

## WYSTĘPOWANIE I ZASOBY PERSPEKTYWICZNE RUD NIKLU W POLSCE

### THE OCCURRENCE AND PROSPECTIVE RESOURCES OF NICKEL ORES IN POLAND

STANISŁAW Z. MIKULSKI<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W Polsce jedynym jak dotychczas udokumentowanym złożem niklu jest, zaniechane w 1983 r., złożo saprolitowe w Szklarach na Dolnym Śląsku. Udokumentowane zasoby bilansowe (w kat. B i C<sub>1</sub>) wynoszą tu około 117 tys. Mg niklu metalicznego przy zawartości brzeźnej Ni w rudzie 0,7%. Jednak złoża rud krzemianowych niklu zalegających w niewielkich i odizolowanych gniazdach można spodziewać się wokół bloku gnejsowego Gór Sowich. Zasoby prognostyczne rud niklu, występujących w tych zwietrzelinach serpentynitowych, wynoszą szacunkowo około 25 tys. Mg niklu. Postępy hydrometalurgii rud wietrzeniowych Ni oraz wysokie i stabilne ceny niklu pozwalają brać pod uwagę koncentracje tego metalu w rudzie już na poziomie <0,5% Ni. Dlatego wraz z intensyfikacją poszukiwań można oczekiwać przyrostu zasobów perspektywicznych niklu o co najmniej kilkadziesiąt tysięcy ton Ni ze złóż typu saprolitowego występujących w zwietrzelinach serpentynitowych na masywach Szklar, Braszowice–Brzeźnica i Gogołów–Jordanów. Ponadto przeprowadzenie weryfikacji pozabilansowych rud niklu, według nowych kryteriów bilansowości, powinno dodatkowo wpłynąć na zwiększenie zasobów niklu w Polsce. Innym źródłem niklu jest cechsztyńska formacja miedzionośna, z której corocznie odzyskiwane jest około 2 tys. Mg siarczanu Ni podczas przeróbki technologicznej. Dlatego wraz z dokumentowaniem nowych zasobów cechsztyńskich rud Cu-Ag na monoklinie przedsudeteckiej należy również oczekiwać przyrostu zasobów niklu, jako pierwiastka współwystępującego w tych złożach. Ponadto istnieją przesłanki dla wystąpienia hipotetycznych magmowych złóż Ni-Cu typu likwacyjnego związanych z wystąpieniami ultrazasadowych kumulatów sekwencji ofiolitowej w masywach Gogołów–Jordanów, Braszowice–Brzeźnica i Nowa Ruda.

**Słowa kluczowe:** nikiel, saprolit, złoża, rudy, obszary perspektywiczne, Góry Sowie.

**Abstract.** In Poland, the only one documented nickel deposit is the saprolitic-type deposit in Szklary Lower Silesia, abandoned in 1983. Its documented balance resources are (B and C<sub>1</sub> categories) ca. 117 thousands Mg of metallic nickel at 0.7% cut-off. However, around the Sowie Mts. block gneisses, more such Ni-layer silicate type ores in small and separate lenses are expected. Prognostic resources of nickel in serpentinite waste are estimated for ca. 25 thousand Mg. The advances in hydrometallurgy of weathering-type nickel ores and high nickel prices allowed considering the poor Ni-ores containing <0.5% Ni as potentially economic to modern processing. Intensification of Ni prospecting should cause an increase in the amount of prospective nickel resources by tens of thousands tons of nickel from saprolitic-type deposits hosted by serpentinite wastes developed on the Szklary, Braszowice–Brzeźnica and Gogołów–Jordanów massifs. Moreover, the verification of current documented resources according to new balance criteria should also result in an increase in Ni resources in Poland. The additional source of Ni in Poland is the Zechstein Cu-Ag-formation, from which the annual production is ca. 2 thousands Mg of nickel-sulfates during technological processing of Cu ores. It is worthy to notice that during documentation of the new Cu-Ag resources hosted by the Zechstein formation in the Fore-Sudetic Monocline, an increase in nickel resources should be expected in Poland. In this area, nickel is the coexisting element in the copper-bearing sulfide ores. Besides, some evidence for possible hypothetic resources of magmatic Ni-Cu deposits connected with ultramafic cumulates of ophiolite sequences in the Gogołów–Jordanów, Braszowice–Brzeźnica and Nowa Ruda gabbros massifs, is also suggested.

**Key words:** nickel, saprolite, deposits, ores, prospective areas, Sowie Mts.

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: stanislaw.mikulski@pgi.gov.pl

## WSTĘP

Niniejszy artykuł stanowi rozszerzoną i zaktualizowaną wersję artykułu (Mikulski, 2011), który w skróconej formie został opublikowany w Bilansie perspektywicznych zasobów kopalin Polski w 2011 r. (Wołkowicz i in., red., 2011). Kryteria określenia zasobów perspektywicznych i/lub hipotetycznych przyjęto zgodnie z Zasadami szacowania zasobów perspektywicznych kopalin według Smakowskiego i Szamałka (2011). Zdefiniowali oni, że: „Złoża/obszary hipotetyczne (kategorii E) określa się wyłącznie na podstawie przesłanek geologicznych, pośrednich i bezpośrednich, np. dla różnych typów złóż rud metali w wydzielonych jednostkach geostrukturalnych lub formacjach skalnych. Z kolei złoża/obszary perspektywiczne (kategorii D<sub>2</sub>) typuje się na podstawie oznak występowania złóż, anomalii geochemicznych i geofizycznych bądź petrograficznych lub mineralogicznych wskaźników występowania kopalin” (Smakowski, Szamałek, 2011). Jednak jak podkreślają autorzy „dla wielu rodzajów kopalin i wyróżnionych dla nich typów złóż nie

można oszacować wielkości zasobów perspektywicznych, bowiem stwierdzone oznaki nie definiują dobrze podstawowych parametrów geologiczno-górnicznych, jak miąższość, powierzchnia etc.” (op. cit.).

Obecnie obowiązujące kryteria bilansowości dla wietrzeniowych rud niklu zostały wprowadzone Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 18 grudnia 2001 r. (tab. 1). Kryteria te zakładają m.in. minimalną zawartość niklu w próbce konturującej złoża 0,5%. Policzone w ubiegłym stuleciu zasoby rud wietrzeniowych Ni w Polsce nie zostały zweryfikowane według kryteriów z 2001 r. Wydaje się, że i te kryteria wymagają pewnej weryfikacji, ponieważ ceny rynkowe niklu są znacznie wyższe w porównaniu z 2001 r. Zasoby bilansowe rud wietrzeniowych niklu (tab. 2) były obliczone według starych kryteriów bilansowości, które zakładały m.in.: zawartość Ni w złożu  $\geq 0,7\%$ , minimalną miąższość złoża 1 m oraz stosunek miąższości nadkładu do rudy w złożu 2:1.

Tabela 1

### Kryteria bilansowości dla złóż rud niklu wietrzeniowych w Polsce (wg Rozp. Min. Środ. z 18.12.2001 r.)

The balance criteria for Nickel deposits of the weathering type in Poland (acc. to Rozp. Min. Środ. z 18.12.2001 r.)

