

STRATEGIA POSZUKIWANIA I DOKUMENTOWANIA GŁĘBOKICH STRATOIDALNYCH ZŁÓŻ CU-AG W POLSCE

PROSPECTING AND DOCUMENTING STRATEGY FOR DEEP STRATIFORM CU-AG ORE DEPOSITS IN POLAND

Krzysztof Zieliński - Mozów Copper Sp. z o.o., Warszawa

Stanisław Speczik - Mozów Copper Sp. z o.o., Warszawa; Uniwersytet Warszawski

W 2011 roku Miedzi Copper Corp. zainicjowała program poszukiwań głębokich złóż Cu-Ag na monoklinie przedsudeckiej, na obszarze województw lubuskiego, wielkopolskiego i dolnośląskiego. Pozyskano 21 koncesji poszukiwawczych, których granice wyznaczono w oparciu o znane i przypuszczalne obszary prognostyczne w pobliżu cechsztyńskich paleoelewacji i kontaktów facji utlenionej z redukcyjną. W pierwszym etapie programu zbadano archiwalne rdzenie wiertnicze i pobrano z nich próby do badań petrograficznych, składu chemicznego i geochemii organicznej. Piroliza Rock Eval pozwoliła na określenie obszarów tak zwanego mocnego Rote Fäule, facji zwykle powiązanej z obecnością bogatej mineralizacji Cu-Ag. Przeprowadzono także reprocessing danych geofizycznych z zastosowaniem innowacyjnej metody efektywnych współczynników odbicia. Program wierceń rozpoczęto w roku 2013, koncentrując się na najbardziej perspektywicznych obszarach i modyfikując kształt koncesji, tak by odpowiadał precyzyjnie wyznaczonym granicom prognostycznych stref rudnych. Prace wiertnicze doprowadziły do odkrycia trzech głębokich złóż rud Cu-Ag: Mozów, Sulmierzyce i Nowa Sól, z których dwa są obecnie w fazie przygotowania dokumentacji geologicznej. Z powodu znaczących głębokości zalegania kopaliny konieczne było zastosowanie inwestorskich parametrów wyznaczających złożę i jego granice. Ich ustalenie poprzedzono przygotowaniem szeregu specjalistycznych studiów, określających ekonomiczne i techniczne warunki przyszłej eksploatacji. Wykonane analizy wykazały, że opłacalne wydobycie kopaliny z wymienionych złóż będzie możliwe, pod warunkiem użycia nowoczesnych technologii górniczych, jakich nie stosowano dotychczas w Polsce.

Słowa kluczowe: głębokie złoża miedzi i srebra, monoklina przedsudecka, cechsztyńska mineralizacja kruszcowa, metody poszukiwań złóż kopalin, dokumentowanie złóż stratoidalnych, parametry definiujące złożę i jego granice

In 2011, Miedzi Copper Corp. initiated an exploration programme focused on deep Cu-Ag deposits of the Fore-Sudetic Monocline, in the Lubuskie, Wielkopolskie and Dolnośląskie Voivodships. Twenty-one prospecting concession were acquired, with their boundaries demarcated based on known and presumed prognostic areas next to Zechstein palaeo-elevations and contacts between oxidised and reduced facies. During the first stage of the project, historical drill cores were analysed and samples were collected for examinations involving petrography, chemical composition and organic geochemistry. Rock Eval pyrolysis enabled the demarcation of areas of the so-called strong Rote Fäule, a facies usually associated with the presence of abundant Cu-Ag mineralisation. Also, geophysical data reprocessing was performed using an innovative method of effective reflection coefficients. The drilling programme started in 2013, focusing on the most prospective areas, with the shape of concession areas modified to correspond to precisely demarcated boundaries of prognostic ore-bearing zones. Drilling operations lead to the discovery of three deep Cu-Ag ore deposits: Mozów, Sulmierzyce and Nowa Sól, two of which are currently in the phase of preparation of geological documentation. Due to the considerable depths of the ore, it was necessary to use the investor's own parameters defining the mineral deposit and its boundaries. Their determination was preceded by preparation of a number of specialised studies establishing the economic and technical conditions of future extraction. The performed analyses indicated that profitable extraction of ore from the abovementioned deposits will be possible, if modern mining technologies are used, ones which have not been applied in Poland so far.

Keywords: deep copper and silver deposits, Fore-Sudetic Monocline, Zechstein ore mineralisation, ore exploration methods, documentation of stratiform deposits, parameters defining a mineral deposit and its boundaries

Strategia poszukiwań

Miedzi Copper Corp. (MCC) jest kanadyjskim przedsiębiorstwem powołanym w celu poszukiwania, rozpoznawania, a następnie udokumentowania głębokich złóż rud miedzi i srebra w Polsce. W odróżnieniu od złóż płytszych, tj. do głębokości ok. 1500 m, nie były one wcześniej przedmiotem zainteresowania firm górniczych ze względu na bariery techniczno-ekonomiczne. Jednakże sytuacja ta w ostatnim czasie uległa zmianie, i dzięki zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań w zakresie konstrukcji kopalń możliwa jest opłacalna eksploatacja zasobów położonych głębiej niż 1500 m (Bellas, Tassou 2005, Zieliński i Speczik 2017, Humphreys 2019).

