

JERZY CABALA*

Jakość oraz wtórne zmiany chemizmu rud Zn-Pb w olkuskim rejonie złożowym

Słowa kluczowe

Rudy Zn-Pb, utlenianie siarczków, skład mineralny i chemiczny rud

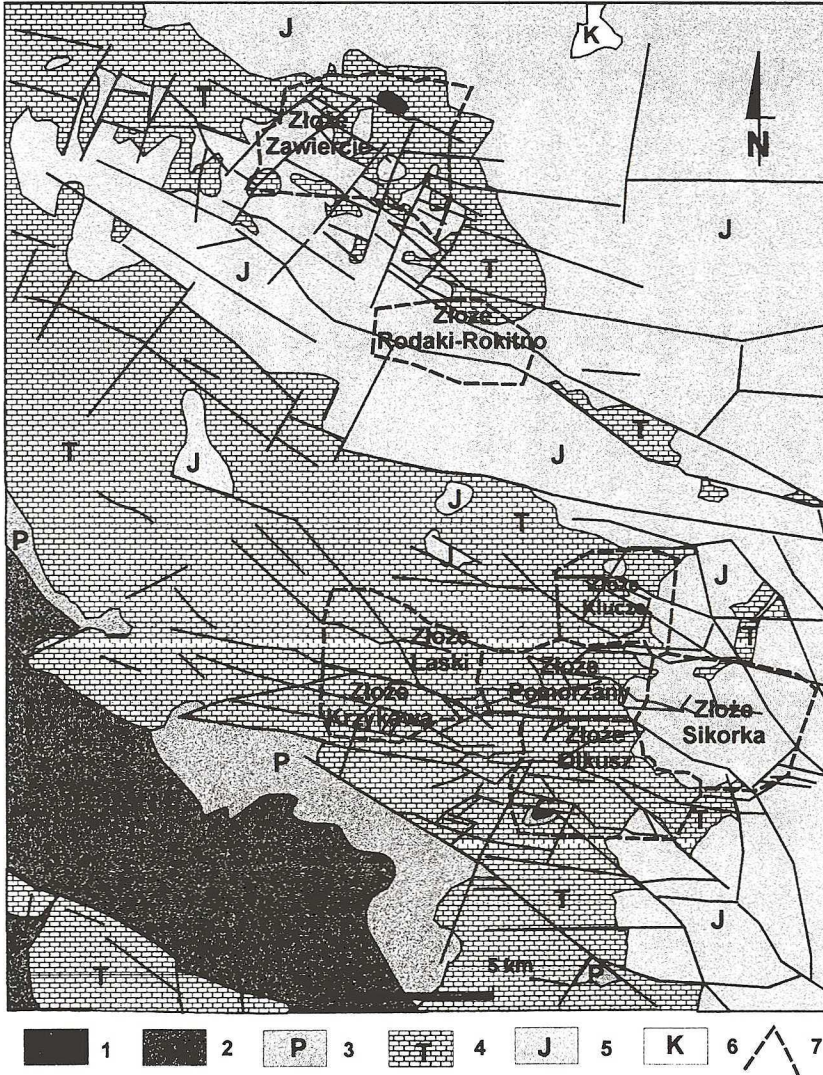
Streszczenie

Na podstawie danych z analiz pełnych prób rud cynkowo-ołowiowych pochodzących ze złóż rejonu olkusko-zawierciańskiego wykonano analizy geostatystyczne i określono najważniejsze prawidłowości zmian składu mineralnego i chemicznego rud. Otrzymane wyniki pozwoliły scharakteryzować najważniejsze czynniki wpływające w różnym stopniu na chemizm i mineralogię rud Zn-Pb. Scharakteryzowano występowanie stref okruszczonych w obszarach rowów i zrębów. Przedstawiono skład mineralny rud i zróżnicowanie zawartości głównych siarczków w poszczególnych złożach, zwrócono uwagę na znaczny udział galeny i cerusytu w rudach wschodniej, peryferycznej części rejonu olkuskiego. Obliczono współczynniki zmienności zawartości cynku i ołowiu i wskazano, że w złożach o przewadze siarczkowej mineralizacji kształt skumulowanych krzywych i charakterystyka zmienności jest inna aniżeli w złożach zawierających rudy utlenione lub znaczny udział mineralizacji ołowiowej. Wśród najważniejszych czynników wpływających na utlenienie siarczków opisano warunki występowania gniazd rudnych, zróżnicowanie mineralizacji w rowach i w zrębach, uwarunkowania hydrogeologiczne oraz znaczenie hipsografii horyzontów rudnych. Opisano zmienność stopnia utlenienia głównych siarczków w poszczególnych złożach, zwrócono uwagę na inny aniżeli w pozostałych złożach charakter zmienności utlenienia siarczków w Sikorce i Kluczach. Przeanalizowano stopień utlenienia siarczków ołowiu i wskazano najważniejsze przyczyny wzrostu zawartości cerusytu w rudach z Sikorki, Klucz i Olkusza. Dla utlenienia siarczków żelaza wykazano charakterystyczny, bezpośredni jego związek z głębokością zalegania złóż. Przedstawiono najważniejsze prawidłowości zmian jakościowych rud w olkuskim rejonie złożowym.

* Dr., Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec.

Wprowadzenie

Eksploatacja złóż cynkowo-olowiowych w rejonie olkuskim jest prowadzona od kilku wieków, jednak dopiero od lat siedemdziesiątych XX wieku, dzięki uruchomieniu obok istniejącej już kopalni Bolesław nowych kopalni Pomorzany i Olkusz, udostępniono znaczne zasoby rud za-