Złoża rud niklu (wietrzeniowe)		
Parametr	Jednostka	Wartość brzeżna
Maksymalna głębokość dokumentowania	m	100
Minimalna zawartość niklu (Ni) w próbce konturującej złoża	%	0,5
Minimalna średnia ważona zawartość niklu (Ni) w profilu złoża wraz z przerostami	%	0,5 (0,3)*
Minimalna zasobność złoża (Ni)	kg/m <sup>2</sup>	30

\* wartość pozabilansowa / subbalance value

Tabela 2

### Udokumentowane zasoby złożowe rud niklu oraz niklu współwystępującego w rudach miedzi na monoklinie przedsudeckiej (wg Bilans zasobów..., 2011)

Documented nickel resources in Ni deposits and nickel as by-product coexisting in copper ores in the Kupferschiefer deposits on the Fore-Sudetic monocline (acc. to Bilans zasobów..., 2011)

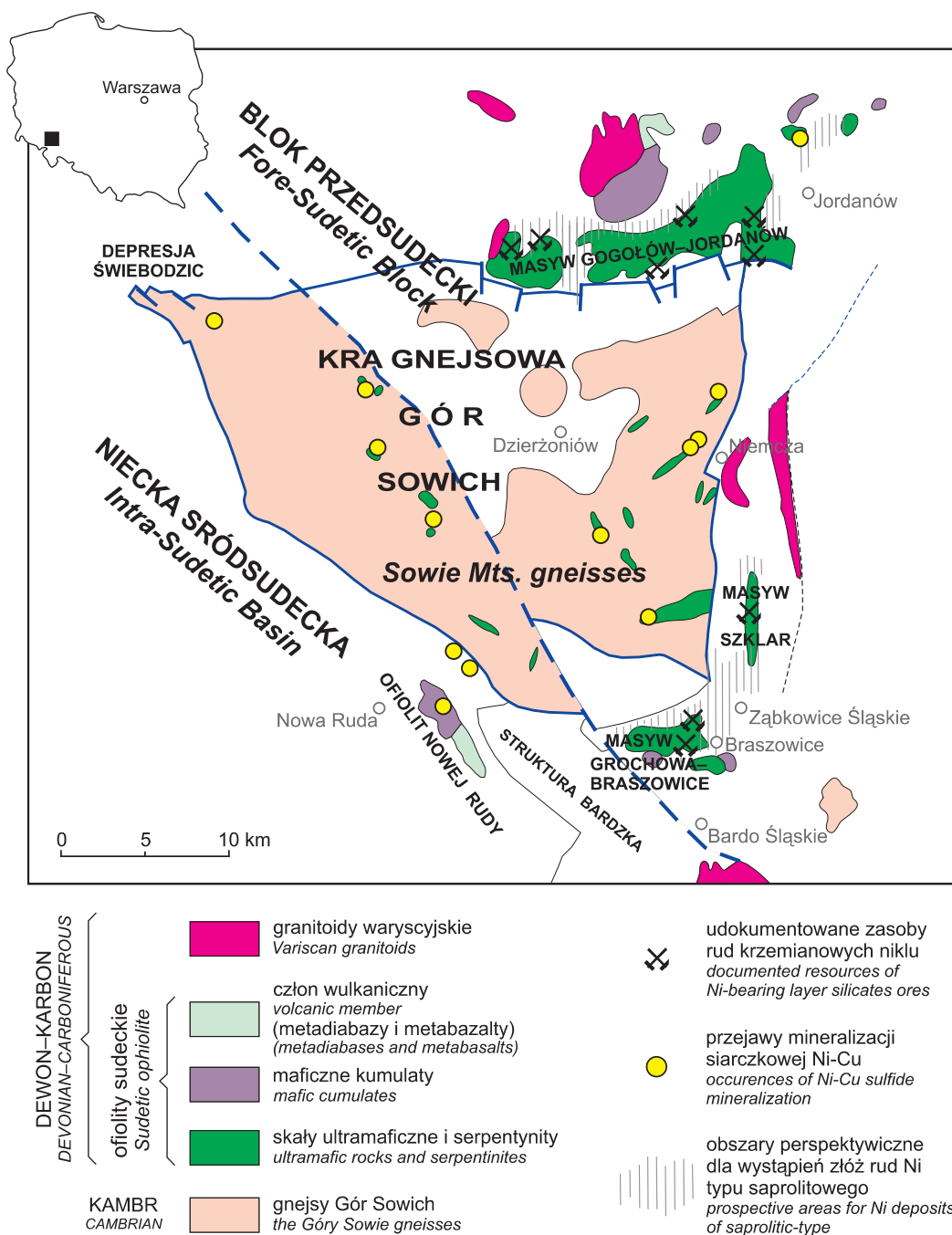
Złoża udokumentowane niklu		
Złoża Ni	Ruda [mln Mg]	Nikiel metaliczny [tys. Mg]
Szklary-Szklana Góra	7 976	64
Szklary-Wzgórze Siodłowe	4 975	38
Szklary-Wzgórze Koźmickie	1 693	15
Grochów	pozabilansowe*	–
W sumie	14 644	117
Nikiel współwystępujący w rudach miedzi		
Złoża Cu	Nikiel metaliczny [tys. Mg]	
Głogów Głęboki Przemysłowy	15,46	
Lubin-Małomice	14,95	
Rudna	9,54	
Retków	7,98	
Bytom Odrzański	6,20	
Gaworzyce	1,73	
Radwanice-Zachód	0,30	
Głogów	pozabilansowe*	
W sumie	56,16	

\* subbalance value

## RUDY KRZEMIANOWE NIKLU NA BLOKU PRZEDSUDECKIM

Złoża rud krzemianowych niklu typu wietrzeniowego związane są z paleozoicznymi masywami zserpentynizowanych skał zasadowych i ultrasasadowych. Masywy te wchodziły w skład górnodońskiego kompleksu ofiolitowego otaczającej blok sowiogórski (fig. 1). Dolne człony kompleksu ofiolitowego – perydotyty i ultramaficzne kumulaty były przedmiotem intensywnej serpentynizacji związanej z górnokarbońskimi intruzjami granitoidów (Majerowicz, 1979).

czającej blok sowiogórski (fig. 1). Dolne człony kompleksu ofiolitowego – perydotyty i ultramaficzne kumulaty były przedmiotem intensywnej serpentynizacji związanej z górnokarbońskimi intruzjami granitoidów (Majerowicz, 1979).



**Fig. 1. Lokalizacja obszarów perspektywicznych dla wystąpień krzemianowych rud niklu wraz z udokumentowanymi wietrzeniowymi rudami Ni (typ saprolitowy) oraz przejawami magmowych mineralizacji siarczkowych Ni-Cu wokół masywu gnejsowego Gór Sowich**

Location of the prospective areas for the Ni-bearing layer silicate ores together with documented Ni deposits of weathered (saprolitic) type and with occurrences of Ni-Cu magmatic sulfides around the Sowie Mts. gneisses massif

W kenozoiku (paleocen–miocen) serpentynity podległy intensywnemu i długiemu wietrzeniu, które doprowadziło do powstania krzemianowych rud niklu (Niśkiewicz, 1967).

