77	30,09	28,54	Perzycy 1	25,56	23,50	Bogdaj 9	39,37	39,25
Bogdaj-Uciechów 81	28,06	26,15	Radziądz 12	45,67	29,95	Henrykowice 4	89,60	83,04
Bogdaj-Uciechów 84	2,60*	2,49*	Radziądz 14	0,71*	1,44	Henrykowice 8	67,00	65,04
	5,65*	4,99*		1,64*				
Borzęcin 22	9,22	4,40	Świeca 4	58,81	56,22	Szkłarka 3	3,54*	41,59
							42,92*	
Borzęcin 24	73,95	43,56	Świeca 5	9,28	8,58	Cieszków 1	49,76	46,24
Chruszczyn 3	74,66	71,50	Świeca 6	21,55	20,28	Janowo 2	69,19	66,11
Grabówka 7	20,88	17,07	Świeca 7	17,28	16,57	Odolanów 1	84,15	71,23
Grabówka 14	6,54	6,24	Tarchały 5	4,00*	3,87*	Sulmierzyce 1	231,75	231,50
				11,33*	10,71*			
Henrykowice 16	2,78	0	Tarchały 6	19,14	17,33	Pakosław 5	2,47	2,27
Janowo 6	16,85	15,88	Tarchały 13	4,94	4,56	Sadowie 2	12,65	11,76
Jutrosin 1	13,41	13,07	Uciechów 5	26,27	17,16*	Tarchały 12	30,76	8,37*
					7,00*			14,22*

* W otworze wydzielono dwa interwały zmineralizowane.

Podsumowanie

Niniejszy artykuł przedstawia autorskie wzory umożliwiające pełniejsze niż dotychczas scharakteryzowanie składników polimetalicznej rudy cechsztyńskiej z uwzględnieniem udziału w niej czterech pierwiastków: miedzi, srebra, cynku i ołowiu, oraz śledzenie zmienności jej parametrów jakościowych w czasie, wynikającej z wahań cen rynkowych tych metali. Ponadto przedstawiono zmiany wartości pieniężnej kopaliny położonej na obszarach prognostycznych o niestałych granicach. W tym ujęciu złoża czy obszar prognostyczny przestają być obiektem o stałych parametrach geologiczno-złożowych, który został raz udokumentowany i od tamtego czasu pozostaje niezmienny.

Zastosowane obliczenia stanowią bazę do opracowania pełnej metodyki szacowania zasobów, w dużym stopniu eliminującej dotychczasowy problem pomijania części składników kopaliny w dokumentacji geologicznej. Jest to szczególnie istotne obecnie, gdy w związku z rozwojem technologii wydobywczych obszary o głęboko występującej mineralizacji stały się przedmiotem zainteresowania przedsiębiorców górniczych. W przypadku głębokich złóż ekonomicznie opłacalne wydobycie uwarunkowane jest koncentracją na ich najbogatszych partiach oraz pozyskiwaniem możliwie największej liczby użytecznych składników rudy.