legające na większych głębokościach. Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat wyrobiska górni-



Rys. 1. Mapa występowania złóż Zn-Pb w rejonie olkusko-zawierciańskim
1 — dewon, 2 — karbon, 3 — perm, 4 — trias, 5 — jura, 6 — kreda, 7 — granice obszarów złóż

Fig. 1. Map of Zn-Pb ores in Olkusz and Zawiercie area
1 — Devonian, 2 — Carboniferous, 3 — Permian, 4 — Triassic, 5 — Jurassic, 6 — Cretaceous,
7 — Boundaries of ores

cze tych kopalń doszły do pierwotnie wyznaczonych granic złóż, czynna jest kopalnia Pomorzany, natomiast kopalnia Olkusz znajduje się już w stanie likwidacji. Dostępne górnictwo zasoby rud bilansowych umożliwiają prowadzenie eksploatacji jeszcze do 2008 roku (Socha, Wnuk 1998). W najbliższych latach zachodzi konieczność wykorzystania ostatniego okresu działalności kopalń celem rozpoznania prawidłowości i kierunków zmian składu mineralnego rudy, budowy złóż w peryferycznych częściach eksploatowanych złóż. Interesujące wyniki dotyczące zmian składu chemicznego rud i ich zalegania można otrzymać po przeprowadzeniu analiz geostatystycznych danych, uzyskanych w pracach poszukiwawczo-dokumentacyjnych, prowadzonych w rejonie olkusko-zawierciańskim (rys. 1) w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych. Wyniki badań pozwoliły na scharakteryzowanie najważniejszych czynników wpływających na zmiany składu chemicznego i mineralnego rud, określenie zawartości głównych metali oraz stopnia utlenienia siarczków w rudach. Określenie kierunków zmian składu mineralnego i chemicznego rud pozwala już na etapie rozpoznania prognozować podatność rud na flotację oraz określić możliwości uzyskania koncentratów odpowiedniej jakości.

1. Metody badań

Skład chemiczny rud w złożach nie objętych działalnością górnictwem został określony na podstawie analiz pełnych, wykonanych na próbach z otworów wiertniczych w okresie dokumentowania złóż przez Przedsiębiorstwo Geologiczne w Krakowie. Do analiz pełnych typowano próby o wysokiej (makroskopowo określonej) zawartości siarczków Zn-Pb, dlatego mogą się one cechować się nieco wyższymi od średnich dla złoża zawartościami cynku i ołowiu. Próby z wierceń obejmujące interwały okruszczone były pomniejszane i można je zakwalifikować do prób uśrednionych.