Główne zasoby rud wietrzeniowych niklu związane są z masywem Szklar usytuowanym na wschód od kry sowiogórskiej, reprezentującym dolny człon kompleksu ofiolitowego (Majerowicz, 1979; Majerowicz, Mierzejewski, 1995). Masyw ten tworzy kilka odizolowanych wzgórz rozciągających się południkowo, które odsłaniają się na długości około 5 km i szerokości 1 km.

Eksploatację rud krzemianowych w Szklarach podjęto już w końcu XIX w. Jednak znaczniejszy wzrost wydobycia nastąpił wraz z uruchomieniem eksploatacji odkrywkowej, w czasie od I wojny światowej. W okresie po II wojnie światowej, w 1950 r. kopalnia i huta Szklary zostały ponownie uruchomione. Od początku lat sześćdziesiątych do końca lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku prowadzono intensywne prace wiertnicze (>450 otworów), w wyniku których udokumentowane zostały nowe zasoby rud niklu w rejonie Szklar (Birecki i in., 1962; Gawrońska, 1963; Preidl, 1965; Preidl, Kluza, 1978; Wirth, Golczak, 1987).

Ruda niklu typu saprolitowego występuje w zwietrzelinie skał serpentynitowych w formie gniazd, kieszeni, żył i soczewek rozmieszczonych nieregularnie wzdłuż stref spękań i uskoków w masywie. Zwietrzelina ma zmienną miąższość od kilku do ponad 100 m, przeciętnie około 40 m (Niśkiewicz, 1967; fig. 2). Stopień wzbogacenia zwietrzliny w minerały nikłonośne jest bardzo zmienny i na ogół uzależniony od miąższości strefy zwietrzenia. Ruda niklu zawiera

zmiennie koncentracje metalu w zakresie od 0,7 do kilku procent Ni w zwietrzelinie (fig. 3A, B). Bogate rudy występują głównie w przyspągowych partiach złoża, tam gdzie miąższość zwietrzliny jest największa (Mikulski, 1999). Minerale rudy są uwodnione krzemiany nikłowo-magnezowe, takie jak pimelit (17–31% NiO) i schuchardtyt (5–20% NiO) oraz montrimylozonit nikłowy, sepiolit i wermikulit, które zawierają do kilku procent tlenu niklu (Ostrowicki, 1965; Dubińska i in., 2000).

W złożu niklu Szklary stan zasobów rud niklu nie uległ zmianie od momentu zakończenia wydobycia w 1983 r. Roczna produkcja niklu ze złoża w Szklarach w latach 1955–1982 była na poziomie od 0,8 do 1,33 tys. Mg niklu metalicznego. Bilansowe zasoby geologiczne tego złoża rozpoznane w kategoriach B i C<sub>1</sub> wynoszą 14,64 mln Mg rudy i 117,0 tys. Mg metalu (średnia zawartość 0,8% Ni; Bilans zasobów..., 2011). Powodem zaniechania eksploatacji złoża w Szklarach były aspekty ochrony środowiska oraz wysoka energochłonność procesu metalurgicznego. Obecnie złożo jest objęte dwiema koncesjami poszukiwawczymi. Prowadzone są tam prace wiertnicze zmierzające do weryfikacji zasobów oraz testy metalurgiczne dla opracowania nowoczesnej technologii odzysku niklu, również z uboższych partii rud (<0,5% Ni).

W ubiegłym stuleciu, oprócz złoża w Szklarach, zostały rozpoznane również nikłonośne zwietrzliny serpentynitowe na innych masywach (Braszowice–Brzeźnica i Gogołów–Jordanów) w rejonie Grochowej–Braszowic, Wir–Gogołowa i Słupicy (fig. 1).

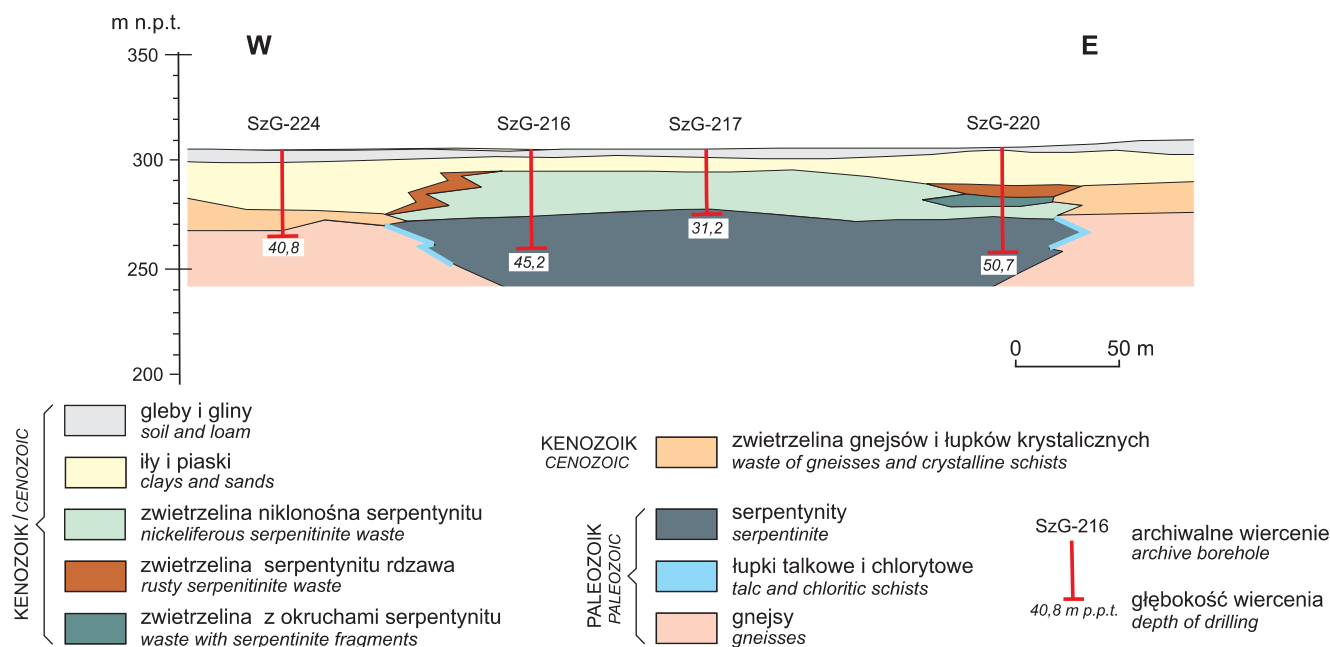


Fig. 2. Schematyczny przekrój geologiczny przez złożo Siodłowe Wzgórze w Szklarach (wg Gawrońskiej, 1963, zmieniony)

Schematic geological section across the Siodłowe Wzgórze Ni deposit in Szklary (after Gawrońska, 1963, modified)