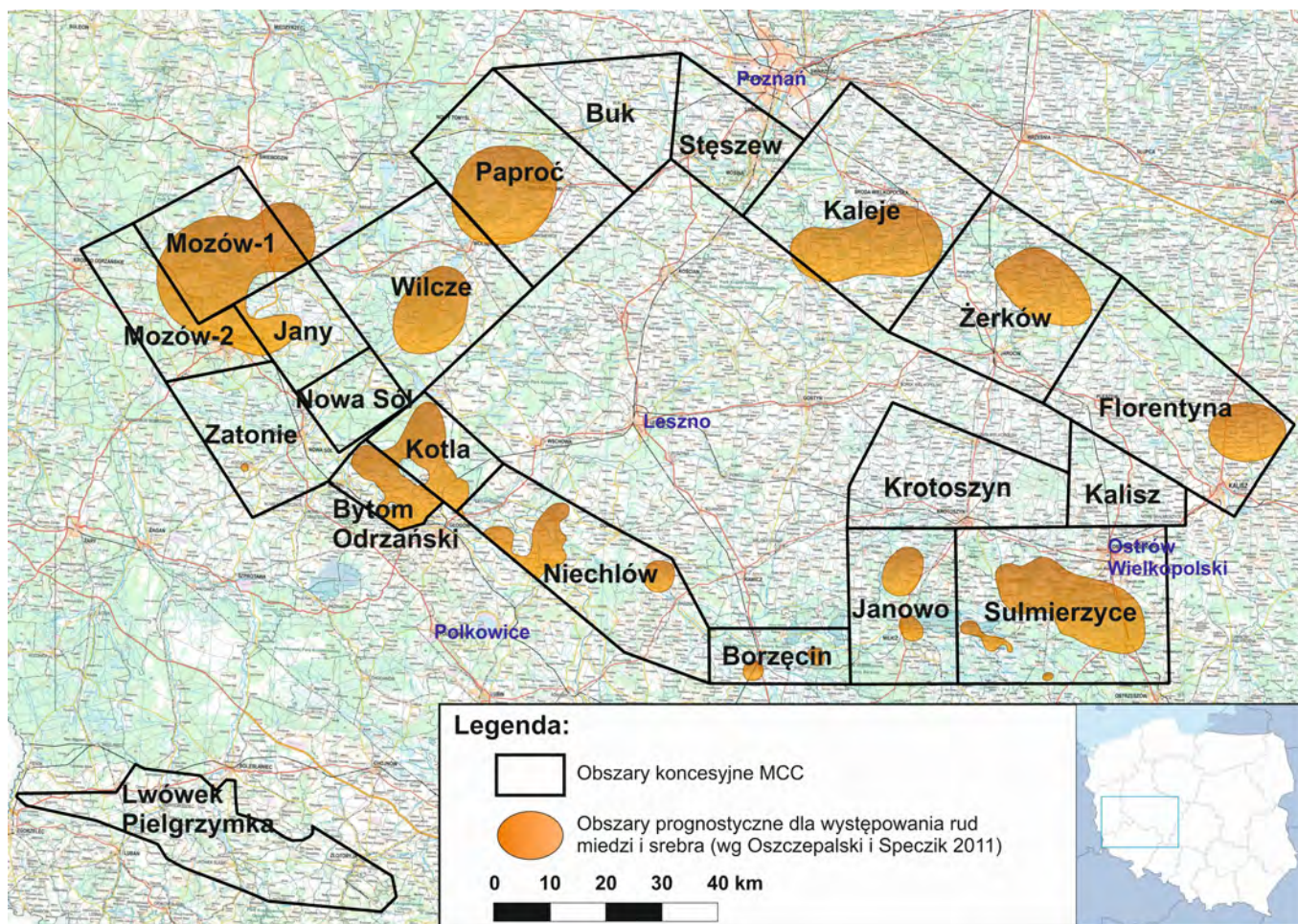
W latach 2011-2012 wystąpiono do Ministra Środowiska z wnioskami o udzielenie łącznie 21 koncesji poszukiwawczych, pokrywających większość obszaru północnej i wschodniej części monokliny przedsudeckiej (rys. 1). Tak szeroki zakres prac w aspekcie regionalnym wynika ze strategii zakładającej identyfikację budowy geologicznej i charakterystyki facjalnej całej jednostki geologicznej, poprzedzającą wybór najbardziej perspektywicznych obszarów dla prospekcji wiertniczej. Metodologia ta różni się od zwyczajowego podejścia firm górniczych, które skupiają swoje prace na obszarach wstępnie rozpoznanych w przeszłości, lub w bezpośrednim sąsiedztwie złóż udokumentowanych. Jedynie niewielka część tych obszarów koncesyjnych zlokalizowana była w pobliżu Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego, co umożliwiło korzystanie z archiwalnych danych na temat mineralizacji

Cu-Ag. Większość stanowiły obszary tzw. „greenfield”, gdzie nie prowadzono wcześniej prac nakierowanych na udokumentowanie złóż metali. W efekcie cały zakrojony na szeroką skalę projekt był pierwszym takim przedsięwzięciem badawczym na obszarach głęboko zalegającej mineralizacji cechsztyńskiej monokliny przedsudeckiej.

Granice koncesji wyznaczono w oparciu o kilka kryteriów, z których najważniejszymi były bliskość paleoelewacji podłoża permskiego (wzniesienia Wolsztyna i Szprotawy) i położenie w strefach kontaktu facji redukcyjnej z utlenioną (Rote Fäule) (Oszczepalski i Rydzewski 1997; Pieczonka i in. 2007). Wzięto także pod uwagę położenie obszarów prognostycznych dla złóż Cu-Ag, wyznaczonych w Bilansie Perspektywicznych Zasobów Kopalni Polski (Oszczepalski i Speczik 2011).

