

Ocena potencjału występowania metali z grupy platynowców w cechsztyńskiej serii miedzionośnej

Andrzej Chmielewski¹



Assessment of the potential for platinum group elements in the Kupferschiefer series. Prz. Geol., 73: 871–881; doi: 10.7306/2025.92

A b s t r a c t. This study presents an assessment of the potential for platinum-group elements (PGE) in the Kupferschiefer series, conducted within the framework of the National Exploration Program for Critical Raw Materials (NEP-CRM). The Kupferschiefer series, part of the Central European Permian Basin, is mainly known for its copper and silver mineralization. However, available geological data indicate the co-occurrence of PGE with Cu–Ag ores, suggesting the presence of zones with economically significant concentrations of these critical raw materials. The importance of these deposits is reinforced by this fact and should be reflected in resource assessment and strategic planning. Previous studies provide a solid basis for further exploration and reestimation of PGE resources.

The implementation of the NEP-CRM project will, in the future, enable a more comprehensive evaluation of the economic potential of platinum-group elements in the Kupferschiefer series. Identification of areas with rich PGE mineralization may contribute to strengthening the country's raw material security and supply key materials necessary for modern energy, electronics, and automotive industries. Furthermore, continued research will allow a more precise understanding of the geological processes controlling PGE distribution, enabling the effective design of future exploration activities.

Keywords: platinum-group elements (PGE), National Exploration Program for Critical Raw Materials, critical raw materials, raw materials economy

Platynowce (PGE – *platinum group elements*) stanowią grupę metali o wyjątkowym znaczeniu gospodarczym i strategicznym. Należą do nich platyna (Pt), pallad (Pd), rod (Rh), osm (Os), iryd (Ir) oraz ruten (Ru). Ze względu na ich unikatowe właściwości chemiczne i fizyczne, są one szeroko wykorzystywane w przemyśle motoryzacyjnym (katalizatory spalin), chemicznym, elektronicznym, jubilerskim, a także w technologii wodorowej i w produkcji stopów specjalistycznych. W ostatnich dekadach rosnące zapotrzebowanie na platynowce, ograniczona podaż surowców oraz geopolityczne uwarunkowania ich wydobycia spowodowały, że stały się one surowcami krytycznymi (Komisja Europejska, 2023). Oznacza to, że zapewnienie stabilnych źródeł tych metali jest istotne zarówno dla gospodarki UE, jak i dla bezpieczeństwa surowcowego kraju.

Utwory cechsztyńskiej serii miedzionośnej w Polsce stanowią ważny obszar badań, w którym od wielu lat są prowadzone intensywne prace nad złożami miedzi i srebra. Dotychczas skupiano się głównie na ocenie zasobów Cu–Ag oraz mineralizacji złotem, natomiast badania dotyczące platynowców były cząstkowe i ograniczały się zwykle do analiz Pt i Pd w wybranych próbkach. Brak systematycznych badań nad całym spektrum PGE ograniczał możliwość rzetelnej oceny ich perspektywiczności i potencjału ekonomicznego w cechsztyńskiej serii miedzionośnej. Dopiero w ostatnich latach rosnące zainteresowanie surowcami krytycznymi skłoniło do intensyfikacji prac ukierunkowanych na pełniejszą charakterystykę PGE. Oczekuje się, że poszerzenie tej wiedzy umożliwi trafniejszą ocenę znaczenia cechsztyńskiej serii miedzionośnej w kontekście krajowych i europejskich zasobów, nie tylko miedzi i srebra, lecz także PGE.

W kontekście globalnym cechsztyńska seria miedzionośna może stanowić istotny element dywersyfikacji źró-

deł platynowców w Europie, ograniczając zależność od tradycyjnych producentów, takich jak RPA i Rosja. Obecnie większość światowej podaży PGE pochodzi z nielicznych kopalń, co skutkuje wahaniami cen i zwiększa ryzyko przerw w dostawach, zwłaszcza w sytuacjach napięć geopolitycznych. Wykorzystanie krajowych złóż mogłoby wzmocnić pozycję Polski w europejskiej polityce surowcowej, a jednocześnie zmniejszyć potrzebę importu i ograniczyć negatywne skutki ekonomiczne globalnych fluktuacji cen tych metali. W dłuższej perspektywie eksploatacja cechsztyńskich złóż PGE może przyczynić się do stabilności dostaw, wzrostu konkurencyjności przemysłu oraz zwiększenia niezależności krajów Unii Europejskiej od zagranicznych rynków.

Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie wyników dotychczasowych badań nad platynowcami w cechsztyńskiej serii miedzionośnej, określenie głównych stref perspektywicznych, a także zaproponowanie kierunków przyszłych badań poszukiwawczych. Szczególną uwagę poświęcono również aspektom ekonomicznym, uwzględniającym ekwiwalent platynowców, co może pozwolić na kompleksową ocenę potencjału surowcowego badanych obszarów. Ponadto, praca ma stanowić bazę do konstrukcji precyzyjnych modeli geologicznych i ekonomicznych, które mogą wspierać planowanie strategicznych inwestycji w sektorze poszukiwań PGE w Polsce.

PERSPEKTYWY SUROWCOWE PLATYNOWCÓW NA TLE ZASOBÓW RUD Cu–Ag W POLSCE

Kluczowe dla szczegółowego rozpoznawania mineralizacji Pt–Pd w utworach cechsztyńskiej serii miedzionośnej było stwierdzenie podwyższonej koncentracji złota

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00–975 Warszawa; andrzej.chmielewski@pgi.gov.pl; ORCID ID: 0000-0002-1723-1273

i platynowców w łupkach wykształconych w facji utlenionej (Sawłowicz, 1993, 1994) i odkrycie złota rodzimego (Piestrzyński i in., 1996a). Wyniki te stały się podstawą do zaplanowania prac poszukiwawczych, które w latach 1995–1996 umożliwiły rozpoznanie przez zespoły badawcze AGH i PIG-PIB mineralizacji platynowcami i złotem w utworach utlenionych zalegających poniżej horyzontu miedzionośnego w rejonie ZG Polkowice-Sieroszowice. Analiza profili kopalnianych pozwoliła na określenie rozmieszczenia i form występowania nośników platynowców i złota (Piestrzyński i in., 1996b), a także na wstępne oszacowanie zasobów oraz prognozę występowania metali szlachetnych w obszarze koncesyjnym KGHM Polska Miedź S.A. (Rydzewski, Oszczepalski, 1996). Dalsze prace badawcze, oparte na analizie rdzeni otworów wiertniczych, doprowadziły do bardziej precyzyjnego określenia rozmieszczenia mineralizacji i wytyczenia na obszarach utlenionych całego terenu koncesyjnego KGHM Polska Miedź S.A. stref o potencjalnie wysokich zasobach metali szlachetnych (Oszczepalski i in., 1997; Piestrzyński i in., 1997; Speczik i in., 1997; Oszczepalski, Rydzewski, 1998; Pieczonka i in., 1998). Badania mineralizacji Pt-Pd w obszarach położonych poza złożem Lubin-Sieroszowice rozpoczęto w 1997 r., wykonując pierwsze analizy próbek rdzeni na zawartość tych metali z kilkudziesięciu otworów wiertniczych (Speczik i in., 1997; Oszczepalski i in., 1999), które następnie zostały istotnie rozszerzone i uzupełnione w kolejnych latach (Oszczepalski, 2002; Oszczepalski i in., 2002a, 2004, 2012).

Według najnowszego *Bilansu zasobów złóż kopalin w Polsce* (Szuflicki i in., 2025) na terenie kraju nie ma udokumentowanych złóż platynowców. Nie są one również wymieniane jako kopalina towarzysząca w istniejących złożach innych rud. Oznacza to, że w Polsce nie ma potwierdzonych ekonomicznie opłacalnych złóż platyny czy palladu, a ewentualne wystąpienia tych metali pozostają w dużej mierze nieudokumentowane lub w ilościach śladowych. Niemniej wykazano, że na obszarach dokumentacyjnych Nowego Zagłębia Miedziowego zawartość platynowców (podobnie, jak złota) jest największa w brzeżnych partiach obszarów utlenionych, w pasie od Bytomia Odrzańskiego przez centrum Gaworzyc do Radwanic i jego pogranicza z obszarami górniczymi Sieroszowice i Polkowice, a następnie – już na obszarach górniczych – przez Polkowice aż do zachodnich krańców obszaru Lubina (Oszczepalski i in., 1997, 1999; Pieczonka i in., 1998). Wstępnie oszacowano, że w utworach utlenionych na obszarze Polkowic, Sieroszowic i Radwanic, o łącznej powierzchni ok. 130 km², występuje ok. 17 Mg Pt i 7 Mg Pd (Oszczepalski, Rydzewski, 1998).

Nowsze badania rdzeni archiwalnych otworów wiertniczych wykazały, że mineralizacja PGE (wraz z Au) występuje także w zachodnich częściach rejonów Gaworzyc, Radwanic i Bytom Odrzański, gdzie przypuszczalne zasoby sięgają 29 Mg Pt i 39 Mg Pd (Oszczepalski, 2007). Uwzględniając oszacowane wcześniej zasoby obszaru perspektywnego Polkowice-Sieroszowice, można uznać, że na wszystkich obszarach perspektywnych w obrębie udokumentowanych złóż Cu-Ag monokliny przedsudeckiej, o łącznej powierzchni ok. 310 km², znajduje się nie tylko ok. 400 Mg Au, lecz także 45 Mg Pt i 45 Mg Pd (Oszczepalski, 2007). Choć są to wartości szacunkowe i wymagają dalszych badań geologicznych, pokazują one,

że obszary bogate w miedź i srebro mogą być jednocześnie źródłem metali z grupy platynowców. W dalszych latach, na podstawie badań utworów utlenionych na monoklinie przedsudeckiej, dokonano regionalnej oceny perspektywności mineralizacji Au-Pt-Pd w SW Polsce poza udokumentowanymi złożami Cu-Ag (Mikulski i in., 2011; Oszczepalski i in., 2011; Oszczepalski, Chmielewski, 2015a, b). Spośród 118 zbadanych profili łupku miedzionośnego, 15 cechuje średnia zawartość przekraczająca 100 ppb Pt i 20 profili – ponad 100 ppb Pd. Na ich podstawie wyznaczono 3 obszary perspektywiczne pod względem występowania platyny (Zielona Góra, Lutol, Miłosław) i 3 obszary perspektywiczne pod względem występowania palladu (Zielona Góra, Lutol, Łuszczanów).