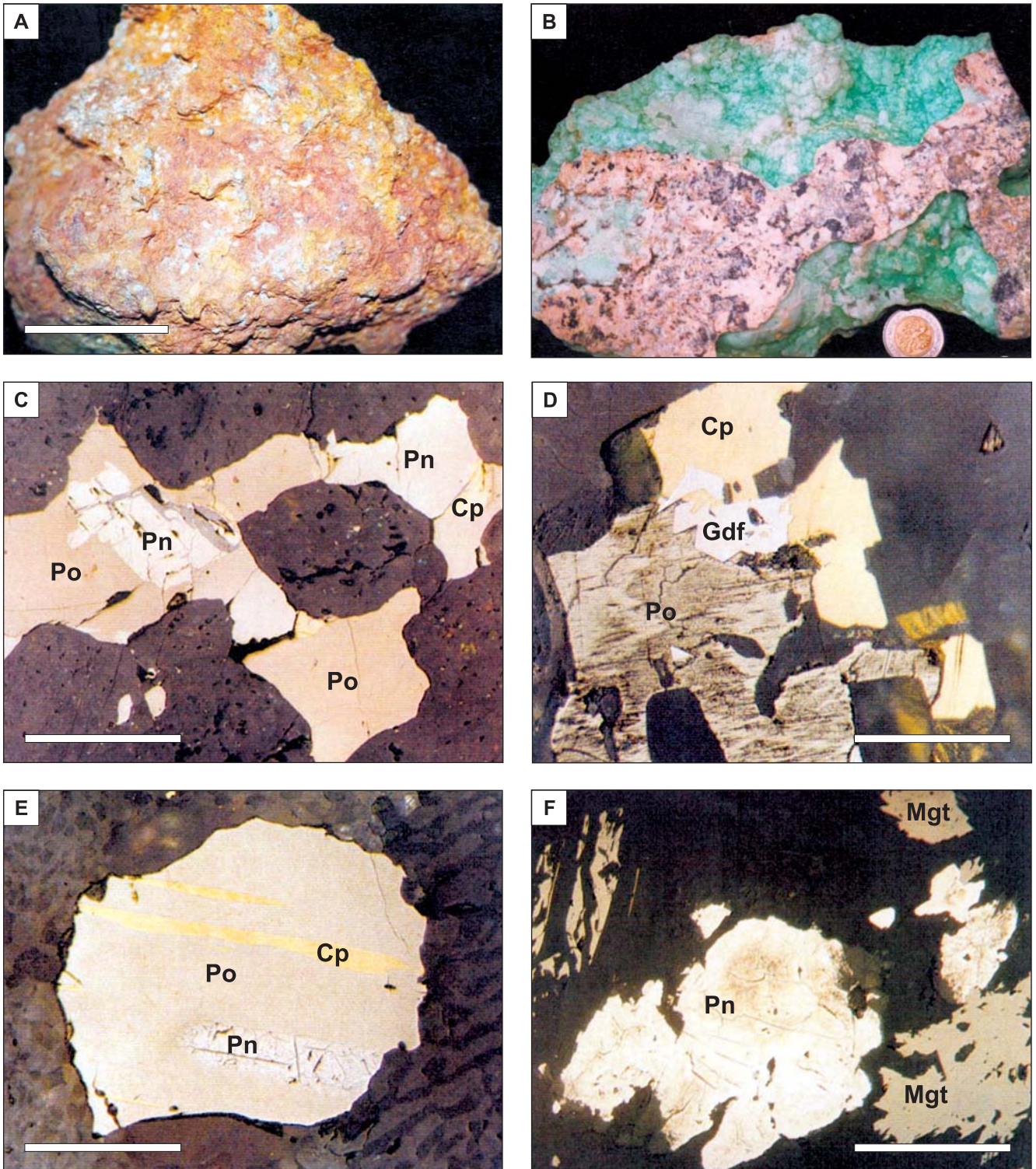


Fig. 3. A – typowa rdzawa ruda niklu ze złoża Szklary, skala 2 cm; B – chryzopraz ze złoża rud niklu w Szklarach; C – pentlandyt (Pn) zastępowany przez magnetyt (szary) w pirotytnie (Po) i chalkopirycie (Cp), blok gnejsowy Gór Sowich, skala 100  $\mu\text{m}$ ; D – pirotytn (Po) i chalkopiryt (Cp) przerastające się z gersdorfitem (Gdf), blok gnejsowy Gór Sowich, skala 50  $\mu\text{m}$ ; E – przerosty pirotytnu (Po), chalkopiryty (Cp) i pentlandytu (Pn), blok gnejsowy Gór Sowich, skala 20  $\mu\text{m}$ ; F – pentlandyt (Pn) zastępowany przez millerit i bravoit (brązowawy) w asocjacji z magnetytem (Mgt), blok gnejsowy Gór Sowich, skala 50  $\mu\text{m}$

A – Ni-bearing “rusty” ore from the Szklary Ni saprolitic deposit. Scale bar 2 cm; B – chrysoprase from Szklary abandoned Ni deposit; C – pentlandite (Pn) replaced by magnetite (gray) in pyrrhotite (Po) and chalcopyrite (Cp), the Sowie Mts. gneisses block, scale bar 100  $\mu\text{m}$ ; D – pyrrhotite (Po) and chalcopyrite (Cp) intergrowths with gersdorffite (Gdf), the Sowie Mts. gneisses block, scale bar 50  $\mu\text{m}$ ; E – pyrrhotite (Po) and chalcopyrite (Cp) and pentlandite (Pn) intergrowths, the Sowie Mts. gneisses block, scale bar 20  $\mu\text{m}$ ; F – pentlandite (Pn) replaced by millerite and bravoite (brownish) in association with magnetite (Mgt), the Sowie Mts. gneisses block, scale bar 50  $\mu\text{m}$

Na podstawie przeprowadzonych w latach 60. XX wieku prac dokumentacyjnych złoża magnezytu w Braszowicach stwierdzono tam również niklonośną rudę w formie gniazd, wypełniającą stosunkowo regularne zagłębienia w zwietrzelinie serpentynitowej (Gajewski, 1974). W strefach o większej miąższości zwietrzliny (ok. 25 m) wydzielono obszary o zawartości niklu  $>0,5\%$  (maks.  $>3\%$  Ni). Jednak według obowiązujących kryteriów bilansowości w złożu Grochów czy Gogołów–Wiry występują jedynie pozabilansowe rudy niklu o zasobach około 25 tys. Mg, które można uznać za prognostyczne (Wołkowicz i in., red., 2011).

W rejonie Wir–Gogołowa niklonośna zwietrzelina rozwinęła się na masywie serpentynitowym, bezpośrednio kontaktującym z intruzją granitów masywu Strzegom–Sobótka. Niewielkie pozabilansowe (prognostyczne) koncentracje rud krzemianowych udokumentowano w rejonie kopalni magnezytu w Wirach (Fedak, Niškiewicz, 1979).

W rejonie Słupicy w południowej części masywu Gogołów–Jordanów zwietrzelina niklonośna jest znacznie uboższa, o średniej zawartości około  $0,35\%$  Ni.