Analiza materiałów archiwalnych, w tym rdzeni wiertniczych

Na etapie prac przygotowawczych wykonano analizę archiwalnych rdzeni wiertniczych z otworów przemysłu naftowego. Specyfika poszukiwań złóż węglowodorów powoduje, że otwory te nie są rozmieszczone równomiernie, a raczej tworzą skupienia wielkości od kilku do kilkunastu otworów, co nie odpowiada strategii poszukiwania złóż metali. Prace te wykonano w archiwach rdzeni Narodowego Archiwum Geologicznego oraz PGNiG. Łącznie sprofilowano 411 otworów archiwalnych; z 216 z nich pobrano próby do badań laboratoryjnych. Łącznie pobrano 2559 prób do analiz składu che-



Rys. 1. Mapa koncesji i wniosków koncesyjnych MCC w roku 2012

Fig. 1. Map of concessions and concession applications of MCC in the year 2012

Tab. 1. Podsumowanie badań archiwalnych rdzeni wiertniczych wykonanych przez MCC
 Tab. 1. Summary of examinations of archival drill cores performed by MCC

| Spółki należące do MCC | Otworki sprofilowane | Otworki opróbowane do badań chemicznych (próbki bruzdowe) | | Otworki opróbowane do badań chemicznych (próbki punktowe) | | Otworki opróbowane do badań petrograficznych | | Otworki zbadane jedynie terenowym analizatorem XRF | |
|------------------------|----------------------|---|-------------|---|-------------|--|-------------|--|-------------|
| | Liczba otworów | Liczba otworów | Liczba prób | Liczba otworów | Liczba prób | Liczba otworów | Liczba prób | Liczba otworów | Liczba prób |
| Ostrzeszów Copper | 121 | 52 | 1176 | 9 | 73 | 67 | 471 | 1 | 18 |
| Wilcze Copper | 95 | 19 | 236 | 1 | 6 | 31 | 163 | 22 | 277 |
| Zielona Góra Copper | 8 | 3 | 57 | 0 | 0 | 3 | 21 | 0 | 0 |
| Mozów Copper | 3 | 2 | 47 | 0 | 0 | 1 | 18 | 1 | 14 |
| Florentyna Copper | 86 | 27 | 425 | 9 | 52 | 38 | 200 | 12 | 102 |
| Leszno Copper | 98 | 27 | 618 | 5 | 16 | 32 | 208 | 1 | 4 |
| ŁĄCZNIE | 411 | 130 | 2559 | 24 | 147 | 172 | 1081 | 37 | 415 |

micznego prowadzonych w sposób ciągły i 1081 prób do badań petrologiczno-mineralogicznych wraz z geochemią substancji organicznej. Szczegółowe dane na temat liczby zbadanych otworów przedstawiono w tabeli 1.

Zawartość pierwiastków w materiale rdzeniowym oznaczono w Acme Analytical Laboratories Ltd., Vancouver, Kanada. Wykorzystano próby pobierane w sposób ciągły z serii miedzionośnej, od kilku do kilkudziesięciu z każdego otworu w zależności od stanu rdzenia. Skład chemiczny ustalano z zastosowaniem spektrometrii mas sprzężonej z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) oraz atomowej spektrometrii absorpcyjnej (AAS). Mikroskopowe badania petrologiczne i mineralogiczne wykonywano na płytkach cienkich w świetle przechodzącym i odbitym. Ich celem było poznanie postaci i charakterystyki geochemicznej skał cechsztyńskiej serii miedzionośnej, oraz składu minerałów kruszcowych.

Badania rdzeni archiwalnych objęły także specjalistyczne analizy materii organicznej. Wykazały one pozytywną korelację między jej stopniem przeobrażenia a występowaniem ciał rudnych (Zieliński i in. 2017). Ponadto potwierdziły one wcześniejsze ustalenia, dotyczące zubożenia skał w facji utlenionej w węgiel organiczny i ich niższego indeksu wodorowego, przy podwyższonej refleksyjności wityrynytu, dojrzałości termicznej i indeksie tlenowym (Sawłowicz 1993; Speczik 1994). Główne składniki substancji organicznej w łupku miedzionośnym obejmują macerały z grupy liptynytu, natomiast macerały z grupy wityrynytu i inertynyty występują w mniejszych ilościach, co jest zgodne z wcześniejszymi obserwacjami (Speczik i Püttmann 1987). Wykonano także badania rozkładu materii organicznej z zastosowaniem pirolizy Rock-Eval. Jej wyniki dowiodły obecności tzw. silnego Rote Fäule, z którego strefami jest zwykle powiązana bogata mineralizacja Cu-Ag (Oszczepalski i Speczik 2009).

Poza badaniami materiału rdzeniowego MCC przeprowadziła reprocessing archiwalnych danych geofizycznych, obejmujący 24 000 punktów grawimetrycznych i około 1700 km profili sejsmicznych. Do tych ostatnich wykorzystano innowacyjną metodę efektywnych współczynników odbicia

(Speczik i in. 2012). Umożliwia ona przekształcenie konwencjonalnego obrazu sejsmicznego na postać impulsową, tj. czasową sekwencję współczynników, których sekcje korelowano z profilami otworów archiwalnych dla prześledzenia przebiegu serii litologicznych. Metoda ta jest przydatna do wykrywania cech strukturalnych takich jak uskoki, będące zasadniczymi elementami systemu mineralizacji, oraz charakterystycznych stref zmian litologicznych w spągu cechsztyny, gdzie możliwe jest występowanie minerałów rudnych. Podejście to zapewnia także o wiele większą rozdzielczość w stosunku do standardowych sekcji amplitudowych.