Ze względu na możliwość precyzyjnego okonturowania uprzednio wyznaczonych oraz nowych obszarów perspektywicznych dalsze, systematyczne badania nad obecnością PGE w cechsztyńskiej serii miedzionośnej mogą okazać się niezwykle cenne zarówno z perspektywy naukowej, jak i gospodarczego wykorzystania tych zasobów. Z punktu widzenia naukowego pozwolą one lepiej zrozumieć procesy geochemiczne i mineralogiczne warunkujące koncentrację platynowców oraz poszerzyć wiedzę o geologicznym potencjale badanych regionów. Z kolei z perspektywy ekonomicznej, nawet niewielkie ilości PGE mogą mieć istotne znaczenie w kontekście rosnącego globalnego popytu, ograniczonych zasobów i strategicznego znaczenia tych metali. Kompleksowe badania mogą więc nie tylko zwiększyć wartość poznawczą danych geologicznych, ale również wspierać planowanie i rozwój inwestycji w sektorze surowców krytycznych w Polsce.

DYSTRYBUCJA PLATYNOWCÓW W CECHSZTYŃSKIEJ SERII MIEDZIONOŚNEJ

Stratoidalne złoża rud miedzi i srebra zalegają w skałach osadowych permu, składających się na cechsztyńską serię miedzionośną (ryc. 1), obejmującą utwory strefy kontaktowej czerwonego spągowca i cechsztynu zaliczane do białego spągowca (Bs), wapienia podstawowego (Ca0) – występującego lokalnie, łupku miedzionośnego (T1) i wapienia cechsztyńskiego (Ca1). Dotychczasowe badania dolnocechsztyńskiej mineralizacji kruszcowej prowadzone na monoklinie przedsudeckiej ujawniły wiele prawidłowości w jej rozmieszczeniu, w tym strefowość rozmieszczenia mineralizacji (ryc. 1) w stosunku do strefy utlenionej *Rote Fäule* (np. Oszczepalski, 1989, 1999; Speczik, 1995; Oszczepalski, Rydzewski, 1997; Piestrzyński, 2007; Pieczonka i in., 2008; Pieczonka, 2011).

Utwory skalne pochodzenia morskiego cechsztyńskiej serii miedzionośnej są podścielone lądowymi osadami czerwonego spągowca, głównie piaskowcami, przykryte są natomiast kolejnymi jednostkami cechsztynu, mezozoiku i kenozoiku. Na podział litologiczny i litostratygraficzny nakłada się w sposób przekraczający strefowość geochemiczna. Wyróżnia się trzy główne strefy geochemiczne, w kierunku od spągu ku stropowi profilu:

- utlenioną (w której występują epigenetyczne tlenki żelaza: hematyt, goethyt);
- przejściową (w której wstępują epigenetyczne tlenki żelaza: hematyt, goethyt oraz relikty siarczków miedzi: kowelinu, chalkozynu czy digenitu);



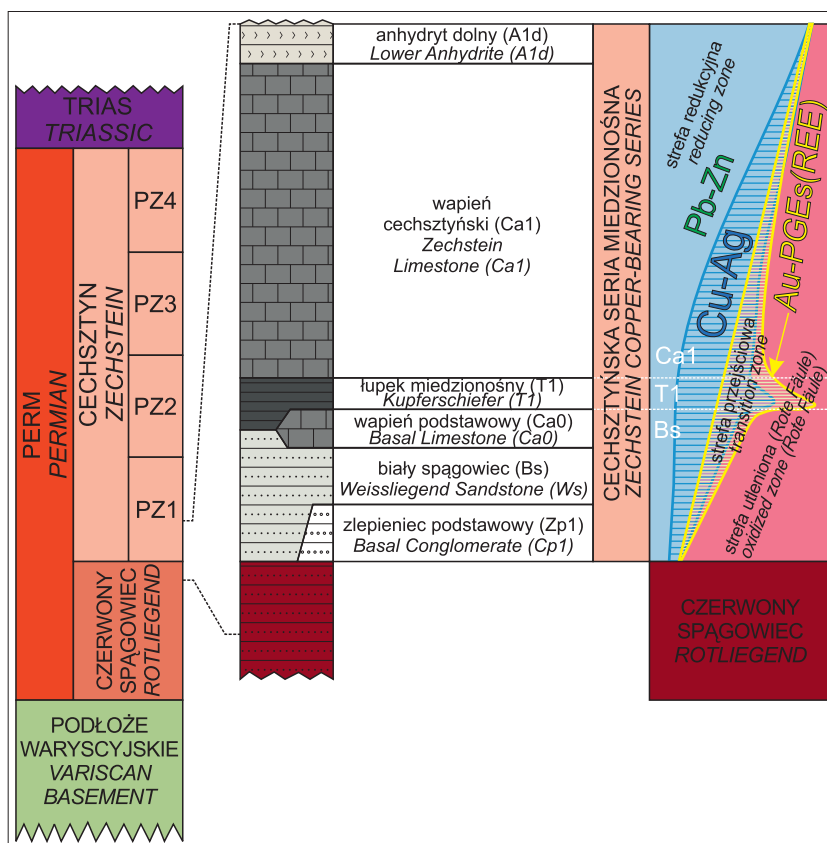
Ryc. 1. Schemat cechsztyńskiej serii miedzionośnej (wg Oszczepalskiego i in., 2019, zmodyfikowany)

Fig. 1. Schematic of the Zechstein Copper-Bearing Series (after Oszczepalski et al., 2019, modified)

c) redukcyjną (w której występują siarczki miedzi: chalkozyn, digenit, bornit, chalkopiryt oraz siarczki ołowiu: galena, cynku: sfaleryt i żelaza: pirit).

Mineralizacja miedziowo-srebrowa o znaczeniu złożowym jest ułożona w strefie redukcyjnej i częściowo w przejściowej.

Najwyższe koncentracje platynowców stwierdzono w miejscach, gdzie strop strefy przejściowej zalega w spągowej części łupku miedzionośnego, przy czym sporadycznie pojawiają się również w utworach białego spągowca (Oszczepalski, Rydzewski, 1998; Oszczepalski i in., 1999, 2002; Bechtel i in., 2001; Oszczepalski, 2007; Oszczepalski, Chmielewski, 2015a, b). Istotną cechą utworów utlenionych jest również współwystępowanie platynowców ze złotem, co wskazuje na geochemiczne procesy sprzyjające koncentracji metali szlachetnych w określonych partiach cechsztyńskiej serii miedzionośnej (Piestrzyński i in., 1997; Oszczepalski, Rydzewski, 1998; Pieczonka i in., 1998, 2008; Oszczepalski i in., 1999, 2011, 2012; Piestrzyński, Sawłowicz, 1999; Oszczepalski, 2002, 2007; Niczyporuk, 2003; Piestrzyński, 2007; Oszczepalski, Niczyporuk, 2011a, b; Pieczonka, 2011; Oszczepalski, Chmielewski, 2015a, b). Platynowce w strefie redukcyjnej (złożowej Cu-Ag) osiągają ilości śladowe (np. Oszczepalski, Rydzewski, 1998; Pieczonka i in., 1998; Oszczepalski, 2007; Oszczepalski, Chmielewski, 2015a, b). W strefach utlenionej i przejściowej, zawierających tlenki Fe i reliktową mineralizację miedziową, podścielających bezpośrednio strefę redukcyjną, zawartość Pt osiąga maksymalną wartość 951 ppb, natomiast Pd – 1460 ppb (Oszczepalski, Chmielewski, 2015b). Maksymalna miąższość interwału (przy wartości brzeżnej >100 ppb Pt lub Pd) okruszczowanego PGE osiąga 59 cm. Według karty sporządzonej dla obszaru perspektywnego Zielona Góra (Oszczepalski, Chmielewski, 2015b), interwał platynonośny ma zazwyczaj 26 cm miąższości i średnią zawartość 206 ppb Pt, natomiast palladonośny odpowiednio 28 cm i 274 ppb Pd. Dotychczas zarejestrowane minerały platynowców w cechsztyńskiej serii miedzionośnej, to między innymi: sperrylit, geversit, insizwait (Kucha, 2021), pallad rodziemy, sobolevskit, arsenki (Pd_3As_5) i arseniany (Pd_2AsO_4) palladu (Kucha, Przybyłowicz, 1999).



PROPONOWANE KRYTERIA WYZNACZANIA OBSZARÓW PERSPEKTYWICZNYCH PGE W CECHSZTYŃSKIEJ SERII MIEDZIONOŚNEJ

Jednym z wyzwań współczesnej gospodarki surowcowej jest odpowiednie uwzględnienie metali towarzyszących, które mogą znacząco podnosić potencjał strategiczny złóż. Ich systematyczne bilansowanie i włączanie do oceny zasobów nie tylko zwiększa dokładność szacunków ekonomicznych, lecz także umożliwia lepsze prognozowanie znaczenia tych pierwiastków w długofalowej polityce surowcowej. Metale towarzyszące, takie jak platynowce, nikiel, kobalt czy pierwiastki ziem rzadkich (REE), często występują w śladowych ilościach, jednak ze względu na ich zastosowanie w wysokotechnologicznych sektorach przemysłu i energetyce, mają kluczowe znaczenie strategiczne. Pomijanie ich w analizach chemicznych może prowadzić do niedoszacowania wartości złoża, a także ograniczać możliwości podejmowania decyzji inwestycyjnych oraz planowania eksploatacji w sposób zrównoważony. Włączenie metali towarzyszących do systematycznych bilansów geochemicznych i ekonomicznych może pozwolić również lepiej ocenić ryzyko i potencjał dywersyfikacji surowcowej. Jest to szczególnie istotne w kontekście rosnącej zależności gospodarek od ograniczonych i niestabilnych źródeł surowców krytycznych.