Podsumowując, można oczekiwać przyrostu zasobów perspektywicznych niklu w obszarze wystąpień kenozoicznych powłok zwietrzelinowych na masywach serpentynitowych na bloku przedsudeckim. Przyrost ten jest możliwy zarówno przez odkrycie nowych zasobów rud Ni w obszarach dotychczas nie objętych poszukiwaniami, jak i przez zmianę dotychczasowych kryteriów bilansowości. Czynnikiem sprzyjającym poszukiwaniu niklu jest znaczny wzrost cen tego metalu oraz wypracowanie nowoczesnych technologii zwiększających opłacalność jego odzysku, również z uboższych partii rud wietrzeniowych. Niewątpliwie czynnikami negatywnymi będą wysokie opłaty za wytwarzanie odpadów i korzystanie ze środowiska oraz z reguły negatywny stosunek lokalnych społeczności dla inwestycji górniczych. Jednak jak wykazała dotychczasowa praktyka odpady ze złoża w Szklarach zostały zagospodarowane przy budowie lub utwardzaniu dróg.

Obowiązujące w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku kryteria bilansowości dla zwietrzelinowych rud niklu w Polsce zakładały m.in.: zawartość Ni  $\geq 0,7\%$ , minimalną miąższość złoża 1 m oraz stosunek miąższości nadkładu do

złoża 2:1. Podane powyżej kryteria wymagają ponownego zdefiniowania dla bilansowych koncentracji niklu.

Poszukiwania rud wietrzeniowych niklu za pomocą nowoczesnych badań geofizycznych oraz płytkich wierceń powinny skoncentrować się na obszarach wystąpień kenozoicznych pokryw zwietrzelinowych rozwiniętych na masywach serpentynitowych zlokalizowanych wokół sowiogórskiej kry gnejsowej. Za najbardziej perspektywiczne dla wystąpień krzemianowych rud niklu należy uznać następujące obszary:

- na południowy-zachód od Szklar w kierunku Braszowic (badania geofizyczne potwierdziły obecność skał zasadowych i ultrazasadowych pod utworami kenozoicznymi),
- na północ od Szklar w kierunku Przerzeczyna Zdroju (kontynuacja ofiolitu Szklar),
- na południowy-zachód od wzgórza Braszowice,
- południowe zbocza wzgórza Grochowej,
- w północno-zachodniej części pokrywy zwietrzelinowej masywu serpentynitowego Gogołów–Jordanów w rejonie Wirek,
- w południowym obrzeżeniu masywu Gogołów–Jordanów w rejonie Słupicy.

W tym ostatnim obszarze, ze względu na niewystarczającą siatkę wierceń, obraz rozmieszczenia rud wietrzeniowych Ni jest niepełny.

Podsumowując, we wszystkich wymienionych powyżej obszarach zasoby perspektywiczne krzemianowych rud niklu są niewielkie, gdyż mogą wynosić od kilku do kilkunastu tysięcy ton Ni. Rudy niklonośne, występują w odizolowanych gniazdach na powierzchniach od kilku do kilkunastu ha.

W obecnych czasach, gdy ceny niklu są wysokie oraz istnieją efektywne technologie przeróbki ubogich rud wietrzeniowych, należy brać pod uwagę koncentracje tego metalu w zwietrzelinie na poziomie już około  $0,4\text{--}0,5\%$  Ni (Mikulski, 1999). To stwarza coraz większe możliwości zagospodarowania rud niklu uważanych dotychczas za pozabilansowe, które występują w zwietrzelinach serpentynitowych wokół bloku gnejsowego Gór Sowich. Wszystkie te pozabilansowe wystąpienia, zgodnie z kryteriami przyjętymi w Bilansie perspektywicznych zasobów... (Wołkowicz i in., red., 2011), należy uznać za prognostyczne.

## PERSPEKTYWY WYSTĄPIEŃ MAGMOWYCH RUD SIARCZKOWYCH NIKLU W OFIOLICIE SUDECKIM

Rozważając zasoby hipotetyczne niklu, należy wziąć pod uwagę możliwość jego wystąpień w postaci magmowych mineralizacji siarczków niklu (i miedzi) w partiach dolnego członu ofiolitowego składającego się ze skał zasadowych i ultrazasadowych. Wiąże się to z koniecznością przeprowadzenia wierceń penetrujących wglębną część skał ofiolitowych zlokalizowanych wokół gnejsowej kry sowiogórskiej (fig. 1).

Złoża siarczkowe w skałach zasadowych i ultrazasadowych (typ Sudbury, Voisey's Bay, Norylsk i in.) mają pod-

stawowe znaczenie wśród siarczkowych rud niklu (Gruszczak i in., 1984; Naldrett, 2004). Rudy siarczkowe typu Ni-Cu z kobaltem i innymi siarczkami zawierają  $>1,5\%$  Ni i  $>1\%$  Cu. Stwierdzone dotychczas w Sudetach liczne przejawy mineralizacji siarczkowej Cu-Ni, napotkane w maficznych skałach bloku sowiogórskiego, nie wykazały koncentracji siarczków na poziomie zawartości około  $1\%$  Ni (Fedak, 1963; Ciemniwska i in., 1981). Jednak obecność przejawów potwierdzają również anomalie hydrochemiczne

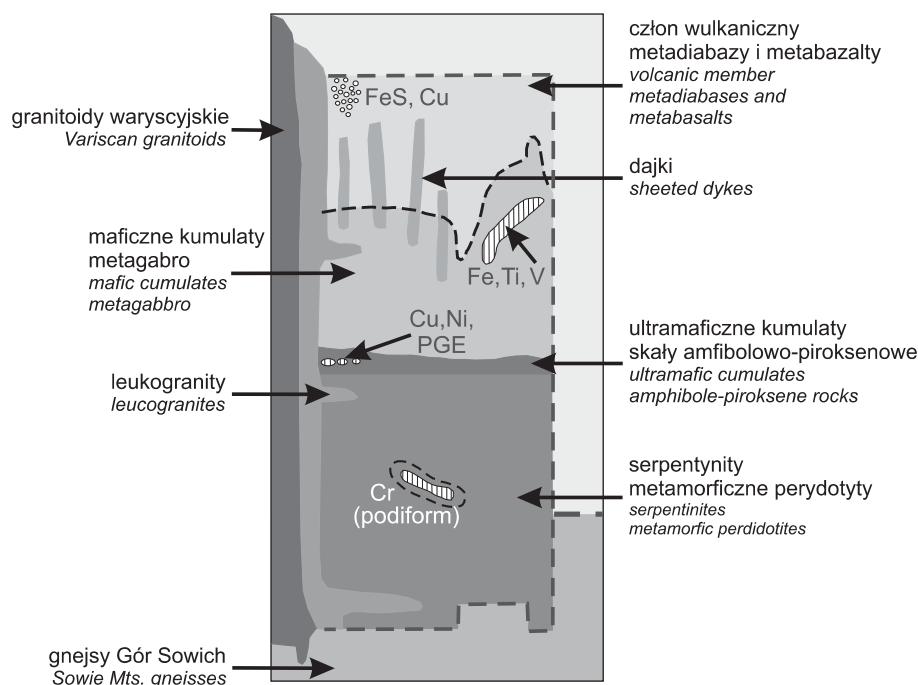
i chemiczne zarówno w północnej, jak i południowej osłonie gnejsów sowiogórskich (Kerber, 1963; Kerber i in., 1965).