Program wierceń i jego wyniki

Po zakończeniu pierwszego etapu badań MCC przystąpiła do realizacji robót wiertniczych. Wyniki pierwszych otworów wymusiły znaczącą korektę siatki wierceń oraz kształtu obszarów koncesyjnych, gdyż stwierdzono przesunięcie stref Rote Fäule w stosunku do map przedstawionych w Bilansie perspektywicznych zasobów kopalin Polski (Oszczepalski i Speczik 2011). Dotyczyło to zwłaszcza obszarów pozbawionych otworów archiwalnych, takich jak Nowa Sól, gdzie zaobserwowanemu przesunięciu strefy utlenionej na północny wschód, wynikające ze stwierdzonej badaniami geofizycznymi blokowej budowy obszaru (rys. 2).

W latach 2013-2019 wykonano 33 otworki wiertnicze, z których 25 przyniosło pozytywne wyniki dla poszukiwania i rozpoznawania złóż Cu-Ag. Wszystkie otworki doprowadziły także do dalece bardziej szczegółowego prześledzenia granic pomiędzy utlenionymi polami facji Rote Fäule a strefami redukcyjnymi. W związku z lepszym poznaniem budowy geologicznej badanego rejonu, po zakończeniu pierwszej fazy programu wierceń zmniejszono powierzchnię obszarów koncesyjnych. Ich granice poprowadzono wokół wstępnie rozpoznanych obszarów o najbogatszej mineralizacji (tzw. "sweet spots"), gdzie kontynuowano wykonywanie kolejnych otworów.

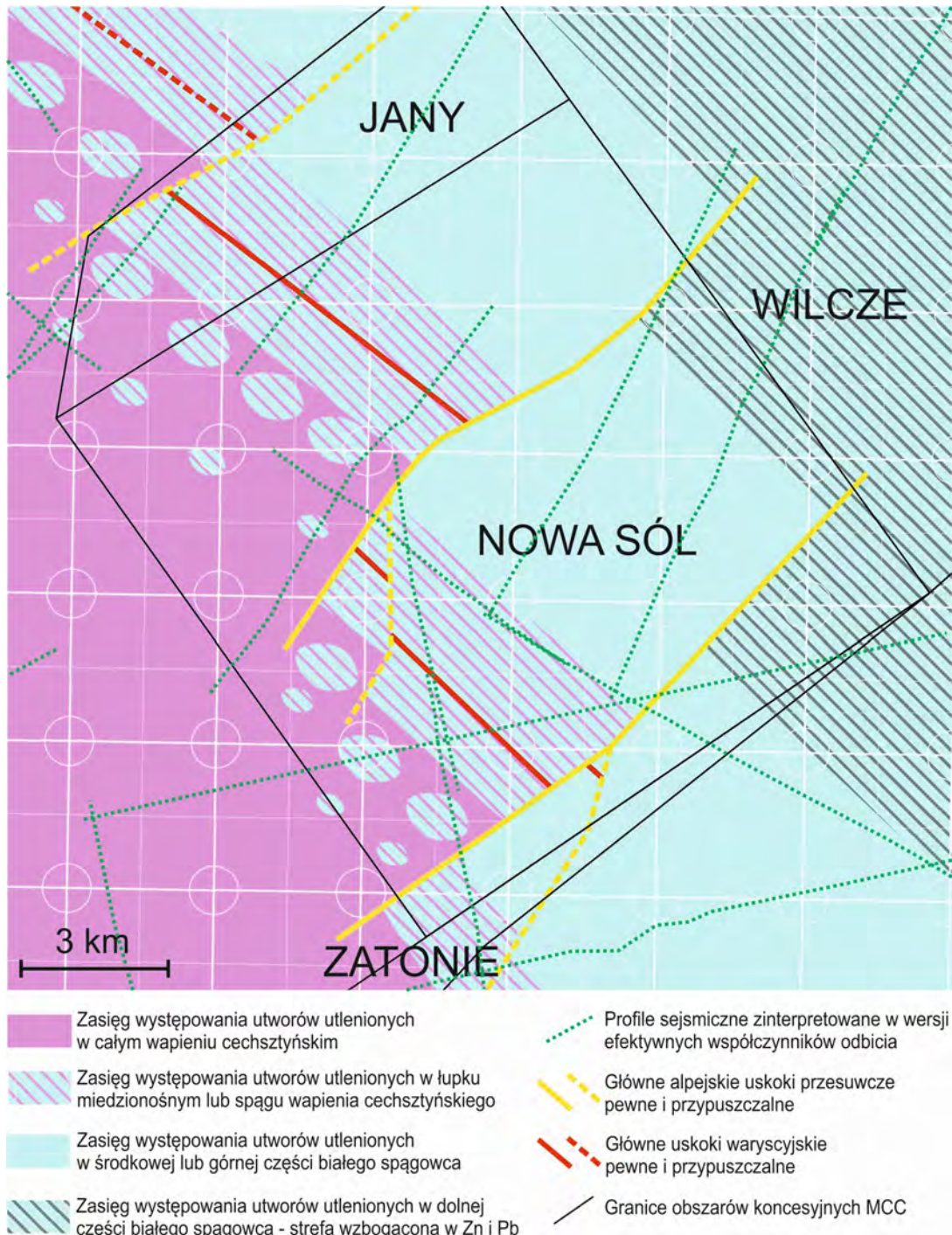
W wyniku powyższych zmian MCC kontynuowała swoje prace poszukiwawcze na sześciu koncesjach: Nowa Sól, Wilcze,

Zatonie, Jany, Mozów-1 i Sulmierzyce. Trwające do dziś roboty wiertnicze doprowadziły do odkrycia trzech stratoidalnych złóż Cu-Ag w Polsce – Nowa Sól, Mozów i Sulmierzyce, mieszczących się w granicach wszystkich sześciu wyżej wymienionych obszarów. Lokalizację omawianych złóż przedstawiono na rysunku 3.