Jak wspomniano, w Polsce nie udokumentowano dotychczas złóż PGE, dlatego nie opracowano jeszcze wartości granicznych parametrów definiujących złoża platynowców ani jego granic. W związku z tym w tabeli 1 przedstawiono proponowane kryteria umożliwiające identyfikację obszarów perspektywnych, w których mogą występować potencjalnie ekonomiczne nagromadzenia

Tab. 1. Proponowane wartości granicznych parametrów definiujących złoża rud Cu-Ag i jego granice z uwzględnieniem ekwiwalentu platynowców (wartości brzeżne wg Rozporządzenia, 2015)**Table 1.** Proposed threshold values of parameters defining the deposit and its boundaries for Cu-Ag ores, taking into account the platinum group elements equivalent (threshold values according to: Regulation, 2015)

Parametr <i>Parameter</i>	Wartość brzeżna <i>Threshold value</i>
Minimalna zawartość miedzi ekwiwalentnej (Cu_e) w próbce konturującej złożo: $Cu_e = (\%Cu) + 0,01 \text{ (g/t Ag)} + 0,41 \text{ (g/t Pt)} + 0,82 \text{ (g/t Pd)} + 0,17 \text{ (g/t Ru)} + 4,64 \text{ (g/t Rh)} + 1,24 \text{ (g/t Ir)} + 0,16 \text{ (g/t Os)}$ <i>Minimum equivalent copper content (Cu_e) in a sample outlining the deposit:</i> $Cu_e = (\%Cu) + 0,01 \text{ (g/t Ag)} + 0,41 \text{ (g/t Pt)} + 0,82 \text{ (g/t Pd)} + 0,17 \text{ (g/t Ru)} + 4,64 \text{ (g/t Rh)} + 1,24 \text{ (g/t Ir)} + 0,16 \text{ (g/t Os)}$	0,5%
Minimalna średnia ważona zawartość ekwiwalentna miedzi (Cu) z uwzględnieniem zawartości srebra (Ag) i platynowców (Pt, Pd, Ru, Rh, Ir, Os) w profilu złoża: $Cu_e = (\%Cu) + 0,01 \text{ (g/t Ag)} + 0,41 \text{ (g/t Pt)} + 0,82 \text{ (g/t Pd)} + 0,17 \text{ (g/t Ru)} + 4,64 \text{ (g/t Rh)} + 1,24 \text{ (g/t Ir)} + 0,16 \text{ (g/t Os)}$ <i>Minimum weighted average equivalent copper content (Cu_e), taking into account the concentrations of silver (Ag) and platinum-group elements (Pt, Pd, Ru, Rh, Ir, Os) within the deposit profile:</i> $Cu_e = (\%Cu) + 0,01 \text{ (g/t Ag)} + 0,41 \text{ (g/t Pt)} + 0,82 \text{ (g/t Pd)} + 0,17 \text{ (g/t Ru)} + 4,64 \text{ (g/t Rh)} + 1,24 \text{ (g/t Ir)} + 0,16 \text{ (g/t Os)}$	0,5%
Minimalna zasobność złoża (Cu_e) z uwzględnieniem platynowców <i>Minimum Cu equivalent productivity of the ore deposit (Cu_e) including PGE</i>	35 kg/m ²

mineralizacji platynowcami. Kluczową kwestią w ocenie złóż polimetalicznych, jakimi bez wątpienia są złoża rud Cu-Ag w Polsce, powinno być uwzględnienie wszystkich składników, które determinują wartość ekonomiczną zasobów. Szczególnie istotne staje się to w przypadku obecności metali towarzyszących, w tym platynowców. W celu dokonania pełnej oceny potencjału tych złóż proponowane jest włączenie wszystkich pierwiastków z grupy PGE, które są kopaliniami towarzyszącymi, do tzw. ekwiwalentu kopaliny głównej, w sposób podobny do tego, jak oblicza się miedź ekwiwalentną (Cu_e) w złożach rud Cu-Ag na monoklinie przedsudeckiej. Warto podkreślić, że zastosowanie tej metody może znacząco zwiększyć stopień wykorzystania potencjału złóż, ograniczyć straty surowcowe i wpłynąć na efektywniejsze planowanie działań poszukiwawczych i eksploatacyjnych. Dysponując takim ekwiwalentem, możliwe będzie odniesienie go do obowiązujących wartości granicznych parametrów definiujących złoża kopaliny głównej i jego granice. Rozwiązanie to pozwoli, w przypadku stwierdzenia podwyższonej koncentracji platynowców ($\Sigma PGE > 1 \text{ ppm}$) na doszacowanie zasobów i poszerzenie granic złoża o interwały zawierające kopalinę lub pierwiastek główny, które dotychczas nie spełniały wartości granicznych.

Aby włączenie platynowców do ekwiwalentu kopaliny głównej było zasadne i rzetelne, konieczne jest określenie jednoznacznych kryteriów oceny. Wiarygodność i praktyczną użyteczność takiej procedury zapewnia spełnienie następujących kryteriów:

a) interwały okruszczowane PGE muszą się pokrywać lub bezpośrednio przylegać do interwałów złożowych analizowanej kopaliny głównej;

b) ekwiwalent kopaliny głównej musi spełniać graniczne wartości parametrów definiujących złoża kopaliny i jego granice w Polsce (Rozporządzenie, 2015, zarówno w zakresie minimalnej zawartości kopaliny głównej w próbce konturującej złożo, jak i minimalnej średniej ważonej zawartości kopaliny głównej w całym profilu złoża (wraz z przerostami), a także minimalnej zasobności złoża. Kryteria te powinny uwzględniać zarówno interwał już udokumentowany, jak i interwały wzbogacone w PGE, które dotychczas nie spełniały wymagań bilansowych;

c) uwzględnienie platynowców w ekwiwalencie będzie możliwe wyłącznie wtedy, gdy ich łączna zawartość w

interwale o minimalnej miąższości 20 cm osiąga lub przekracza 1 ppm ($\Sigma Ru + Rh + Pd + Os + Ir + Pt \geq 1 \text{ ppm}$), zarówno jako średnia ważona zawartość w całym interwale, jak i minimalna zawartość w próbce konturującej interwał wzbogacony w PGE.

Proponuje się prowadzenie badań nie tylko na obszarach przylegających do znanych złóż rud Cu-Ag, ale także w innych regionach monokliny przedsudeckiej, niecki północnosudeckiej i perykliny Żar. Szczególną uwagę należy poświęcić obszarom, które wedle danych geologicznych i geochemicznych mają podwyższony potencjał występowania metali z grupy platynowców. W tym kontekście są istotne:

a) regiony, w których stwierdzono podwyższoną koncentrację platynowców, np. obszary perspektywiczne pod względem występowania Pt i Pd w południowo-wschodniej Polsce – włączenie tych obszarów do programu poszukiwawczego umożliwia identyfikację stref wzbogacenia w PGE;

b) obszary, gdzie badania geologiczne wykazały obecność bogatej mineralizacji kruszczowej Cu-Ag, której mogą towarzyszyć platynowce. Takie strefy są szczególnie interesujące, ponieważ obecność bogatych ciał rudonośnych często jest skorelowana z występowaniem mineralizacji PGE.

Określenie kryteriów wyznaczania wartości granicznych parametrów definiujących złoża rud Cu-Ag i jego granice z uwzględnieniem ekwiwalentu platynowców proponuje się przeprowadzić na etapie analiz i syntezy danych uzyskanych w ramach Krajowego Programu Poszukiwań Surowców Krytycznych (KPP-CRM). Uzasadnieniem takiego podejścia jest konieczność wstępnego rozpoznania podwyższonej koncentracji PGE i pierwiastków im towarzyszących (np. Cu, Ag, Pb, Zn i Se), a także szczegółowego przebadania rodzaju rudy i mineralnych nośników PGE oraz innych pierwiastków stanowiących kopalinę użyteczną. Równocześnie niezbędne jest wyznaczenie zasięgu przestrzennego utworów wzbogaconych w PGE – zarówno pod względem głębokości zalegania, jak i rozciągłości lateralnej.

Dane dotyczące platynowców w zdecydowanej większości przeanalizowanych dokumentacji, opracowań, materiałów archiwalnych i publikacji ograniczają się niemal wyłącznie do platyny i palladu. Dotychczasowe badania cechstyńskiej serii miedzionośnej nie obejmowały oceny potencjału całego spektrum PGE. W praktyce wykonywa-

no głównie oznaczenia Pt i Pd w wybranych próbkach, równocześnie z badaniami rozmieszczenia rud Cu-Ag i mineralizacji złotem. W związku z tym w planie poszukiwań należy podkreślić konieczność kompleksowego zbadania nagromadzeń wszystkich pierwiastków z grupy PGE. Ceny rynkowe tych metali wskazują, że uncja irydu jest warta około trzy razy więcej niż uncja platyny, natomiast uncja rodru – dziesięciokrotnie więcej niż uncja platyny. Zatem kluczowe jest wprowadzenie standardów badań obejmujących wszystkie pierwiastki PGE oraz oszacowanie ich wartości w ekwiwalencie platynowców, umożliwiające ocenę perspektyw złożowych analizowanych obszarów badawczych.

PERSPEKTYWY POSZUKIWAWCZE

Ograniczona liczba oznaczeń zawartości Pt i Pd w utworach białego spagowca i wapienia cechsztyńskiego, w porównaniu z łupkami miedzionośnymi, spowodowała, że dotychczas przeprowadzono wyłącznie analizę perspektywiczności horyzontu łupkowego. Zasięgi obszarów perspektywicznych pod względem występowania platyny i palladu w większości przypadków nie pokrywają się całkowicie, jednak są bardzo podobne. Są rozległe, charakteryzują zróżnicowanym przebiegiem granic i nieregularnym kształtem, co odzwierciedla złożoność geochemiczną dystrybucji Pt i Pd (ryc. 2). Przestrzenne rozmieszczenie mineralizacji Pt i Pd wykazuje wyraźną tendencję do występowania tych metali w centralnych partiach utworów utlenionych. W odróżnieniu od nich złoto koncentruje się głównie w strefach peryferyjnych (Oszczepalski, Chmielewski, 2015a, b).