W północnym obrzeżeniu bloku sowiogórskiego w Masywie Gogołów–Jordanów, rozpoznano ofiolit reprezentowany przez zserpentyinizowane perydotyty, ultramaficzne i maficzne kumulaty (metagabra, metadiabazy i metabazalty) interpretowane jako dolny człon kompleksu (fig. 4; Majerowicz, 1979; Majerowicz, Pin, 1994). W metagabrach stwierdzone tu zostały przejawy rozproszonej mineralizacji siarczkowej z niklem [pentlandyt –  $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$ ] oraz minerały Ni z platynowcami w silnie zserpentyinizowanych perydotytach z Nasławic (Muszer, Speczik, 1997). Dotychczas jednak nie znaleziono rudnych koncentracji siarczków niklu, a jedynie rozproszoną mineralizację głównie z pentlandytem, pirotynem (FeS) i chalkopirytem ( $\text{CuFeS}_2$ ). Podobnie jak w kilku wystąpieniach skał ultrazasadowych w obrębie gnejsów sowiogórskich. Napotkano tu również przejawy mineralizacji siarczkowej Fe-Ni-Cu (fig. 1), reprezentowane głównie przez pirotyt, pentlandyt, chalkopiryt, arsenopiryt ( $\text{FeAsS}$ ), gersdorffit ( $\text{NiAsS}$ ) i chloantyt ( $\text{NiAs}_3$ ) (fig. 3C–F; Olszyński i in., 2001). Cechy petrologiczne skał ultramaficznych wskazują na ich podobieństwo do ultramafitów występujących w dolnym członie ofiolitu sudeckiego (Gunia, 1992).

Dwa masywy ofiolitowe – Braszowic–Brzeźnicy i Nowej Rudy są zlokalizowane w południowym obrzeżeniu Gór Sowich (fig. 1; Jamrozik, 1981; Dziedzic, 1989). Pierwszy z tych masywów reprezentowany jest w swej zachodniej części przez dolny człon ofiolitowej sekwencji, a w części wschodniej przez maficzne kumulaty. Drugi masyw zbudowany jest z maficznych kumulatów oraz skał wulkanicznych. Jedynie w tym obszarze nie stwierdzono zserpentyinizowanych perydotytów, ale istnieją przesłanki dla nagromadzeń magmowych rud siarczkowych Ni-Cu typu likwacyjnego w obydwu ofiolitach.

Badania geofizyczne i wiercenia wykazały, że skały ofiolitowe zalegają również pod jednostką gnejsową Gór Sowich oraz w północnej części bloku przedsudeckiego, co stwarza nadzieję na możliwość wystąpień rud siarczkowych Ni-Cu w głębszych partiach ofiolitu sudeckiego. Siarczkowa mineralizacja Ni-Cu(-PGE) jest najczęściej związana z wystąpieniami ultrazasadowych kumulatów sekwencji ofiolitowej (Olszyński i in., 2001).

Ponadto w Sudetach, pewne koncentracje niklu w formie siarczkowej zostały stwierdzone w rudach polimetalicznych z niewielkich złóż żyłowych (np. Czarnów, Kowary czy Chełmiec), jednak obecnie mają one znaczenie tylko metalogeniczne.



**Fig. 4. Schematyczny profil litostratygraficzny przez ofiolitowy kompleks Gogołów–Jordanów (Majerowicz, Pin, 1994, zmieniony)**

Schematic lithostratigraphic scheme of the Gogołów–Jordanów ophiolitic complex (Majerowicz, Pin, 1994, modified)

## NIKIEL JAKO PIERWIASTEK WSPÓLWYSTĘPUJĄCY W CECHSZTYŃSKICH RUDACH MIEDZI NA MONOKLINIE PRZEDSUDECKIEJ

Nikiel jest metalem współwystępującym w złożach rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej i w niecce północno-sudeckiej. Nikiel koncentruje się wraz z siarczkami Cu-Fe-S w cechsztyńskich łupkach (tzw. smolistych) oraz w stropowych partiach piaskowca serii miedzionośnej, głównie w postaci siarkosoli i arsenków (Kijewski, Jarosz, 1987). Na monoklinie przedsudeckiej najczęściej notowanymi jego minerałami są gersdorffit, rammelsbergit ( $\text{NiAs}_2$ ) i nikielin ( $\text{NiAs}$ ) (Piestrzyński, 2007). Ponadto nikiel stwierdzony został w postaci domieszek, głównie w pirycie (do 6% wag.) i melnikowicie oraz w substancji organicznej (do 1,22% Ni) (Kijewski, Jarosz, 1987; Kucha 1990; Banaś i in., 2007). Średnia zawartość niklu w złożach rud miedzi wynosi 50,9 g/Mg (Kijewski, Jarosz, 1987). Jednak jego średnie koncentracje w poszczególnych typach rud wahają się od 28,6 g/Mg w piaskowcach, poprzez 37,9 g/Mg w rudach wę-

glanowych, do 164,4 g/Mg w rudach łupkowych (Spalińska i in., 2007). Najwyższe koncentracje niklu stwierdzono w pojedynczych próbkach rudy łupkowej w kopalni Lubin – do około 0,2% (Kijewski, Jarosz, 1987; Banaś i in., 2007).

W 2006 r. zawartości niklu w nadawie rud miedzi wahały się w zakresie od 32 g/Mg (Rudna) do 56 g/Mg (Lubin) (Spalińska i in., 2007). W procesie technologicznym nikiel przechodzi do koncentratu miedzi, gdzie jego zawartości, w zależności od zakładu górniczego, w 2006 r. wyniosły od 292 g/Mg (Polkowice) do 459 g/Mg (Lubin) (*op. cit.*). W 2010 r. wydobyto 0,57 tys. Mg niklu metalicznego, z którego odzyskano w procesie przetwarzania rud siarczkowych około 2,378 tys. Mg siarczynu niklu. Szacunkowe zasoby niklu, jako pierwiastka współwystępującego w rudach siarczkowych miedzi, wynoszą obecnie około 56,16 tys. Mg (Bilans zasobów..., 2011).