W celu określenia stopnia reprezentatywności średnich zawartości poszczególnych składników rudy obliczonych na podstawie analiz z otworów wiertniczych oraz bezpośredniego rozpoznania złoża wyrobiskami górnictwem (próby bruzdowe, chodnikowe) wykonano porównanie wyników otrzymanych na różnym stopniu rozpoznania w złożu Pomorzany. Porównanie zawartości głównych składników chemicznych rud uzyskanych na podstawie kilkuset analiz pełnych z wierceń oraz kilku tysięcy analiz z chodnikowych prób bruzdowych pozwala stwierdzić, że średnie zawartości dla podstawowych składników rud są zbliżone, a różnice nie przekraczają 30%. Średnie zawartości cynku, ołowiu, srebra i kadmu obliczone na podstawie analiz z otworów są tylko nieco wyższe aniżeli średnie obliczone z prób chodnikowych..

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na wskaźnikowe, ogólne określenie niektórych prawidłowości zmian chemizmu rud Zn-Pb.

Metodami statystycznymi (Cluster, Correlations, Factor, Frequency analysis), przeanalizowano rozkład zawartości pierwiastków podstawowych (cynk, ołów, żelazo), towarzyszących (kadm, srebro) oraz innych składników rud (krzemionka, tlenki glinu). W celu poznania jakości rud określono stopień utlenienia poszczególnych siarczków. Rudami utlenionymi nazwano rudy, w których stopień utlenienia siarczków cynku (UtZn) jest wyższy aniżeli 35%. Przeanalizowano zmiany stopnia dolomityzacji oraz głębokości zalegania rud w obszarach złóż, obliczono średni skład mineralny rud w złożach olkuskich.

2. Występowanie stref okruszczowanych

Zmienność okruszczowania siarczkami cynku, ołowiu i żelaza jest znaczna, można jednak w odpowiedniej skali wskazać prawidłowości rozmieszczenia mineralizacji w profilu pionowym i płaszczyźnie poziomej występowania złóż.

Analizując obraz złóż rejonu olkuskiego wyraźnie widzimy związek między bilansowymi koncentracjami metali a strukturami tektonicznymi, rowami i zrębami o przebiegu WNW-ESE, W-E rzadziej NW-SE. Najbogatsze części złóż o stosunkowo niskiej zmienności dla cynku, ołowiu i żelaza występują w centralnych częściach rowów tektonicznych.

Uskoki tektoniczne I rzędu stanowią ramy dla rowów i zrębów. Analiza geometrii sieci uskokuwej w obrębie rowów i zrębów pozwala stwierdzić, że występują w ich obszarze co najmniej cztery generacje uskoków, tworzące sieć tektoniczną o charakterze hierarchicznym (Cabała 1996a). Uskoki II i III rzędu najczęściej są epigenetyczne w stosunku do mineralizacji, stąd nie obserwuje się związku mineralizacji z tektoniką.