Spośród wszystkich wyznaczonych stref najbardziej perspektywnym regionem o podwyższonej koncentracji platyny i palladu jest zielonogórski obszar utleniony (obszar perspektywny Pt i Pd Zielona Góra). Wynika to zarówno z liczby pozytywnych otworów badawczych, jak i z ich lokalizacji w pobliżu udokumentowanych złóż Cu-Ag oraz innych obszarów perspektywicznych tych rud. Zidentyfikowano 13 rdzeni otworów o średniej zawartości ponad 100 ppb Pt w łupku miedzionośnym i 17 rdzeni otworów o średniej zawartości ponad 100 ppb Pd w tej skale (tab. 2). Największe prognozowane zasoby platyny i palladu znajdują się w zachodniej części dokumentowanego obszaru rud Cu-Ag Lubin-Sieroszowice, obejmującej rejon Gaworzyc, Radwanic i Bytomia Odrzańskiego, a także w zachodnich częściach złóż Cu-Ag Polkowice i Sieroszowice (Oszczepalski, 2007). Na podstawie analogii do większego nagromadzenia Au w utworach utlenionych przylegających od zachodu do złóż rud Cu-Ag w rejonie Polkowic, Sieroszowic, Radwanic, Gaworzyc i Bytomia Odrzańskiego, można przypuszczać, że platynowce występują w całym obszarze utworów utlenionych, a szczególnie w jego centralnej części (Oszczepalski, 2002, 2007; Oszczepalski i in., 2012). Obszar perspektywny Pt i Pd Zielona Góra został wyznaczony w ramach poszukiwań Au w utworach utlenionych cechsztyńskiej serii miedzionośnej. Interwał platynonośny w tym regionie występuje na głębokości od 300 m w rejonie Kozuchowa do 2200 m w północnej części obszaru, natomiast interwał palladonośny rozciąga się od 300 m p.p.t. w rejonie Kozuchowa do 2900 m p.p.t. w północno-zachodnim krańcu strefy perspektywicznej. Miąższość interwałów zmineralizowanych

platyną mieści się przeważnie w zakresie 0,2–0,8 m, natomiast palladem – zazwyczaj w przedziale 0,1–0,4 m. Średnia zawartość platyny i palladu w utworach utlenionych, wobec brzeżnej zawartości 100 ppb Pt i Pd w próbce, mieści się w granicach 20–300 ppb Pt i 20–400 ppb Pd. W wybranych profilach rejonu Polkowice i Sieroszowice wartości te są wyższe, osiągają do 600 ppb przy miąższości nieco przekraczającej 1 m (Oszczepalski, Chmielewski, 2015a, b).

Interesującym rejonem pod względem występowania podwyższonej koncentracji platynowców jest także obszar perspektywny Pt i Pd Lutol. Obszar ten, usytuowany na pograniczu synklinorium północnosudeckiego i perykliny Żar, nie wykazuje tak dużego potencjału jak obszar Pt i Pd Zielona Góra, jednak istnieje możliwość jego rozszerzenia w kierunku bloku przedsudeckiego i w stronę udokumentowanego w Niemczech złoża Spremberg-Weisswasser. Należy jednak zauważyć, że zasoby platyny na tym obszarze zostały wyznaczone na podstawie analizy zaledwie jednego rdzenia otworu wiertniczego, a palladu na podstawie rdzeni dwóch otworów. Przewiduje się, że interwał platynonośny występuje w tym regionie na głębokości od ok. 300 m w okolicy Żagania do 1400 m w zachodniej części obszaru. Z kolei interwał palladonośny rozciąga się od 300 m p.p.t. w rejonie Żagania do 2100 m p.p.t. w północno-zachodnim krańcu strefy perspektywicznej, sięgającym granicy z Niemcami. Średnia zawartość Pt i Pd, wyliczona na podstawie ograniczonej liczby danych, kształtuje się w nim na stosunkowo wysokim poziomie i wynosi 413 ppb Pt i 368 ppb Pd (Oszczepalski, Chmielewski, 2015a, b). Zmineralizowany horyzont charakteryzuje się niewielką miąższością, mieszczącą się w przedziale od 11 do 18 cm.

Pozostałe obszary perspektywiczne pod względem występowania platynowców: Miłosław, Łuszczanów i Mężyk, także zostały wyznaczone na podstawie wyników jednego lub dwóch otworów wiertniczych. Spąg cechsztyńskiej serii miedzionośnej znajduje się w nich na znacznej głębokości, sięgającej nawet 4300 m w rejonie Mężyka, w związku z tym obszary te należy wykluczyć z rozważań dotyczących potencjalnej eksploracji (Oszczepalski, Chmielewski, 2015a, b). Mogą one mieć jedynie ograniczone znaczenie jako źródło surowca towarzyszącego w przypadku ewentualnego zagospodarowania rud miedziowo-srebrowych na tak dużych głębokościach.

Poza udokumentowanymi i wyznaczonymi perspektywnymi obszarami występowania platyny i palladu wskazuje się również rejony, w których można się spodziewać występowania platynowców, mimo że dostępne dane są nieliczne (np. niecka północnosudecka) lub istnieją jedynie przesłanki geologiczne sugerujące możliwość ich obecności (np. obszar perspektywny występowania rud Cu-Ag w rejonie Żakowa). Takie obszary, choć słabiej rozpoznane, stanowią szczególnie interesujące cele dalszych badań. W niecce północnosudeckiej dominują utwory spagowe cechsztyny występujące w facji redukcyjnej. Jednocześnie uwagę zwraca obecność złotonośnych utworów utlenionych pod rudami Cu-Ag, które sprzyjają lokalnym nagromadzeniom platynowców. Utwory utlenione, związane bezpośrednio z interwałami miedzionośnymi, występują głównie we wschodniej części niecki (Stare Zagłębie Miedziowe) oraz w strefie przygranicznej z perykliną Żar. Taki kontrast litologiczno-geochemiczny sprzyja lokalnym akumulacjom pierwiastków z grupy platynowców i wskazuje

Tab. 2. Średnie wartości parametrów mineralizacji Pt i Pd w łupku miedzionośnym na wybranych obszarach perspektywicznych (Oszczepalski, Chmielewski, 2015a, b)**Table 2.** Average mineralization parameters of Pt and Pd in the Kupferschiefer shale within selected prospective areas (Oszczepalski, Chmielewski, 2015a, b)

Obszar perspektywiczny Pt <i>Pt prospect</i>	Liczba otworów pozytywnych <i>The number of positive profiles</i>	Zakres głębokości <i>Depth range</i>	Średnia miąższość <i>Average thickness</i>	Średnia zawartość Pt <i>Average Pt content</i>
		[m]	[m]	[ppb]
Zielona Góra	13	300–2200	0,26	206
Lutol	1	300–1400	0,18	413
Miłosław	1	3500–4000	0,01	121
Obszar perspektywiczny Pd <i>Pd prospect</i>	Liczba otworów pozytywnych <i>The number of positive profiles</i>	Zakres głębokości <i>Depth range</i>	Średnia miąższość <i>Average thickness</i>	Średnia zawartość Pd <i>Average Pd content</i>
		[m]	[m]	[ppb]
Zielona Góra	17	300–2900	0,28	274
Lutol	2	300–2100	0,11	368
Łuszczanów	1	3200–3250	0,03	1020

na potencjał poszukiwawczy badanego obszaru, czyniąc go istotnym celem dalszych prac. Natomiast w rejonie Żakowa kluczowe znaczenie mogą mieć niewykryte jeszcze strefy utlenione, związane z paleostrukturami tektonicznymi, takimi jak paleowyniesienie wolsztyńskie. Obszar ten charakteryzuje się obecnością spągu cechsztyńskiej serii miedzionośnej na głębokości 2100–2300 m, gdzie na południowym stoku paleowyniesienia wolsztyńskiego może występować bogata mineralizacja Cu-Ag. Dotychczas nie stwierdzono tam stref utlenionych pełniących rolę nośnika platynowców, jednak szczegółowa analiza zachowanych rdzeni wiertniczych może umożliwić ich wyznaczenie. Takie pola utlenione stanowiłyby potencjalne miejsca akumulacji mineralizacji PGE i podstawę do planowania dalszych prac poszukiwawczych.

Należy wyraźnie podkreślić, że ze względu na rzadkie i nieregularne rozmieszczenie analizowanych otworów wiertniczych i konieczność stosowania geometrycznej interpolacji danych, granice wyznaczonych obszarów perspektywicznych pod względem zawartości Pt i Pd traktuje się jako przybliżone, a związane z nimi szacunki zasobowe są orientacyjne. Dokładniejsze określenie granic i wielkości szacowanych zasobów będzie możliwe dopiero po przeprowadzeniu kolejnych badań, takich jak analiza wierceń archiwalnych lub nowe prospekcyjne prace wiertnicze, które mogą znacząco wpłynąć na wartości szacunkowe, zarówno w kierunku ich zwiększenia, jak i zmniejszenia. Tego rodzaju badania umożliwią w przyszłości dokładniejsze rozpoznanie i udokumentowanie zasobów, zwłaszcza w korzystnym zakresie głębokości. Eksploatacja na większych głębokościach będzie wymagała zastosowania nowoczesnych technologii, stworzenia sprzyjających warunków inwestycyjnych i opracowania długoterminowej strategii surowcowej, obejmującej zarówno perspektywę krajową, jak i europejską.