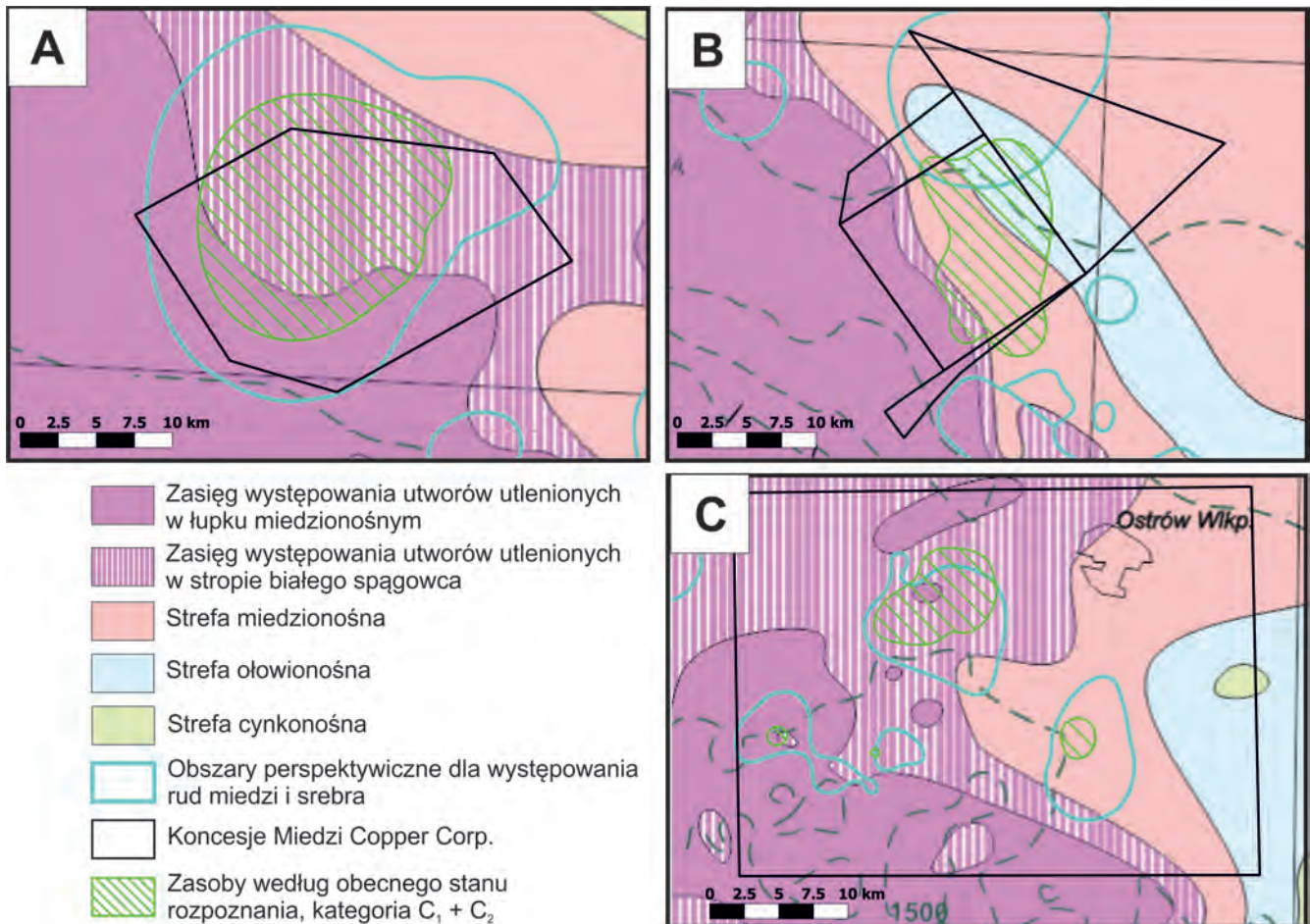
Najgłębszym złożem jest Mozów, gdzie głębokość horyzontu zmineralizowanego wynosi od 2100 do 2700 m poniżej poziomu terenu. Obszar ten charakteryzuje się bardzo specyficznym rozmieszczeniem mineralizacji w profilu pionowym. Utleniona facja Rote Fäule pokrywa cały piaskowiec białego spągowca oraz dolną część łupka miedzionośnego. Co za tym idzie, interwał rudny obejmuje wyższe partie łupka oraz kilka metrów wapienia cechsztyńskiego, gdzie zasobność miedzi

może osiągać bardzo wysokie wartości (np. 133 kg/m² w otworze Mozów-1 C₁). Na obecnym etapie rozpoznania zasoby obliczone z dokładnością odpowiadającą kategorii C₂ wynoszą 4,4 mln ton Cu oraz 7,3 tys. ton Ag, przy średniej miąższości 2,45 m oraz średniej zawartości Cue równej 2,42%. Dodatkowo, zasoby prognostyczne wyznaczone w kategorii D₁ to około 8,4 mln ton Cu i 11,9 tys. ton Ag.