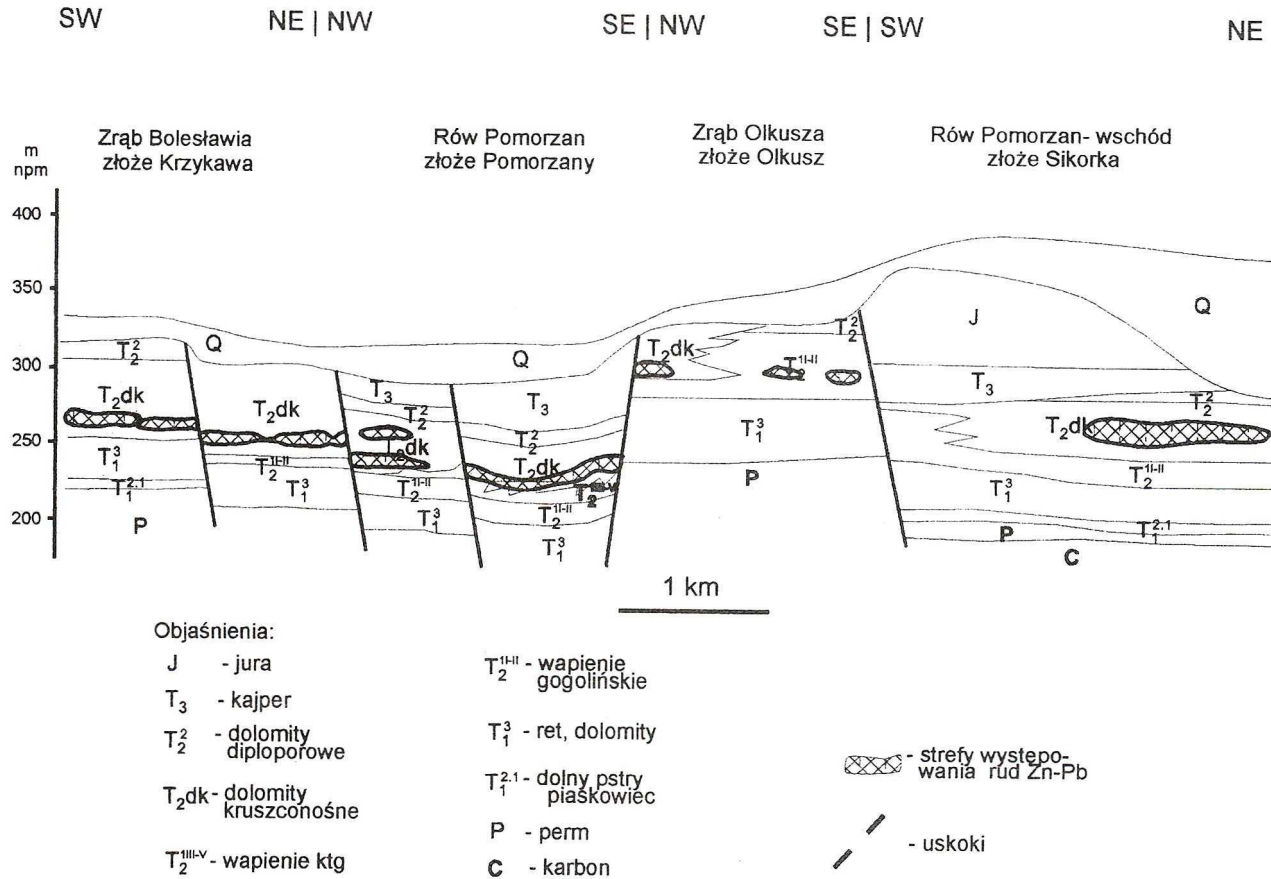
Rudy bilansowe występują w obrębie nieregularnych ciał rudnych o charakterze gniazd, pseudopokładów, soczew, rzadziej żył i pni. W obrębie rowów ciała rudne posiadają większą ciągłość i na znacznych obszarach zalegają w określonych horyzontach hipsograficznych. Najczęściej rudy o wysokich zawartościach cynku zalegają kilka metrów powyżej kontaktu z wapieniami gogolińskimi, tworząc kilkusetmetrowej długości wydłużone strefy o równoleżnikowym przebiegu. W wielu obszarach rowów sieć tektoniczna jest gęsta, a uskoki mają spolaryzowane kierunki WNW-ESE i W-E (Cabała 1996a). Powstanie hierarchicznej sieci tektonicznej jest następstwem kilkusetetapowego rozładowania naprężeń powstałych w warunkach kompresyjnych. Strefy brekcjowe powstałe w tych warunkach objęły swoim zasięgiem niektóre gniazda rudne, o czym świadczą brekcjowe tekstury rud o ostrokrawędzistych okrucach siarczków i impregnowanych siarczkami dolomitów kruszczonośnych.