IDENTYFIKACJA I WYZNACZENIE PROPONOWANYCH OBSZARÓW POSZUKIWAŃ PLATYNOWCÓW W RAMACH KPP-CRM

W projekcie KPP-CRM przygotowano plan badań mający na celu określenie nowych perspektyw poszukiwań platynowców w cechsztyńskiej serii miedzionośnej, w ramach

którego wytypowano pięć następujących proponowanych obszarów poszukiwań (POP; ryc. 2, tab. 3):

- ❑ POP Krępa (monoklina przedsudecka – w obszarach perspektywicznych pod względem poszukiwań platyny i palladu Zielona Góra);
- ❑ POP Żakowo (monoklina przedsudecka);
- ❑ POP Raciborowice (synklinorium północnosudeckie);
- ❑ POP Nowy Kościół (synklinorium północnosudeckie);
- ❑ POP Nowiny (peryklina Żar – w obszarze Lutol – perspektywicznym pod względem poszukiwań platyny i palladu).

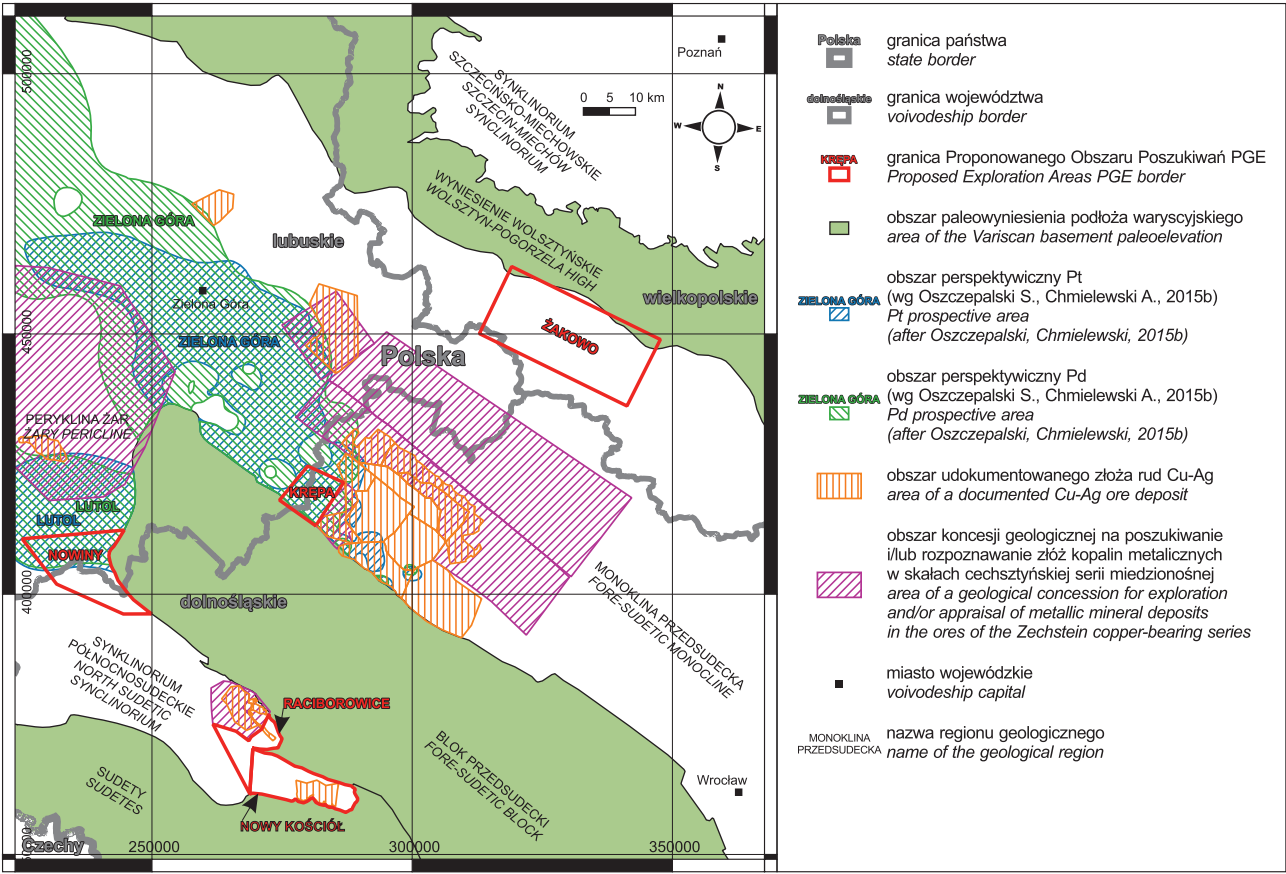
Obszary te wybrano na podstawie wyników analizy dostępnych danych geologicznych, litologicznych, petrograficzno-mineralogicznych i geochemicznych i wyników wcześniejszych badań. Każdy z wyznaczonych POP-ów reprezentuje odmienny kontekst geologiczny, co pozwala na ocenę różnicowania procesów mineralizacyjnych i identyfikację stref o największym potencjale ekonomicznym i mineralizacji PGE, jak i rud Cu-Ag. Na tej podstawie możliwe jest opracowanie strategii badawczej, która uwzględni zarówno koncentracje platynowców, jak i zasoby rud miedziowo-srebrnych. Badania zawartości platynowców powinny być prowadzone równocześnie z analizami rud Cu-Ag i złota, zarówno w celach naukowych, jak i gospodarczych. W ramach projektu KPP-CRM prace te obejmą obszar o łącznej powierzchni 906 km², co stwarza realne szanse na doprecyzowanie granic wcześniej wyznaczonych obszarów perspektywicznych oraz identyfikację nowych prospektów.w.

Opróbowanie powinno obejmować zarówno warstwy łupków miedzionośnych, jak i przyległe utwory wapienia cechsztyńskiego (w szczególności w partiach spągowych), a także białego spągowca (w szczególności w partiach stropowych). Poza tym, gdy w obrębie analizowanego profilu występuje wapień podstawowy wskazane jest również jego opróbowanie. Badania te powinny być podejmowane zwłaszcza w tych partiach serii, które wykazują wyraźne oznaki procesów utleniania, gdyż z doświadczeń badawczych wynika, że utlenione facje są szczególnie predysponowane do akumulacji pierwiastków z grupy platynowców

oraz złota. Analiza powinna obejmować ilościowe oznaczenie wszystkich pierwiastków z grupy PGE, a także badania komplementarne, takie jak studium mineralogiczno-petrograficzne mineralizacji PGE. Oznaczenie zawartości tych metali w próbkach skalnych pozwala nie tylko na ocenę lokalnego potencjału mineralizacyjnego, ale także na zrozumienie geochemicznego kontekstu złóż rud Cu-Ag, z którymi często platynowce występują. Dzięki temu możliwe będzie określenie nie tylko średniej koncentracji tych metali, lecz także ich przestrzennego rozmieszczenia i nośników PGE. Szczegółowe wyznaczenie granic obszarów utlenionych jest istotne zarówno dla poznania geometrii stref mineralizacyjnych, jak i dla określenia kierunków, w których można się spodziewać największej

koncentracji PGE. Systematyczne próbkowanie i analiza chemiczna tych stref umożliwią jednocześnie identyfikację obszarów wymagających dalszych badań wiertniczych i laboratoryjnych.

Regionem najbardziej perspektywnym pod względem występowania bogatej mineralizacji PGE jest POP Krepa (ryc. 2, tab. 3). Znajduje się on na południowo-wschodnich peryferiach obszaru perspektywnego Pt i Pd Zielona Góra, gdzie występują utwory utlenione facji *Rote Fäule* i gdzie konieczne jest sprawdzenie cechsztyńskiej serii miedzionośnej pod kątem nagromadzeń platynowców. Seria ta zalega w tym rejonie na głębokości 400–500 m, a bogata mineralizacja Cu-Ag obejmuje tam wyższe partie profilu, podczas gdy jej spagowe partie cha-



Ryc. 2. Mapa zasięgu proponowanych obszarów poszukiwań platynowców (monoklina przedsudecka, synklinorium północnosudeckie, peryklina Żar)

Fig. 2. Map of the extent of Proposed Exploration Areas for PGE (Fore-Sudetic Monocline, North Sudetic Synclinorium, Żary Pericline)

Tab. 3. Proponowane obszary poszukiwań (POP) platynowców w Polsce wraz z przypisaniem do regionów geologicznych
Table 3. Proposed Exploration Areas (PEAs) for PGE mineralization in Poland with assignment to geological regions

Proponowany Obszar Poszukiwań (POP) Proposed Exploration Area (PEA)	Region geologiczny Geological region	Głębokość zalegania cechsztyńskiej serii miedzionośnej Depth of the Zechstein copper-bearing series	Powierzchnia Area
POP Krepa / PEA Krepa	monoklina przedsudecka / Fore-Sudetic Monocline	400–500 m	73 km ²
POP Żakowo / PEA Żakowo	monoklina przedsudecka / Fore-Sudetic Monocline	2100–2300 m	453 km ²
POP Raciborowice / PEA Raciborowice	synklinorium północnosudeckie / North Sudetic Synclinorium	900–1500 m	64 km ²
POP Nowy Kościół / PEA Nowy Kościół	synklinorium północnosudeckie / North Sudetic Synclinorium	20–600 m	128 km ²
POP Nowiny / PEA Nowiny	peryklina Żar / Żary Perycline	400–600 m	188 km ²

rakteryzują się silnym utlenieniem. Biorąc pod uwagę dużą intensywność procesów utleniania i obserwowany północno-zachodni kierunek rozprzestrzeniania się mineralizacji miedziowo-srebrowej (po wschodniej stronie zielonogórskiego pola utlenionego) oraz mineralizacji platynowcami i złotem (po stronie zachodniej), można zakładać, że w tym rejonie zielonogórskiego pola utlenionego występują bogate nagromadzenia mineralizacji PGE. Zgodnie z założeniami programu badawczego przewiduje się wykonanie dwóch otworów pełnordzeniowych (K1, K2) o głębokości do ok. 700 m, zależnej od poziomu spągu cechsztyńskiej serii miedzionośnej. Dane pozyskane z wierceń umożliwią ocenę perspektywiczności występowania PGE i wskażą kierunki dalszych badań.