Złoże Nowa Sól położone jest w obrębie czterech obszarów koncesyjnych: Nowa Sól, Jany, Zatonie i Wilcze, przy czym ruda zalega na głębokości od 1700 do 2200 m poniżej poziomu terenu. Jego odkrycie zasługuje na szczególną uwagę, gdyż na samym obszarze koncesyjnym Nowa Sól nie było ani jednego otworu archiwalnego, który mógłby dostarczyć materiał rdzeniowy do badań czy posłużyć do wytyczenia obszaru progno-



Rys. 2. Bloki tektoniczne wyznaczone na obszarze Nowa Sól w wyniku reinterpretacji geofizycznej
Fig. 2. Fault blocks demarcated in the Nowa Sól area as a result of geophysical reinterpretation



Rys. 3. Złóża Cu-Ag odkryte przez MCC na tle strefowości facjalnej wg Bilansu perspektywicznych zasobów kopalni Polski (Oszezpalski i Speczik 2011). A – Mozów, B – Nowa Sól, C – Sulmierzyce

Fig. 3. Cu-Ag deposits discovered by MCC against the zonation of facies acc. to the Balance of prospective mineral resources of Poland (Oszezpalski and Speczik 2011). A – Mozów, B – Nowa Sól, C – Sulmierzyce

stycznego. Już pierwszy otwór wykonany przez MCC nawiercił bardzo miąższy interwał o bogatej mineralizacji (zasobność 281 kg/m²), a kolejne wykonywane wiercenia doprowadziły do tego, iż jest to obecnie najbardziej rozwiercone i najbogatsze spośród trzech odkrytych złóż. Mineralizacja znajduje się tu w białym spągowcu, łupku miedzionośnym i wapieniu cechsztyńskim, przy czym strop facji Rote Fäule na tym obszarze obniża się ogólnie w kierunku na wschód. Oznacza to, że we wschodniej części złoża dominuje miąższa ruda piaskowcowa współwystępująca z łupkową, natomiast w kierunku zachodnim mineralizacja przesuwa się ku górze, w skrajnie zachodnim otworze ograniczając się do wapienia cechsztyńskiego. Zasoby obliczone przez MCC metodą okręgów w kategoriach C₁ + C₂ wynoszą 8,3 mln ton Cu oraz 17,8 tys. ton Ag, przy średniej miąższości 2,93 m i średniej zawartości Cu_c równej 1,73%. Dodatkowo, zasoby prognostyczne wyznaczone w kategorii D₁ wynoszą 4,5 mln ton Cu i 11 tys. ton Ag. Dokumentacja geologiczna złoża Nowa Sól jest obecnie w ostatniej fazie przygotowania i w lipcu 2019 roku będzie przedłożona Ministrowi Środowiska celem zatwierdzenia, co umożliwi późniejsze wystąpienie o koncesję wydobywczą.

Złożo Sulmierzyce jest najpłytszym z omawianych, gdyż głębokość interwału rudnego wynosi w nim od 1400 do 2000 m poniżej poziomu terenu. Rozmieszczenie mineralizacji ma tu charakter wyspowy, gdyż pionowy zasięg facji Rote Fäule jest bardzo duży i prawie na całej koncesji sięga do stropu białego spągowca, w związku z czym w piaskowcu praktycznie brak jest mineralizacji. Taka budowa złoża powoduje jednak, że

w łupku miedzionośnym i wapieniu cechsztyńskim obecna jest bardzo bogata mineralizacja kruszcowa, stwierdzona w części wykonanych otworów (na przykład Sulmierzyce C20 o zasobności 241 kg/m²). Na dzień dzisiejszy zasoby obliczone w kategoriach C₁ + C₂ wynoszą 4,7 mln ton Cu i 10,5 tys. ton Ag, przy średniej miąższości 1,87 m i średniej zawartości Cu_c równej 2,93%. Dodatkowo, zasoby prognostyczne wyznaczone w kategorii D₁ to 5,4 mln ton Cu i 13,2 tys. ton Ag. Dokumentacja geologiczna tego złoża jest również w przygotowaniu i będzie przedstawiona Ministrowi Środowiska w 2019 roku.

Inwestorskie parametry definiujące złożo

Parametry definiujące złożo i jego granice określono 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). Są to wartości sugerowane i rozporządzenie dopuszcza stosowanie innych parametrów, o ile jest to odpowiednio uzasadnione w dokumentacji geologicznej. Parametry ustanowione przez Ministra Środowiska przedstawiono w tabeli 2.

Jak łatwo zauważyć, parametry te dotyczą złóż płytkich i średnio głębokich, które są obecnie przedmiotem eksploatacji w Polsce. Rozporządzenie nie przewidywało kryteriów dla złóż głębokich, ponieważ jeszcze do niedawna nie były one przedmiotem zainteresowania firm wydobywczych ze względu na bariery ekonomiczne i technologiczne. Sytuacja ta w ostatnim czasie uległa radykalnej zmianie, gdyż rozwój

Tab. 2. Sugerowane graniczne wartości parametrów definiujących złożę i jego granice dla pokładowych stratoidalnych złóż rud miedzi według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r.

Tab. 2. Suggested threshold values of parameters defining an ore deposit and its boundaries for bed-hosted stratiform copper ore deposits according to Regulation of Minister of Environment dated 1 July 2015

| Lp. | Parametr | Jednostka | Wartość brzożna |
|-----|--|-------------------|-----------------|
| 1. | Maksymalna głębokość spągu złoża | m | 1500 |
| 2. | Minimalna zawartość miedzi (Cu) w próbce konturującej złożę | % | 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 |

Tab. 3. Porównanie kosztów operacyjnych dla eksploatacji z głębokości 1900 i 2400 m, z powierzchniowym lub podziemnym zakładem przerobczym, zakładając niezmiennie w okresie 10 lat ceny miedzi równe 3 USD/funt i ceny srebra równe 20 USD/uncję (wg Goodell i in. 2017)

Tab. 3. Comparison of operating costs for extraction at depths of 1900 and 2400 m, with a surface or underground mill, assuming constant copper prices of US \$3/lb and silver prices of US \$20/tr oz in a 10-year period (acc. to Goodell et al. 2017)

| | Powierzchniowa przeróbka rudy | | Podziemna przeróbka rudy | |
|--|-------------------------------|------------------|--------------------------|------------------|
| | głębokość 1900 m | głębokość 2400 m | głębokość 1900 m | głębokość 2400 m |
| Koszty wydobycia (USD/t rudy) | 39,32 | 39,93 | 39,51 | 39,92 |
| Koszty przeróbki i transportu na powierzchnię (USD/t rudy) | 9,47 | 9,84 | 8,85 | 8,95 |
| Łączne koszty operacyjne (USD/t miedzi) | 2698 | 2765 | 2670 | 2705 |