Część ciał rudnych ma tekstury brekcjowe (tzw. megabrekcje), których cechy wskazują na udział mechanizmów tzw. krasowego brekcjowania (Mochacka, Sass-Gustkiewicz 1982; Sass-Gustkiewicz 1985). Powstanie brekcji zawałowych poprzedzane było kilkoma etapami formowania się złoża i rozwoju krasu. Na istotną rolę krasu hydrotermalnego w formowaniu się złóż cynkowo-ołowiowych zwrócili uwagę S. Dżułyński i M. Sass-Gustkiewicz (1985, 1996).

Niektórzy autorzy (Leach i in. 1996) sugerują epigenetyczne w stosunku do brekcjowania krasowego pochodzenie siarczków stanowiących spoiwo w brekcjach, wskazując na możliwość ich późniejszego zastępowania siarczkami pierwotnego spoiwa brekcji.

3. Charakterystyka mineralizacji

W rudach Zn-Pb rejonu olkuskiego występuje kilka generacji każdego z siarczków (Chu-Tuan-Nha, Kubisz 1973; Harańczyk 1962). Badania M. Hubickiej-Ptasińskiej i in. (1985) dowodzą, że w kruszczach rejonu olkuskiego można wyodrębnić do pięciu generacji sfalerytu i galeny oraz do ośmiu generacji pirytu i markasytu. Poszczególne generacje siarczków różnią się twardością, porowatością, stopniem uporządkowania struktury (Harańczyk 1962) oraz zawar-



Rys. 2. Schematyczny przekrój przez złoża Zn-Pb rejonu olkuskiego

Fig. 2. Diagrammatic cross-section of Zn-Pb ores in Olkusz area

tością pierwiastków śladowych (Harańczyk 1965; Hubicka-Ptasińska i in. 1985; Cabała 1996b). Określenie, które generacje siarczków przeważają w złożu lub jego częściach jest bardzo trudne z uwagi na wieloetapowy charakter okruszcowania rud (Sass- Gustkiewicz 1975; Hubicka-Ptasińska i in. 1985) oraz konieczność wykonania żmudnych badań mineralogicznych.

Wykształcenia złóż, ciał rudnych i skład mineralny rud w rejonie olkuskim są nieco inne w jego części wschodniej i zachodniej.

Rudy zachodniej części, zalegające w obniżeniach i rowach tektonicznych, mają charakter siarczkowy, w znacznej części są zbudowane z blend skorupowych, skorupowo wykształconych siarczków żelaza, podrzędnie krystalicznej galeny. Występują w horyzontalnie zalegających pseudopokładach i gniazdach o znacznych rozmiarach lateralnych. Poziomy rudonośne zalegają kilka metrów powyżej kontaktu dolomitów kruszczośnych z wapieniami gogolińskimi.

We wschodniej części rejonu olkuskiego pierwszy horyzont rudonośny często występuje w obrębie niezdolomityzowanych wapieni gogolińskich (rys. 2) oraz warstw olkuskich (otwory: B-605, B-689, B-609, B-517, B-668). Drugi horyzont lokuje się kilkanaście metrów powyżej, już w dolomitach kruszczośnych. Gniazda rudne obu poziomów łączą się niekiedy ze sobą tworząc skomplikowane strefy okruszcowane, obejmujące swoim zasięgiem interwały do kilkudziesięciu metrów. Ciała rudne mają zróżnicowane kształty, często izometryczne, a nawet wydłużone w pionie (Klucze, Sikorka, Olkusz). Charakterystyczny dla rud tej części rejonu złożowego jest duży udział mineralizacji galenowej, obecność siarczanów (barytu i gipsu) oraz bardziej wapnisty charakter dolomitów kruszczośnych.