### PODSUMOWANIE

Jedynym złożem niklu w Polsce o udokumentowanych zasobach jest złożo rud wietrzeniowych niklu w Szklarach. Jego eksploatację zaniechano w 1983 r., pomimo udokumentowanych około 117 tys. Mg niklu metalicznego (tab. 2; Bilans zasobów..., 2011). Zasoby tych rud powinny zostać zweryfikowane według obecnie obowiązujących kryteriów bilansowości (tab. 1). Obecnie obszar ten jest przedmiotem dwóch koncesji poszukiwawczych. Z obszarem Szklar, jak i z obszarami sąsiednimi, gdzie występują kenozoiczne pokrywy zwietrzelinowe na masywach serpentynitowych, należy wiązać nadzieje na występowanie niewielkich nagromadzeń rud Ni, które w obecnej sytuacji rynkowej mogą być potencjalnym przedmiotem eksploatacji (fig. 1, 2, 3A, B). Wysoka cena niklu oraz aplikacja metod chemicznego odzysku niklu ze zwietrzliny już przy koncentracjach około 0,4% Ni stwarzają możliwość ponownej produkcji niklu w Polsce z rud saprolitowych. Prace poszukiwawcze powinny objąć obszary wystąpień zwietrzelin serpentynitowych na masywach: Szklar, Braszowice–Brzeźnica i Gogołów–Jordanów. Pewnym ograniczeniem jest forma występowania rud wietrzeniowych Ni w postaci niewielkich i odizolowanych gniazd o małych zasobach Ni. Poszukiwania będą wymagały od inwestora(-ów) odkrycia wielu ciał rudnych rozrzuconych od siebie w odległości nawet do kilku kilometrów. Co utrudnia możliwość ich ewentualnego zagospodarowania.

Z przeprowadzonych szacunkowych obliczeń wynika, że zasoby prognostyczne rud niklu, występujących w zwietrzelinach serpentynitowych wokół bloku gnejsowego Gór Sowich na Dolnym Śląsku, wynoszą około 25 tys. Mg niklu metalicznego. Co więcej, udokumentowane w ubiegłym stu-

leciu niewielkie złoża pozabilansowych rud niklu występujące w złożach Grochów i Gogołów–Wirry na Dolnym Śląsku wymagają obecnie weryfikacji według nowych kryteriów bilansowości.

Ponadto, na bloku przedsudeckim istnieją przesłanki dla wystąpień hipotetycznych magmowych złóż Ni-Cu typu likwacyjnego związanych z wystąpieniami ultrazasadowych kumulatów sekwencji ofiolitowej w masywach Gogołów–Jordanów, Braszowice–Brzeźnica i Nowa Ruda (fig. 3C–F, 4). Poważnym ograniczeniem w prowadzeniu ewentualnych prac poszukiwawczych za masywnymi rudami siarczkowymi Ni-Cu typu likwacyjnego na Dolnym Śląsku jest występowanie chronionych obszarów środowiskowych, w tym NATURA 2000, oraz ich zalesienie.

Obecnie w Polsce nikiel w postaci siarczynu niklu jest odzyskiwany w KGHM Polska Miedź sp. z o.o. w ilości ponad 2 tys. Mg rocznie, w procesie przeróbki siarczkowych rud Cu-Ag na monoklinie przedsudeckiej. Dlatego w wyniku udokumentowania nowych zasobów rud miedzi należy również oczekiwać przyrostu zasobów niklu, jako pierwiastka współwystępującego w tych złożach.

**Podziękowanie.** Autor serdecznie dziękuje Prof. Andrzejowi Paulo za wnikliwą recenzję pierwotnej wersji artykułu.

*Material opracowano w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym, na zlecenie Departamentu Geologii i Koncesji Geologicznych Ministerstwa Środowiska, w ramach projektu badawczego sfinansowanego ze środków NFOŚiGW.*