Tab. 4. Graniczne wartości parametrów definiujących złożę i jego granice dla głębokich pokładowych stratoidalnych złóż rud miedzi sugerowane przez inwestora

| Lp. | Parametr | Jednostka | Wartość brzożna |
|-----|---|-------------------|-----------------|
| 1. | Minimalna miąższość złoża | m | 1,8 |
| 2. | Minimalna zasobność złoża (Cu_e) położonego na głębokości 1500-1950 m | kg/m ² | 50 |
| 3. | Minimalna zasobność złoża (Cu_e) położonego na głębokości 1950-2400 m | kg/m ² | 60 |

technologii górniczych umożliwił prowadzenie eksploatacji na większych głębokościach (Bellas, Tassou 2005, Speczik i in. 2013, Zieliński i Speczik 2017, Humphreys 2019). Dlatego też przy dokumentowaniu złóż rozpoznanych przez MCC konieczne jest zastosowanie własnych parametrów, co dopuszcza ww. rozporządzenie.

Podstawowym zadaniem parametrów inwestorskich jest umożliwienie ekonomicznie opłacalnego wydobycia kopaliny i jej przeróbki. Z tego powodu, przy doborze swoich kryteriów MCC kierowała się wynikami sporządzonych dla niej studiów typu „pre-feasibility study” autorstwa RungePincocMinarco, światowego eksperta w dziedzinie projektowania głębokich kopalń. Zakładały one wdrożenie najnowszych technologii górniczych, niestosowanych do tej pory w Polsce. Należą do nich podziemna przeróbka kopaliny i wynoszenie na powierzchnię koncentratu, stosowanie pasty do podsadzania, zdalnie sterowane maszyny elektryczne i nowoczesne technologie klimatyzacji z użyciem lodu (tzw. ice slurry). Najważniejsze spośród tych opracowań (Goodell i in. 2017), przedstawiające konstrukcję planowanej kopalni, rozważało różne warianty wydobycia, w których zmiennymi były głębokość i lokalizacja zakładu przerobczego. Ustalono, że w przypadku eksploatacji na głębokości 1900 m koszty wydobycia wyniosą 39,51 USD na tonę rudy przy jej podziemnej przeróbce. Z kolei dla złoża położonego do głębokości 2400 m będą one wynosić 39,92 USD, co stanowi wzrost kosztów zaledwie o 1% (tab. 3). Według powyższego raportu, ekonomicznie opłacalne wydobycie możliwe jest przy minimalnej zawartości miedzi ekwiwalentnej równej 1,03% w interwale o minimalnej miąższości 1,8 m. W zależności od rodzaju i gęstości objętościowej rudy, te dwie wielkości

odpowiadają zasobności równej 45 – 50 kg/m². Analogiczne kryterium przyjęto w kolejnym opracowaniu dotyczącym złoża Sulmierzyce (Bohnet i in. 2017), tym razem rozpatrującym wydobycie z głębokości 1950 m.

W oparciu o powyższe raporty MCC zaproponowała własne, inwestorskie parametry definiujące złożę i jego granice, przedstawione w tabeli 4. Wprowadzają one zróżnicowanie kryterium jakościowego w zależności od głębokości zasobów, lecz różnica ta jest bardzo niewielka. Została ona podyktowana nieznacznie większymi kosztami operacyjnymi przy wydobyciu z większej głębokości, ale także rosnącymi w tym przypadku kosztami klimatyzacji itd.

W zaproponowanych kryteriach istotny jest parametr miąższości, nie wymieniony w wartościach granicznych dla stratoidalnych złóż miedzi sugerowanych w rozporządzeniu Ministra Środowiska. Minimalna miąższość złoża jest wielkością niezwykle istotną z ekonomicznego punktu widzenia, jako najważniejszy parametr techniczno-górniczy w przypadku złóż stratoidalnych. Należy zwrócić uwagę, że im bardziej miąższe złożę, tym większa opłacalność jego wydobycia. Jak wskazują doświadczenia KGHM, produkcja 1 kg miedzi ze złoża o miąższości 1,8 m jest droższa, niż ze złoża o miąższości dwukrotnie większej. Dotyczy to zwłaszcza grubych pokładów rudy piaskowcowej, stanowiącej większość zasobów złoża Nowa Sól, której urabianie i wzbogacanie są nawet do 50% tańsze niż w przypadku rudy węglanowej i łupkowej.

W stosunku do rozporządzenia Ministra Środowiska zrezygnowano z parametrów minimalnej zawartości miedzi w próbce konturującej złożę i średniej zawartości miedzi ekwiwalentnej w profilu złoża wraz z przerostami. Z przeprowadzonych symu-

lacji wynika, że mają one znaczenie drugorzędne wobec miąższości i zasobności. Jak wspomniano, interwał o miąższości 1,8 m oraz zawartości miedzi ekwiwalentnej 1,03% ma zasobność równą ok. 50 kg/m². Wykonane rachunki ekonomiczne wskazują, że złożo o miąższości nawet dwa razy większej niż zakładana 1,8 m i o niższej jakości rudy może spełniać kryteria ekonomiczne, jeśli posiada odpowiednią zasobność.