Na pograniczu synklinorium północnosudeckiego i perykliny Żar wytypowano POP Nowiny, obejmujący obszar perspektywiczny występowania rud Cu-Ag Nowiny wokół otworu wiertniczego Nowiny SP-6 i południową część obszaru perspektywicznego Pt i Pd Lutol (ryc. 2, tab. 3). Mając na uwadze silnie rozwinięte procesy utleniania i północno-zachodni kierunek rozprzestrzeniania się mineralizacji platynowcami i złotem, a także bliskość obszaru perspektywicznego Cu-Ag Nowiny, przewiduje się tam obecność podwyższonej koncentracji platynowców. Mogą one występować w niewystarczająco zbadanych częściach obszaru, wzdłuż granicy perykliny Żar i synklinorium północnosudeckiego. Aby określić zasięg stref utlenionych, potencjalnie związanych z mineralizacją PGE, wzdłuż południowej krawędzi zielonogórskiego pola utlenionego zaplanowano wykonanie pełnordzeniowanego otworu wiertniczego N1 o maksymalnej głębokości do ok. 1100 m, zależnej od poziomu spągu cechsztyńskiej serii miedzionośnej. Wiercenie to umożliwi ocenę, czy mineralizacja platynowcami kontynuuje się w kierunku zachodnim aż do granicy z Niemcami.

W synklinorium północnosudeckim wytypowano dwa POP-y jako kluczowe dla poszukiwań platynowców. Pierwszy z nich, POP Raciborowice, został wskazany w rejonie usytuowanym na południe od złóż Niecka Grodziecka i Wartowice, obejmującym przyległe tereny nieobjęte koncesjami poszukiwawczymi (ryc. 2, tab. 3). Natomiast drugi POP, Nowy Kościół, obejmuje udokumentowane złożo miedzi Nowy Kościół wraz z najbliższym otoczeniem (ryc. 2, tab. 3). Ważnym uzasadnieniem wyboru POP Raciborowice do wykonania szczegółowych prac badawczych jest to, że w rejonie złoża Niecka Grodziecka–Wartowice mineralizacja platynowcami występuje w utworach utlenionych białego spągowca i wapienia podstawowego, zalegających pod rudami Cu-Ag. Mineralizacja Pt-Pd ogranicza się do wąskiego pasa o przebiegu północno-zachodnim, o szerokości ok. 3–12 km, przy czym wyraźnie obserwuje się wzrost średniej zawartości platynowców w kierunku bloku przedsudeckiego.

W ramach planowanej prospekcji wiertniczej w rejonie POP Raciborowice przewidziano wykonanie jednego pełnordzeniowanego otworu (R1) o maksymalnej głębokości do 1500 m, dostosowanej do zalegania spągu cechsztyńskiej serii miedzionośnej. Celem wiercenia będzie przede wszystkim określenie granic pola utlenionego wzdłuż jego złotoryjskiego odcinka i ocena potencjału występowania mineralizacji platynowców, a także innych pierwiastków towarzyszących, takich jak Au, Se i REE+Y. W rejonie POP Nowy Kościół, w cechsztyńskiej serii miedzionośnej

złoża miedzi Nowy Kościół przeprowadzono dotychczas jedynie pilotażowe badania dotyczące zawartości złota (Wojciechowski, 1999, 2001). Nie wykonano natomiast analiz pod kątem obecności platynowców, REE ani innych metali towarzyszących, takich jak Se, Co czy Ni. W ramach poszukiwań mineralizacji PGE w tym rejonie przewiduje się wykonanie 10 płytkich, pełnordzeniowanych otworów (NK1–NK10) rozmieszczonych w siatce $1,5 \times 1,5$ km, o maksymalnej głębokości do 250 m, zależnej od zalegania spągu cechsztyńskiej serii miedzionośnej. Istotny wydaje się również obszar położony między złożami Wartowice i Nowy Kościół wraz z otoczeniem, gdzie wzdłuż postulowanej granicy redoks można się spodziewać obecności stref wzbogaconych w platynowce, podobnych do tych występujących w sąsiadujących złożach. Wykonanie otworu wiertniczego w rejonie na południe od otworu G-18 (Oszczepalski, Rydzewski, 1997) pozwoliłoby ocenić potencjał tego obszaru pod kątem mineralizacji PGE. W związku z tym planowane jest wykonanie jednego, umiarkowanego głębokiego otworu wiertniczego (NK11) na północny wschód od udokumentowanego złoża Nowy Kościół, o głębokości do 800 m, w celu weryfikacji kontynuacji ciała rudnego oraz oceny potencjału występowania platynowców pomiędzy udokumentowanymi złożami rud miedzi Niecka Grodziecka, Wartowice i Nowy Kościół.

Jedynym obszarem perspektywicznym na monoklinie przedsudeckiej, który dotychczas nie był objęty koncesją poszukiwawczą, jest Żakowo, gdzie wyznaczono POP Żakowo (ryc. 2, tab. 3). Rejon ten jest słabo rozpoznany i udokumentowany jedynie niewielką liczbą otworów wiertniczych, co sprawia, że każda dodatkowa analiza może znacząco poszerzyć wiedzę o jego potencjale złożowym i umożliwić wskazanie nowych stref mineralizacji PGE i Cu-Ag. Szczególne znaczenie będzie miało rozpoznanie utworów utlenionych pod kątem obecności platynowców. Atutem tego terenu są stosunkowo niskie koszty prac, wynikające z możliwości ponownego wykorzystania rdzeni archiwalnych otworów, zamiast prowadzenia kosztownych wierceń rozpoznawczych. Dalsze działania powinny obejmować zarówno analizę dostępnych danych, jak i w razie potrzeby uzupełniające prace laboratoryjne. Takie podejście umożliwi wytypowanie najbardziej perspektywicznych pól utlenionych i stworzy solidną bazę do przyszłych poszukiwań, a niewielkie zagęszczenie wierceń sprawia, że rejon Żakowa wciąż zachowuje duży potencjał odkrywczy.

ZAKRES I ORGANIZACJA PRAC POSZUKIWAWCZYCH W RAMACH KPP-CRM

Prace badawcze i poszukiwania platynowców w cechsztyńskiej serii miedzionośnej będą prowadzone w ramach zadań KPP-CRM równolegle z poszukiwaniem miedzi. Program i harmonogram prac, z podziałem na etapy badawcze, przedstawiono w artykule dotyczącym perspektyw występowania złóż rud miedziowo-srebrowych znajdującym się w tym tomie (Chmielewski, 2025b). Zarówno opróbowanie terenowe, jak i analiza materiału rdzeniowego będą prowadzone komplementarnie. Rezultaty prac terenowych i laboratoryjnych będą systematycznie inte-

growane w celu opracowania perspektyw występowania mineralizacji platynowcami.

Uwzględniając wyniki dotychczasowych badań, należy stwierdzić, że na obecnym, wczesnym etapie poznawania mineralizacji platynowcami, cztery rejony – POP Krępa (monoklina przedsudecka), POP Raciborowice, POP Nowy Kościół (synklinorium północnosudeckie) i POP Nowiny (peryklina Żar) – powinny znaleźć się w pierwszej kolejności w kręgu zainteresowania badawczo-poszukiwawczego. Szanse na występowanie podwyższonej koncentracji platynowców w tych obszarach są największe. Wyniki badań terenowych i laboratoryjnych w tych rejonach umożliwią precyzyjne określenie potencjału zasobowego PGE i wskazanie najbardziej obiecujących lokalizacji do dalszych działań poszukiwawczych. Wyjątkowym przypadkiem jest POP Żakowo, w którym nie wykryto obecności utworów utlenionych. Jednak zgodnie z przyjętym modelem genetycznym istnieje realne prawdopodobieństwo ich obecności wzdłuż południowych krawędzi paleowyniesienia wolsztyńskiego. Ten hipotetyczny obszar utleniony może zawierać platynowce. Wstępne wyniki takich badań będą kluczowe dla ustalenia priorytetów dalszych działań rozpoznawczych i ewentualnego rozszerzenia zakresu poszukiwań w tym niedostatecznie rozpoznanym obszarze.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W ramach projektu Krajowego Programu Poszukiwań Surowców Krytycznych (KPP-CRM) są planowane działania mające na celu ocenę geologicznego potencjału platynowców w cechsztyńskiej serii miedzionośnej. Koncepcja działań obejmuje nie tylko analizę dotychczasowych danych geochemicznych i mineralogicznych, lecz także identyfikację nowych stref perspektywicznych i określenie kierunków dalszych inicjatyw badawczych. W ramach przeprowadzonej oceny wytypowano pięć proponowanych obszarów poszukiwań (POP) i wskazano konieczność zbadania wszystkich pierwiastków z grupy PGE – nie tylko platyny i palladu, ale również Rh, Ir, Ru i Os, które mają istotną wartość ekonomiczną i kluczowe zastosowania technologiczne.

Cechsztyńska seria miedzionośna w Polsce wyróżnia się możliwością równoczesnego pozyskiwania platynowców wraz z rudami Cu-Ag, co stwarza szansę na bardziej kompleksowe wykorzystanie zasobów. Z uwagi na słabą koncentrację PGE samodzielna eksploatacja tych metali byłaby nieopłacalna, jednak odzysk w ramach funkcjonujących cykli technologicznych pozwala na zwiększenie efektywności przetwarzania i lepsze zagospodarowanie infrastruktury wydobywczej. Takie podejście sprzyja ograniczeniu kosztów jednostkowych, zwiększa wartość ekonomiczną złóż dzięki uwzględnieniu metali towarzyszących i umożliwia pełniejsze wykorzystanie potencjalnych zasobów platynowców w skali całej formacji metalogenicznej. Trzeba jednak pamiętać, że z punktu widzenia mineralogiczno-petrograficznego platynowce występują głównie w formie rozproszonej w minerałach siarczkowych i materii organicznej, co znacząco utrudnia ich identyfikację i odzysk. Rozkład poszczególnych platynowców w minerałach kruszczowych bywa niejednorodny, a ich koncentracje osiągają często wartości graniczne dla metod analitycznych, co wymaga stosowania zaawan-

sowanych technik badawczych, takich jak ICP-AES, mikrosonda elektronowa, analiza LA-ICP-MS czy wysokorozdzielcza petrografia. Dokładna charakterystyka mineralogiczna i geochemiczna jest więc warunkiem koniecznym do oceny rzeczywistego potencjału gospodarczego złóż, gdyż pozwala nie tylko określić formy występowania platynowców, ale także ocenić możliwość ich technologicznego odzysku w procesach przerobczych. Bez takiej wiedzy podejmowanie decyzji badawczych wiązałoby się z dużym ryzykiem błędnej oceny opłacalności ewentualnej prospekcji.