## LITERATURA

- BANAŚ M., KIJEWSKI P., SALAMON W., PIECZONKA J., PIESTRZYŃSKI A., 2007 — Pierwiastki towarzyszące w złożu rud miedzi – kobalt, nikiel: s. 223 *W: Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. A. Piestrzyński, A. Banaszak, M. Zaleska-Kuczmerczyk). Allexim sp. z o.o., Wrocław.*
- BILANS ZASOBÓW kopalini wód podziemnych w Polsce, stan na 31.12.2010 (red. M. Szufficki, A. Malon, M. Tymiński), 2011. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- BIRECKI T., BOJARSKI R., GAWROŃSKA Z., 1962 — Dokumentacja geologiczna złoża rud niklu „Szklary” obszar Szklana Góra w kat. B+C<sub>1</sub>. Krakowskie Przedz. Geol. Sur. Hutniczych.
- DUBIŃSKA E., SAKHAROV B.A., KAPROŃ G., BYLIŃA P., KOZUBOWSKI J.A., 2000 — Layer silicates from Szklary (Lower Silesia): from ocean floor metamorphism to continental chemical weathering. *Geol. Sudet.*, 33, 2: 85–105.
- CIEMNIEWSKA M., CZEMIER-KOWALSKA M., LINDNER M., SAŁACIŃSKI R., 1981 — Ultramafity Masywu Gogołów-Jordanów i ich prognozy surowcowe. *Biul. Inst. Geol.*, 330, 5: 89–135.
- DZIEDZIC H., 1989 — Gabra Braszowic jako człon waryscyjskiego kompleksu ofiolitowego. *Acta Univ. Wratislav.* 1113 *Pr. Geol.-Miner.*, 17: 57–79.
- FEDAK J., 1963 — Perspektywy nikłoności sudeckich intruzji zasadowych. *Prz. Geol.*, 11, 4: 189–191.
- FEDAK J., NIŚKIEWICZ J., 1979 — Rudy niklu. *W: Surowce mineralne Dolnego Śląska (red. K. Dziedzic i in.): 136–142. Ossolineum, Wrocław.*
- GAJEWSKI Z., 1974 — Masyw serpentynitowy Grochowa–Braszowice oraz jego znaczenie surowcowe. *Biul. Inst. Geol.*, 280: 49–78.
- GAWROŃSKA Z., 1963 — Dokumentacja geologiczna złoża rud niklu w Szklarach – obszar Siodłowe Wzgórze. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- GRUSZCZYK H., OSIKA R., SMAKOWSKI T., 1984 — Nikiel – Ni złoża. *W: Surowce mineralne świata. Tom Ni–Co (red. A. Bolewski). Wyd. Geol., Warszawa.*
- GUNIA P., 1992 — Petrologia skał ultrazasadowych z masywu Braszowic–Brzeźnicy (blok przedsudecki). *Geol. Sudet.*, 26.
- JAMROZIK L., 1981 — Tectonic position of ultrabasic-basic massif surrounding the Góry Sowie Mts. Block. *W: Ophiolites and initialites of northern border of the Bohemian massif (red. W. Narebski): 86–95. Guidebook of excursions. May–June 1981. 2. Potsdam-Freiberg.*
- KERBER B., 1963 — Wstępne wyniki prac hydrochemicznych przeprowadzonych w rejonie Strzegom–Sobótka i w okolicy Nowej Rudy. *Prz. Geol.*, 11, 4: 187–188.
- KERBER B., SERAFIN-RADLICZ J., CIEMNIEWSKA M., 1965 — Poszukiwania niklu metodą metalometryczną w rejonie Nowej Rudy. *Biul. Inst. Geol.*, 205, 6: 139–155.
- KIJEWSKI P., JAROSZ J., 1987 — Mineralizacja kruszcowa i formy występowania pierwiastków towarzyszących w złożu rudy miedzi. *W: Metale towarzyszące w złożu rud miedzi, stan badań i perspektywy dalszego ich wykorzystania (red. P. Kijewski): 21–47. Cuprum, Wrocław.*
- KUCHA H., 1990 — Geochemistry of the Kupferschiefer, Poland. *Geol. Rundschau*, 79, 2: 387–399.
- MAJEROWICZ A., 1979 — Grupa górna Śląży a współczesne problemy petrologiczne ofiolitów. *W: Mat. Konf. teren. Nowa Ruda, 8–9.09.79: 9–34. Wyd. Uniw. Wrocław., Wrocław.*
- MAJEROWICZ A., MIERZEJEWSKI M., 1995 — Wycieczka A. Petrologia, pozycja tektoniczna i geotektoniczna skał krystalicznych NE i SE osłony masywu granitoidowego Strzegom–Sobótka. Przewodnik 46 Zjazdu PTG. Geologia i ochrona środowiska bloku przedsudeckiego: 59–84. Wrocław 21–24.IX.1995 r.
- MAJEROWICZ A., PIN CH., 1994 — The main petrological problem of the Mt. Ślęza ophiolite complex, Sudetes, Poland. *Zbl. Geol., Paleont., Teil 2*, 9/10: 989–1018.
- MIKULSKI S.Z., 1999 — Nickel potential in the Fore-Sudetic Block, southwest Poland: 84. *W: GAC-MAC Joint Annual Meeting, Sudbury, 26–28 May 1999. Abstract Vol. 24.*
- MIKULSKI S.Z., 2011 — Rudy niklu: 107–109. *W: Bilans perspektywicznych zasobów kopalini Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (red. S. Wołkowicz i in.). Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.*
- MUSZER A., SPECZIK S., 1997 — Związek okruszcowania Ni-Sb z PGE w serpentynitach z Nasławic (ofiolit Śląży). *Prz. Geol.*, 45: 282–286.
- NALDRETT A.J., 2004 — Magmatic sulfide deposits: geology, geochemistry and exploration. Springer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- NIŚKIEWICZ J., 1967 — Budowa geologiczna Masywu Szklar (Dolny Śląsk). *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 37, 3.
- OLSZYŃSKI W., MIKULSKI S.Z., SPECZIK S., 2001 — Deposits and ore mineralization associated with Ophiolite Complexes in the Sudetes Mts. (Poland). *W: Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century (red. A. Piestrzyński i in.): 615–618. A.A. Balkema. Lisse, The Netherlands.*
- OSTROWICKI B., 1965 — Minerale niklu strefy wietrzenia serpentynitów w Szklarach (Dolny Śląsk). *Pr. Miner. Komis. Nauk Miner. PAN*, 1.
- PIESTRZYŃSKI A., 2007 — Minerale niklu i kobaltu. *W: Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. A. Piestrzyński i in.): 194. Allexim sp. z o.o., Wrocław.*
- PREIDL M., 1965 — Dokumentacja geologiczna złoża rud niklu w Szklarach, obszar Wzgórze Koźmickie; Wzgórze Siodłowe. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- PREIDL M., KLUZA S., 1978 — Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża rud niklu Szklary, obszar Szklana Góra w kat. B+C<sub>1</sub>. Kombinat Geologiczny „Południe”, Zakład Projektów i Dokumentacji Geol. w Katowicach.
- ROZP. MIN. ŚROD. z 18.12.2001 r. w sprawie kryteriów bilansowości złóż kopalini. Dz.U. nr 153, poz. 1774.
- SPALIŃSKA B., STEC R., SZTABA K., 2007 — Miejsce i rola przeróbki rudy w kompleksie technologicznym KGHM Polska Miedź S.A.: 463–472. *W: Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II (red. A. Piestrzyński, A. Banaszak, M. Zaleska-Kuczmerczyk). Allexim sp. z o.o., Wrocław.*
- SMAKOWSKI T., SZAMAŁEK K., 2011 — Zasady określenia zasobów perspektywicznych kopalini. *W: Bilans perspektywicznych zasobów kopalini Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. (pod red. S. Wołkowicz i in.): 11–15. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.*
- WIRTH H., GOLCZAK I., 1987 — Dodatek nr 3 do dokumentacji geologicznej złoża rud niklu „Szklary” obszar Wzgórze Siodłowe w kat. B + C<sub>1</sub>. PG Wrocław.
- WOŁKOWICZ S., SMAKOWSKI T., SPECZIK S., 2011 — Bilans perspektywicznych zasobów kopalini Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.

## SUMMARY

The Szklary saprolitic-type Ni deposit in Lower Silesia is the only one nickel deposit in Poland. This deposit was abandoned in 1983, despite its balance resources documented at *ca.* 117 thousands Mg of metallic nickel according to the old balance criteria (Table 2). These Ni resources should be recalculated according to the currently valid criteria from 2001 (Table 1) or according to new criteria which should be updated soon. The Szklary deposit area is granted by 2 prospecting concessions, recently. The nickel prospective areas are located in the Szklary serpentinite massif and other serpentinite massifs in Lower Silesia where *in situ* Cenozoic wastes occur. In these areas we can expect numerous variably sized and separate Ni-bearing wastes of lens-like bodies, however with limited Ni reserves of saprolitic type Ni-bearing layer silicate ores (Figs. 1, 2, 3A, B). Currently, even poor such ores (*ca.* 0.4 Ni) can be subject of exploitation. However, not only the high price of nickel, but also very effective extraction processing are very important. Prospecting works should cover all areas in Lower Silesia where *in situ* serpentinite wastes are developed on ultramafic massifs (Szklary, Braszowice–Brzeźnica and Gogołów–Jordanów) (Fig. 1). The prospecting will require a recognition of numerous Ni-bearing serpentinite wastes that constitute separate bodies scattered from tens of me-

ters up to a few kilometers. It will cause difficulties during ores development of these ores. Estimated prognostic resources of Ni-ores in weathering serpentinite wastes around the Sowie Mts. block gneisses are *ca.* 25 thousands of Mg metallic nickel. Moreover, small Ni deposits such as Grochów and Gogołów–Wiry which were documented in the 1960s as deposits with subbalance nickel resources should be subject of current resource verification according to new balance criteria. Besides, in the Fore-Sudetic block there is strong evidence for the occurrence of hypothetical magmatic Ni-Cu ores related to ultramafic cumulates of the ophiolitic sequences in the Gogołów–Jordanów, Braszowice–Brzeźnica and Nowa Ruda massifs (Figs. 1, 3C–F, 4). However some limits during prospecting works for Ni-Cu magmatic type deposits in the Lower Silesia are highly expected due to environmental purpose such as the NATURA 2000 and dense forestry.

In Poland nickel originates from nickel sulfates (annual production is >2 thousands Mg) by KGHM Polska Miedź Sp. z o.o. during processing of Cu-Ag sulfide ores hosted by Zechstein sediments in the Fore-Sudetic monocline. That is why, during a new assessment of the Cu resources, we can expect an increase also in the resources of nickel as a coexisting element in the Kupferschiefer deposits.