Literatura

- Bartlett i in. 2013 – Bartlett, S.C., Burgess, H., Damjanović, B., Gowans, R.M. i Lattanzi, C.R. 2013. *Raport techniczny dotyczący produkcji miedzi i srebra przez KGHM Polska Miedź S.A. w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym w południowo-zachodniej Polsce*. Micon International Co. Limited.
- Gospodarczyk i in. 1980 – Gospodarczyk, E., Lisiakiewicz, S., Metlerski, E., Oszczepalski, S., Rydzewski, A. i Ważny, H. 1980. *Poszukiwanie cechsztyńskich rud miedzi w rejonie monokliny przedsudeckiej – Dokumentacja wyników otworów: M-1 Lipowiec, M-5 Dryżyna, M-9 Grochowice, M-24 Dachów*. Narod. Arch. Geol. Warszawa: PIG-PIB.
- Gospodarczyk, E. i Metlerski, E. 1986. Rudy miedzi – monoklina przedsudecka. [W:] *Zasoby perspektywiczne kopalni Polski* red. A. Bolewski, H. Gruszczyk, s. 174–179. Warszawa: Inst. Geol.
- Gospodarczyk i in. 1975 – Gospodarczyk, E., Metlerski, E., Rydzewski, A. i Wyżykowski, J. 1975. *Poszukiwanie cechsztyńskich rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. Wyjaśnienie możliwości przedłużania się złoża Lubin-Głogów po upadzie – Dokumentacja otworu Sława IG 1*. Warszawa: Narod. Arch. Geol. PIG-PIB.
- Górecka, E. i Oszczepalski, S. 2011. Badanie zawartości złota w cechsztyńskiej serii miedzionosnej z obszaru Dolnego Śląska z zastosowaniem techniki absorpcyjnej spektrometrii atomowej z atomizacją elektrotermiczną (ET AAS). [W:] *XI Konferencja – Analityka w służbie hydrogeologii, geologii i ochrony środowiska*, Warszawa, 25–26 maja 2011 r. Materiały Konferencyjne 6.
- Grocholski, W. 1991. *Budowa geologiczna przedkenozoicznego podłoża Wielkopolski*. 62 Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego w Poznaniu, 1991. Referaty 7–18.
- Kursun, H. i Ulusoy, U. 2012. Zinc Recovery From Lead-Zinc-Copper Complex Ores by Using Column Flotation. *Mineral Processing and Extractive Metall. Rev.* 33, 5, s. 327–338.
- Kursun, H. i Ulusoy, U. 2015. Zinc Recovery from a Lead-Zinc-Copper Ore by Ultrasonically Assisted Column Flotation. *Particulate Science and Technology* 33, 4, s. 349–356.
- Menning i in. 2006 – Menning, M., Alekseev, A.S., Chuvashov, B.I., Davydov, V.I., Devuyt, F.-X., Forke, H.C., Grunt, T.A., Hance, L., Heckel, P.H., Izokh, N.G., Jin, Y.-G., Jones, P.J., Kotlyar, G.V., Kozur, H.W., Nemyrovska, T.I., Schneider, J.W., Wang, X.-D., Weddige, K., Weyer, D. i Work, D.M. 2006. Global time scale and regional stratigraphic reference scales of Central and West Europe, East Europe, Tethys, South China, and North America as used in the Devonian–Carboniferous–Permian Correlation Chart 2003 (DCP 2003). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 240, s. 318–372.