Uwzględniając potencjalne zasoby platynowców w cechsztyńskiej serii miedzionośnej, możliwe jest znaczne zwiększenie wydobywania i produkcji PGE, co może skutkować wzmocnieniem krajowego bezpieczeństwa surowcowego. Należy podkreślić, że, opłacalność wydobywania zależy również od stabilności rynków PGE i dostępności technologii pozwalających na efektywne oddzielanie PGE i innych metali z ubogich rud miedziowo-srebrnych. W dłuższej perspektywie rozwój wydobywania i produkcji platynowców wraz z ubogimi rudami Cu-Ag może znacząco zwiększyć strategiczne znaczenie cechsztyńskiej serii miedzionośnej, nie tylko w skali krajowej, lecz również w kontekście europejskim. Skierowanie kosztownych działań poszukiwawczych wyłącznie na niewielkie wzbogacenia platynowców w obrębie złóż rud miedzi i srebra w cechsztyńskiej serii miedzionośnej jest przykładem eksploracji pozbawionej ukierunkowania i z ograniczonym sukcesem. Przełomowe odkrycia bogatej mineralizacji PGE w Polsce mogą być związane z obszarami utlenionymi zielonogórskiego pola utlenionego, znajdującymi się na zachód od udokumentowanych złóż Nowego Zagłębia Miedziowego, a także w ich bezpośrednim sąsiedztwie, gdzie wyznaczono POP Krępa. Kolejnym istotnym regionem o potencjale ekonomicznym występowania nagromadzeń platynowców jest obszar perspektywiczny Pt i Pd Lutol, w którym wytypowano POP Nowiny. Bardzo interesującym obszarem pod kątem zbadania występowania wzbogaceń w PGE jest rejon synklinorium północnosudeckiego. Teren ten jest objęty pracami badawczymi w rejonie obszaru perspektywicznego Cu-Ag Raciborowice, gdzie wyznaczono POP Raciborowice. Znajduje się tu również złóż rud miedzi Nowy Kościół wraz z najbliższym otoczeniem, wskazanym do prac badawczych w ramach POP Nowy Kościół. Ponadto w zakresie planowanych badań poszukiwawczych wyróżniono obszar POP Żakowo, gdzie możliwość występowania rozległych stref utlenionych z mineralizacją PGE wynika z przesłanek geologicznych.

We wszystkich wyznaczonych POP-ach można się spodziewać zasobów zarówno rud Cu-Ag, jak i platynowców, co tworzy zintegrowane obszary poszukiwawcze. Połączenie obu typów potencjalnych wzbogaceń na jednym obszarze badawczym umożliwia kompleksową ocenę zasobów i planowanie synergicznych działań prospekcyjnych, które mogą zmaksymalizować odzysk metali towarzyszących i zwiększyć opłacalność inwestycji. Zaproponowane obszary poszukiwawcze pozostawały dotychczas słabo rozpoznane, ponieważ są uznawane za mniej perspektywiczne w kontekście bogatych rud Cu-Ag. Chodzi tu przede wszystkim o partie o ubogiej mineralizacji Cu-Ag, znajdujące się na pograniczu silnie rozwiniętych stref utlenionych.

Współwystępowanie platynowców ze złotem sprawia, że mineralizacja PGE podlega podobnym ograniczeniom w zakresie możliwości wspólnego wykorzystania. Podwyższona koncentracja Pt i Pd w wyznaczonych obszarach perspektywicznych wraz ze złotem może stanowić istotny składnik towarzyszący głównym kopalinom. Należy jednak zaznaczyć, że ze względu na liczne ograniczenia – rzadką i nieregularną siatkę zbadanych utworów, niewielką miąższość i przeciętną zawartość metali szlachetnych, trudności w określeniu nośników platynowców i nieciągłość pokładów z mineralizacją PGE – szanse, aby mineralizacja platynowcami w tych obszarach mogła tworzyć samodzielne złoża umożliwiające zagospodarowanie, są nieduże. Oznacza to, że tylko niewielka część mineralizacji platynowcami w obszarach perspektywicznych może być pozyskiwana podczas ewentualnej eksploatacji rud Cu-Ag jako kopalina towarzysząca. W praktyce możliwe jest to jedynie w miejscach, gdzie ruda Cu-Ag jest na tyle wzbogacona w PGE, że ich wydobycie jest ekonomicznie uzasadnione, albo tam, gdzie mogą być urabiane skały utlenione w związku z odpowiednią miąższością chodnika eksploatacyjnego. Pozyskanie PGE może być też możliwe, gdy wydobywa się rudę po stropie piaskowca białego spagowca wraz z utlenionymi partiami łupku miedzionośnego lub ze spagowymi partiami utlenionego wapienia cechsztyńskiego wzbogaconymi w PGE. Taka selektywna eksploatacja umożliwi maksymalne wykorzystanie zasobów platynowców bez konieczności dodatkowego przetwarzania całego masywu rudnego i jednocześnie minimalizuje koszty, a także zwiększa efektywność operacyjną.

Należy podkreślić, że dalsze badania nad nowoczesnymi metodami wzbogacania rud i nad technologiami odzysku metali szlachetnych mogą w przyszłości częściowo zmienić ocenę tego potencjału. Dynamiczny rozwój technologii hydrometalurgicznych i biotechnologicznych stwarza szansę na zwiększenie efektywności odzysku platynowców i złota z rud ubogich i trudnych do przeróbki (np. Mwase, 2009; Matys i in., 2016; Das, 2010; Latyuk i in., 2022). Kolejnym czynnikiem mogącym wpłynąć na opłacalność zagospodarowania tych surowców jest wzrost zapotrzebowania na platynowce w sektorze zielonych technologii, zwłaszcza w produkcji katalizatorów i ogniwo paliwowych. Nie bez znaczenia pozostają także wahania cen metali szlachetnych na rynkach światowych, które w sprzyjających warunkach mogą poprawić opłacalność potencjalnej eksploatacji. Z tego względu, mimo obecnie umiarkowanych perspektyw ekonomicznych, warto kontynuować prace rozpoznawcze i monitorować postęp technologiczny, który w przyszłości może otworzyć drogę do bardziej efektywnego wykorzystania tej mineralizacji.

Występowanie mineralizacji platynowcami poniżej interwału rudonośnego Cu-Ag wymaga odrębnego rozpoznania i udokumentowania zasobów. Z tego względu zagospodarowanie mineralizacji PGE i Au będzie możliwe jedynie w przypadku realnej możliwości wyznaczenia furty eksploatacyjnej, precyzyjnego sterowania eksploatacją w cienkich i zmiennych interwałach, a także opłacalnego pozyskiwania drobnodyspersyjnej mineralizacji z ubogich rud miedziowo-srebrowych. Uzyskiwanie platynowców i złota ze stref utlenionych wymagałoby dodatkowo selektywnego wybierania i oddzielnego składowania urobku

oraz opracowania odrębnego procesu przeróbki, odmiennego od stosowanego w przypadku rud siarczkowych. W konsekwencji włączenie opróbowania platynowców do poszukiwań miedzi umożliwia nie tylko rozszerzenie wiedzy o geochemicznym środowisku złóż, lecz także przygotowuje grunt pod późniejsze, bardziej zaawansowane działania eksploracyjne. Takie podejście pozwala z jednej strony ocenić potencjał ekonomiczny regionu w zakresie PGE, a z drugiej – zoptymalizować kierunki dalszej prospekcji miedziowo-srebrowej, łącząc badania nad pierwiastkami towarzyszącymi z klasycznymi analizami rud Cu-Ag.

Niniejsza publikacja została opracowana z wykorzystaniem materiałów zawartych w projekcie Krajowego Programu Poszukiwań Surowców Krytycznych, w części poświęconej platynowcom. Autor pragnie wyrazić głęboką wdzięczność dr hab. Sławomirowi Oszczepalskiemu – wybitnemu naukowcowi, nauczycielowi i wieloletniemu współpracownikowi – za inspirujące dyskusje i cenne uwagi, które znacząco przyczyniły się do udoskonalenia ostatecznej wersji niniejszej publikacji. Podziękowania kieruję również do mgr. Andrzeja Murańskiego za wsparcie merytoryczne i pomoc w opracowaniu rozdziału o PGE przygotowanego w ramach projektu KPP-CRM.