Należy wziąć pod uwagę, że opisywane tu trzy złoża są bardzo bogate i charakteryzują się wysoką jakością rudy. Ustalony w Rozporządzeniu Ministra Środowiska parametr minimalnej zasobności równej 35 kg/m² jest przekroczony w każdym z otworów. Parametry inwestorskie nakierowane są nie tylko na zwiększenie zasobów złoża, ale także ich ochronę. Przyjęcie kryterium minimalnej miąższości zapewnia wydobycie także tych partii złoża, które mogłyby zostać pominięte będąc rozpatrywanymi oddzielnie, a nie jako część większego złoża o znacznej miąższości, którego jakość zmienia się w profilu pionowym.

Podsumowanie

W wyniku prac rozpoczętych w roku 2011 i trwających do dziś, MCC odkryła trzy stratoidalne złoża miedzi na monoklinie

przedsudeckiej: Nowa Sól, Sulmierzyce i Mozów. Odkrycie to jest efektem pierwszego tego typu projektu badawczego dotyczącego głębokich złóż cechsztyńskich Cu-Ag w Polsce. Opłacalna eksploatacja takich złóż nie była w przeszłości możliwa ze względu na dawne ograniczenia technologiczne, toteż nie były one przedmiotem rozpoznania i dokumentowania. Z tego powodu parametry definiujące złożo ustalone przez Ministra Środowiska nie są dostosowane do współczesnych realiów, w których tego typu dokumentacje już powstają, a w przyszłości powstaną kolejne, będące wynikiem prac także innych przedsiębiorców. Z drugiej strony rozporządzenie Ministra Środowiska dotyczące tej kwestii słusznie dopuszcza zastosowanie parametrów innych, niż sugerowane. Dlatego też zaproponowano własne kryteria, biorące pod uwagę uwarunkowania techniczne i ekonomiczne, zakładające zastosowanie najnowszych technologii urabiania, przeróbki rudy, klimatyzacji itd., jakich nie stosowano dotychczas w polskich kopalniach. Miedzi Copper Corp. zaproponowała kryteria inwestorskie w oparciu o szczegółowe analizy i raporty autorstwa specjalistów w branży projektowania głębokich kopalń. Kryteria te wprowadzają także nowy parametr, jakim jest miąższość złoża, szczególnie istotna zwłaszcza w przypadku złóż stratoidalno-pokładowych o zróżnicowanej litologii.

Literatura

- [1] Bellas I., Tassou S.A. (2005). *Present and future applications of ice slurries*. *International Journal of Refrigeration*, 28: 115–121
- [2] Bohnet E., Goodell T., Jorgensen M. (2017). *Technical Report on Miedzi Copper's Sulmierzyce Project*, Poland. RungePincocMinarco (materiał niepublikowany)
- [3] Goodell T., Jorgensen M., Bohnet E. (2017). *Technical Report of the Miedzi Copper Project*, Poland. RungePincocMinarco (materiał niepublikowany)
- [4] Humphreys, D. (2019). *Mining productivity and the fourth industrial revolution*. *Miner. Econ.* <https://doi.org/10.1007/s13563-019-00172-9>
- [5] Oszczepalski S., Rydzewski A. (1997). *Atlas metalogiczny cechsztyńskiej serii miedzionośnej w Polsce*. Państw. Inst. Geol. – Wydawnictwo Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej S.A. Warszawa
- [6] Oszczepalski S., Speczik S. (2009). *Maturity assessment by Rock-Eval pyrolysis as an exploration tool*, Kupferschiefer, Poland. *W: Smart Science for Exploration and Mining* (P.J. Williams i in., red). Proceedings of the Tenth Biennial SGA Meeting, Townsville 2009: 734-736
- [7] Oszczepalski S., Speczik S. (2011). *Rudy miedzi i srebra*. W: Bilans perspektywicznych zasobów kopalni Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. S. Wołkowicz, T. Smakowski, S. Speczik): 76-93. NAG, Warszawa
- [8] Pieczonka J., Piestrzyński A., Lenik P., Czerw H. (2007) *Rozmieszczenie mineralów kruszczowych w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej*. W: Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi (red. S. Oszczepalski). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 423: 95-108
- [9] Sawłowicz Z. (1993). *Organic matter and its significance for the genesis of the copper-bearing shales (Kupferschiefer) from the Fore-Sudetic monocline (Poland)*. W: Parnell J. i in. (red.), *Bitumens in Ore Deposits*. Springer-Verlag, Berlin, 431-446
- [10] Speczik S. (1994). *Kupferschiefer mineralization in the light of organic geochemistry and coal petrology studies*. *Geol. Quart.*, 38: 639-650
- [11] Speczik S., Dziewińska L., Pepel A., Jóźwiak W. (2012). *Reprocessing of archival geophysical data as useful instrument in Cu-Ag deposit prospecting of Fore-Sudetic Monocline*. *Biul. Państw. Inst. Geol.* 452: 257-286
- [12] Speczik S., Oszczepalski S., Chmielewski A. (2013). *Exploration and mining perspective of the Kupferschiefer series in SW Poland: digging deeper?* Proceedings of the Twelfth Biennial SGA Meeting, Uppsala 2013: 687-690
- [13] Speczik S., Püttmann W. (1987). *Origin of Kupferschiefer mineralization as suggested by coal petrology and organic geochemical studies*. *Acta Geol. Pol.* 37: 167–187
- [14] Zieliński K., Speczik S. (2017). *Głębokie złoża miedzi i srebra szansą dla górnictwa metali w Polsce*. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 468: 153-164
- [15] Zieliński K., Speczik S., Małecka K. (2017). *Strategia, instrumenty i rezultaty poszukiwań głębokich złóż miedzi i srebra na monoklinie przedsudeckiej*. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN*, 100: 313-328
- [16] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny, z wyłączeniem złoża węglowodorów (Dz.U. z 2015 r., poz. 987)