- Oszczepalski, S. 1989. Kupferschiefer in southwestern Poland: sedimentary environments, metal zoning, and ore controls. *Geol. Assoc. Canada Spec. Paper* 36, s. 571–600.
- Oszczepalski, S. 1994. Oxidative alteration of the Kupferschiefer in Poland: oxide–sulphide parageneses and implications for ore–forming models. *Geol. Quart.* 38, s. 651–672.
- Oszczepalski, S. 1999. Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland. *Mineralium Deposita* t. 34, z. 5–6, s. 599–613.
- Oszczepalski, S. i Chmielewski, A. 2015. Zasoby przewidywane surowców metalicznych Polski na mapie w skali 1 : 200 000 – miedź, srebro, złoto, platyna i pallad w utworach cechsztyńskiej serii miedzionośnej. *Przegląd Geologiczny* t. 63, nr 9, s. 534–545.
- Oszczepalski i in. 2012a – Oszczepalski, S., Chmielewski, A., Sowula, W., Boratyn, J., Pikula, K. i Zieliński, K. 2012. *Ocena możliwości występowania cechsztyńskiej mineralizacji Cu–Ag na obszarze województw lubuskiego i wielkopolskiego na podstawie archiwalnych materiałów wiertniczych, w tym wierceń naftowych*. Warszawa: Narod. Arch. Geol. PIG-PIB.
- Oszczepalski i in. 2012b – Oszczepalski, S., Speczik, S. i Marks, L. 2012. *Litologia, petrografia i cechsztyńska mineralizacja kruszcowa w wybranych profilach wiertniczych z rejonu Żmigród, Milicz, Sulmierzyce i Kalisz*. Warszawa: PIG-PIB.
- Oszczepalski, S. i Rydzewski, A. 1983. Miedzionośność utworów permu na obszarze przylegającym do złoża Lubin – Sieroszowice. *Przegląd Geologiczny* t. 31, nr 7, s. 437–444.
- Oszczepalski, S. i Rydzewski, A. 1987. Paleogeography and sedimentary model of the Kupferschiefer in Poland. *Lecture Notes in Earth Sci.* 10, s. 189–205.
- Oszczepalski, S. i Rydzewski, A. 1997. *Atlas metalogeniczny cechsztyńskiej serii miedzionośnej w Polsce*. Państw. Inst. Geol. – Wydawnictwo Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej S.A. Warszawa.
- Oszczepalski, S. i Speczik, S. 2011. Rudy miedzi i srebra. [W:] *Bilans perspektywicznych zasobów kopalni Polski wg stanu na 31 XII 2009 r.* (red. S. Wołkowicz et al.), s. 76–93, Warszawa: Narod. Arch. Geol. PIG-PIB.
- Oszczepalski i in. 2016 – Oszczepalski, S., Speczik, S., Małecka, K. i Chmielewski, A. 2016. Prospective copper resources in Poland. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 32, z. 2, s. 5–30.
- Peryt, T.M. 1984. Sedymentacja i wczesna diageniza utworów wapienia cechsztyńskiego w Polsce zachodniej. *Prace Państw. Inst. Geol.* 109, 80 s.
- Peryt i in. 2012 – Peryt, T.M., Durakiewicz, T., Kotarba, M.J., Oszczepalski, S. i Peryt, D. 2012. Carbon isotope stratigraphy of the basal Zechstein (Lopingian) strata in Northern Poland and its global correlation. *Geol. Quart.* 56, 2, s. 285–298.
- Peryt, T.M. i Oszczepalski, S. 1996. Stratygrafia serii złożowej. [W:] *Monografia KGHM Polska Miedź SA*, s. 132–136. Lubin.
- Pieczonka, J. 2011. *Prawidłowości w rozmieszczeniu minerałów kruszczowych w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej*. Kraków: Wydawnictwa AGH.
- Preidl i in. 2007 – Preidl, M., Nieć, M. i Mucha, J. 2007. Dokumentowanie złóż monokliny przedsudeckiej. [W:] *Monografia KGHM Polska Miedź SA* red. A. Piestrzyński, s. 148–157, Lubin: Cuprum.
- Retman i in. 2014 – Retman, W., Młynarczyk, M., Grelewicz, M., Kosowska, M., Kosowski, M. i Krzyszyński, K. 2014. *Dokumentacja geologiczna złoża rud cynku i ołowiu „Zawiercie 3” w kategorii C1 + C2 + D w miejscowości: Zawiercie, Łazy, Rokitno Szlacheckie, Markowizna, Józefów, Poręba, gm. Zawiercie, Łazy, Ogrodzieniec, Poręba, pow. zawierciański, woj. śląskie*. Rathdowney Polska Sp. z o.o., Kraków.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny, z wyłączeniem złoża węglowodorów (Dz.U. z 2015, poz. 987).
- Rydzewski i in. 1996 – Rydzewski, A., Banaszak, A. i Oszczepalski, S. 1996. Obszary perspektywiczne dla złóż miedzi. [W:] *Monografia KGHM Polska Miedź SA* (red. A. Piestrzyński), s. 332–339, Lubin: Cuprum.
- Szuflicki i in. 2017 – Szuflicki, M., Malon, A. i Tymiński, M. red. 2017. Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce wg stanu na 31 XII 2016 r. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy.
- Wagner, R. 1994. Stratygrafia osadów i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. *Pr. Państw. Inst. Geol.* 156, s. 1–71.
- Wasilewska-Błaszczuk i in. 2017 – Wasilewska-Błaszczuk, M., Golda, K., Dudek, M. i Mucha, J. 2017. Czy symulowanie się opłaca? – rzecz o geostatystycznym szacowaniu zasobów na przykładzie złoża Cu–Ag Rudna. *Górnictwo Odkrywkowe* R. LVIII, nr 2, s. 5–13.
- Wyżykowski, J. 1958. Poszukiwania rud miedzi na obszarze strefy przedsudeckiej. *Przegląd Geologiczny* t. 6, nr 1, s. 17–22.

Wyżykowski, J. 1959. *Dokumentacja geologiczna złoża rud miedzi „Sieroszowice-Lubin” w rejonie Głogowa i Legnicy*. Warszawa: Narod. Arch. Geol. PIG-PIB.

Zieliński, K. i Speczik, S. 2017 Głębokie złoża miedzi i srebra szansą dla górnictwa metali w Polsce. *Biuletyn PIG* 468, s. 153–164.