LITERATURA

- BECHTEL A., GHAZI A.M., ELLIOTT W.C., OSZCZEPALSKI S. 2001 – The occurrences of the rare earth elements and the platinum group elements in relation to base metal zoning in the vicinity of Rote Fäule in the Kupferschiefer of Poland. *Applied Geochemistry*, 16: 375–386.
- DAS N. 2010 – Recovery of Precious Metals Through Biosorption – A Review. *Hydrometallurgy*, 103 (1): 180–189.
- economy.ec.europa.eu/publications/study-critical-raw-materials-eu-20-23-final-report_en.
- KOMISJA Europejska, 2023 – Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report (in English). Brussels: European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs.
- KUCHA H. 2021 – New minerals and the first mineral occurrences in the Kupferschiefer (U, REE, HgS, chloride minerals PtAs₂, Pt(Sb,Bi)₂, PtBi₂), Poland, and their genetic meaning. *Mineralogia*, 52: 31–42.
- KUCHA H., PRZYBYŁOWICZ W. 1999 – Noble metals in organic matter and clay-organic matrices, Kupferschiefer, Poland. *Economic Geology*, 94: 1137–1162.
- LATYUK E., MELAMUD V., LAVRINENKO A., MAKAROV D., BULAEV A. 2022 – Non-Ferrous Metals and PGM Recovery from Low-Grade Copper-Nickel Concentrate by Bioleaching and Further Cyanidation. *Minerals*, 12 (3): 340.
- MATYS S., KOSTUDIS S., HOPFE S., RAFF J. 2016 – Novel Biotechnological Approaches for the Recovery of Metals from Primary and Secondary Resources, *Minerals* 2016, 6 (2), 54.
- MWASE J.M. 2009 – Hydrometallurgical extraction of platinum group metals from a low-grade ore concentrate (Master's thesis). University of Cape Town.
- NICZYPORUK K. 2003 – Wykształcenie i formy występowania złota i platynowców w utworach facji utlenionej monokliny przedsudeckiej i niecki północnosudeckiej. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa, nr inwent. 468/2004.
- OSZCZEPALSKI S. 1989 – Kupferschiefer in southwestern Poland: sedimentary environments, metal zoning, and ore controls. [W:] R.W. Boyle, A.C. Brown, E.C. Jowett, E.C. and R.V. Kirkham (red), *Sediment-hosted stratiform copper deposits*. Geological Association of Canada Special Paper, 36: 571–600.
- OSZCZEPALSKI S. 1999 – Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland. *Mineralium Deposita*, 34: 599–613.
- OSZCZEPALSKI S. 2002 – Mineralizacja Au-Pt-Pd w utworach cechsztynu południowo-zachodniej Polski: rozmieszczenie, geneza, znaczenie gospodarcze. Arch. KBN, Grant KBN nr 0485/T12/2000/19.
- OSZCZEPALSKI S. 2007 – Mineralizacja Au-Pt-Pd w cechsztyńskiej serii miedzionośnej na obszarach rezerwowych górnictwa miedziowego. [W:] S. Oszczepalski (red.), *Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 423: 109–124.

- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A. 2015a – 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*, 63 (9): 534–545.
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A. 2015b – Perspektywy występowania stratoidalnych złóż rud platyny i palladu w utworach permskiej serii miedzionośnej na obszarze monokliny przedsudeckiej, niecki północnosudeckiej i perykliny Żar. [W:] Mapy obszarów perspektywicznych wystąpień rud metali i surowców chemicznych w Polsce w skali 1:200 000 wraz z ich oceną surowcową i ograniczeniami środowiskowymi i zagospodarowania przestrzennego. *Nar. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa, nr inwent. 1714/2015.
- OSZCZEPALSKI S., NICZYPORUK K. 2001a – Badania mineralizacji złota i platynowców w cechsztyńskich utworach facji utlenionej – porównanie złoża Konrad i złoża Lubin-Sieroszowice. *Narod. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa, nr inwent. 691/2002.
- OSZCZEPALSKI S., NICZYPORUK K. 2001b – Metale towarzyszące w cechsztyńskim łupku miedzionośnym na obszarze Polski. *Narod. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa, nr inwent. 270/2002.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A. 1997 – Atlas metalogeniczny cechsztyńskiej serii miedzionośnej w Polsce. Państwowy Instytut Geologiczny – Wydawnictwo Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej SA, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., PIETRZYŃSKI A., RYDZEWSKI A., SPECZIK S., NICZYPORUK K. 1997 – Poszukiwania cechsztyńskiej mineralizacji Cu-Pt-Pd w SW Polsce. [W:] A. Muszer (red.), *Metale szlachetne w NE części masywu czeskiego i w obszarach przyległych: geneza, występowanie, perspektywy*: 48–55.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A. 1998 – Złoto, platyna i pallad w złożu Lubin-Sieroszowice na podstawie danych z otworów wiertniczych. *Polskie Towarzystwo Mineralogiczne – Prace Specjalne*, 10: 51–70.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., SPECZIK S. 1999 – Rote Fäule-related Au-Pt-Pd mineralization in SW Poland: new data. [W:] Ch. Stanley (red.), *Mineral Deposits: Processes to Processing*, Balkema, Rotterdam: 1423–1426.
- OSZCZEPALSKI S., NOWAK G.J., BECHTEL A., ZÁK K. 2002 – Evidence of oxidation of the Kupferschiefer in the Lubin-Sieroszowice deposit, Poland: implications for Cu-Ag and Au-Pt-Pd mineralisation. *Geological Quarterly*, 46 (1): 1–23.
- OSZCZEPALSKI S., NICZYPORUK K., PASŁAWSKI P. 2002a – Gold, platinum and palladium in the Kupferschiefer, Lower Silesia, SW Poland. [W:] *Sedimentary, Magmatic and Ore-forming Responses to Compressional and Tensional Tectonics: A focus on Africa*. 11th Quadrennial IAGOD Symposium and Geocongress 2002, Windhoek, Namibia, 22–26.07.2002. Extended CD-ROM Abstract Volume: 4.
- OSZCZEPALSKI S., GROTEK I., NOWAK G. 2004 – Badania petrograficzne i geochemiczne utworów utlenionych cechsztyńskiego łupku miedzionośnego SW Polski. *Narod. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., WOJCIECHOWSKI A. 2011 – Gold mineralization in the Kupferschiefer oxidized series of the North Sudetic trough, SW Poland. [W:] A. Kozłowski, S.Z. Mikulski (red.), *Gold in Poland*, AM Monograph, 2: 153–168.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., CHMIELEWSKI A. 2012 – Litologia, petrografia i cechsztyńska mineralizacja kruszczowa w wybranych profilach wiertniczych z rejonu Żmigród, Milicz, Sulmierzyce i Kalisz. NAG, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., ZIELIŃSKI K., CHMIELEWSKI A. 2019 – The Kupferschiefer deposits and prospects in SW Poland: Past, Present and Future. *Minerals*, Special Issue “Mineral Deposits of Central Europe”, 9: 592–633.
- PIECZONKA J. 2011 – Prawdopodobieństwo w rozmieszczeniu minerałów kruszczowych w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. Wydawnictwa AGH, Kraków: 195.
- PIECZONKA J., PIETRZYŃSKI A., GŁUSZEK A., MICHALIK A. 1998 – Występowanie złota, platyny i palladu w obszarze złożowym Polkowice-Sieroszowice. *Polskie Towarzystwo Mineralogiczne – Prace Specjalne*, 10: 71–86.
- PIECZONKA J., PIETRZYŃSKI A., MUCHA J., GŁUSZEK A., KOTARBA M., WIĘCŁAW D. 2008 – The red-bed-type precious metal deposit in the Sieroszowice-Polkowice copper mining district, SW Poland. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 78: 151–280.
- PIETRZYŃSKI A. 2007 – Geneza złoża. [W:] A. Pietrzyński, A. Banaszak, M. Zaleska-Kuczmierczyk (red.), *Monografia KGHM Polska Miedź SA*, wydanie II. Allexim sp. z o.o., Wrocław: 228–244.
- PIETRZYŃSKI A., SAWŁOWICZ Z. 1999 – Exploration for Au and PGE in the Polish Zechstein copper deposits (Kupferschiefer). *Journal of Geochemical Exploration*, 66: 17–25.
- PIETRZYŃSKI A., WODZICKI A., BANASZAK A. 1996a – Złoto w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Przegląd Geologiczny*, 44: 1098–1102.
- PIETRZYŃSKI A., PIECZONKA J., KUCHA H., BANAŚ M., SALAMON E., MAYER W., GAWĘŁ A., STALA K., RUDZKI M. 1996b – Występowanie Au, Pt i Pd w złożach rud miedzi i zachowanie się tych pierwiastków w procesach technologicznych. *Badania mineralogiczne Au, Pt i Pd w złożu rud miedzi i produktach wzbogacania*. Arch. KGHM Polska Miedź SA.
- PIETRZYŃSKI A., PIECZONKA J., SPECZIK S., OSZCZEPALSKI S., BANASZAK A. 1997 – Noble metals from the Kupferschiefer-type deposits, Lubin-Sieroszowice, SW Poland. [W:] H. Papunen (red.), *Mineral Deposits: Resources and Exploration – Where do They Meet?* Balkema, Rotterdam: 563–566.
- ROZPORZĄDZENIE, 2015 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. w sprawie dokumentacji geologicznej złoża kopaliny, z wyłączeniem złoża węglowodorów. *Dz.U.* 2015 poz. 987.
- RYDZEWSKI A., OSZCZEPALSKI S. 1996 – Występowanie Au, Pt i Pd w złożach rud miedzi i zachowanie się tych pierwiastków w procesach technologicznych – Wstępna ocena zasobności i prognoza występowania metali szlachetnych w nowo przygotowanych oddziałach eksploatacyjnych i polach górniczych. Arch. KGHM Polska Miedź SA.
- SAWŁOWICZ Z. 1993 – Iridium and other platinum-group elements as geochemical markers in sedimentary environments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 104: 253–270.
- SAWŁOWICZ Z. 1994 – PGE and Re in the Zechstein Cu-deposit (Kupferschiefer from the Lubin-Głogów mining area), Poland. [W:] IAGOD, Sixth Symp 2: 884–885.
- SPECZIK S. 1995 – The Kupferschiefer mineralization of Central Europe: New aspects and major areas of future research. *Ore Geology Reviews*, 9: 411–426.
- SPECZIK S., RYDZEWSKI A., OSZCZEPALSKI S., PIETRZYŃSKI A. 1997 – Exploration for Cu-Ag and Au-Pt-Pd Kupferschiefer-type deposits in SW Poland. [W:] H. Papunen (red.), *Research and exploration – where do they meet?* Balkema, Rotterdam: 119–122.
- SZAMAŁEK K., SZUFLICKI M., MIZERSKI W. (red.) 2020 – Bilans perspektywicznych zasobów kopaliny Polski wg stanu na 31.12.2018 r. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- SZUFLICKI M., MALON A., TYMIŃSKI M. (red.) 2025 – Bilans zasobów złóż kopaliny w Polsce wg stanu na 31.12.2024 r. Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 6.10.2025 r.

Akceptowano do druku 24.10.2025 r.