Najczęściej występującymi formami sfalerytu i wurcytu są ciemne blendy cynkowe (skorupowe) o cechach metakoloidalnych. Przeważają struktury, koncentryczno-wstęgowe, nerkowate, promieniste. Ciemne odmiany blend często budują zewnętrzne pasma koncentrycznych skupień. Tworzą nieregularne, grube (do kilku i kilkunastu centymetrów) ławice. Tekstury siarczków są zbite; skorupowe, sferoidalne, rytmicznie wstęgowane, kokardowe, brekcjowe.

Jasne, metakoloidalne odmiany blend częściej pojawiają się w rudach ze złóż Sikorka, Olkusz, odmiany ciemniejsze natomiast (z domieszkami żelaza i arsenu) charakterystyczne są dla złóż Pomorzany, Bolesław, Laski. Krystaliczne skupienia jasnobrązowego sfalerytu o idiomorficznie wykształconych ziarnach występują na powierzchniach szczelin, spękań i pustek w dolomitach. Budują drobnokrystaliczne powłoki na skorupowych odmianach blend.

3.1. Skład mineralny rud Zn-Pb

Skład mineralny rud cynkowo-ołowiowych rejonu olkuskiego jest stosunkowo prosty, przedstawiony został w oparciu o pełne analizy chemiczne (tab. 1). Zasadniczą masę rudy stanowią płonne węglany. Są to głównie: dolomity (tzw. dolomity kruszczośne), dolomity ankerytyczne, które na podstawie analiz chemicznych można zaliczyć do dolomitów słabo wapnistych bądź wapnistych (Cabała 1998); podrzędnie w rudzie obecny jest kalcyt i okruchy wapieni. Udział płonnych węglanów w rudach bilansowych poszczególnych złóż jest zmienny (tab. 1) i waha się od 30,5 do 87,1%.

Wyniki analizy składu mineralnego rud wskazują, że z punktu widzenia gospodarczego znaczenie mogą mieć tylko te rudy, w których średni udział płonnych węglanów nie jest wyższy

TABELA 1

Zawartości składników mineralnych w rudach Zn-Pb ze złóż rejonu olkuskiego (obliczone na podstawie danych z bilansowych otworów wiertniczych)

TABLE 1

Content of mineral components in Zn-Pb ores in Olkusz area (obtained according to the data of balance boreholes)

Składniki mineralne [%]	Złóża									
	Pomorzany	Laski	Klucze	Sikorka	Olkusz	Krzykawa	Rodaki-Rokitno	Gołuchowice	Zawiercie	
Wegłany [dolomit+kalcyt]	66,55	66,20	66,80	54,99	30,53	68,64	81,93	87,11	71,89	
Sfaleryt [ZnS]	8,64	9,15	10,27	6,74	27,12	8,55	3,93	3,88	9,22	
Galena [PbS]	0,99	0,57	3,10	9,01	10,56	1,27	0,59	0,47	2,81	
Markasyt+piryt [FeS ₂]	13,00	7,66	6,30	3,81	4,25	4,97	4,12	0,30	3,77	
Smitsonit [ZnCO ₃]	0,83	0,16	1,26	3,14	7,88	3,80	0,24	0,37	0,28	
Cerusyit [PbCO ₃]	0,36	0,20	1,29	3,62	2,43	0,43	0,18	0,15	0,34	
Limonyt [Fe ₂ O ₃]	4,03	6,04	3,63	7,37	6,91	6,36	2,40	4,94	3,30	
Minerały ilaste + krzemionka	4,14	8,11	4,91	8,84	9,19	4,67	4,82	1,83	5,67	
Siarczany [baryt + gips]	1,06	1,50	2,15	2,07	0,78	0,91	1,55	0,81	2,38	
Pierwiastki śladowe	Ag, Cd, Cu, Mo, Ti*	0,1873	0,1682	0,1373	0,2311	0,2435	0,1630	0,1067	0,0336	0,1178
	Arsen [As]	0,039	0,063	0,039	0,081	0,059	0,048	0,031	bd	0,028
Tlenki manganu	0,17	0,18	0,11	0,10	0,08	0,1856	0,10	0,11	0,191	

* — dla prób ze złoża Zawiercie nie oznaczono zawartości tytanu.

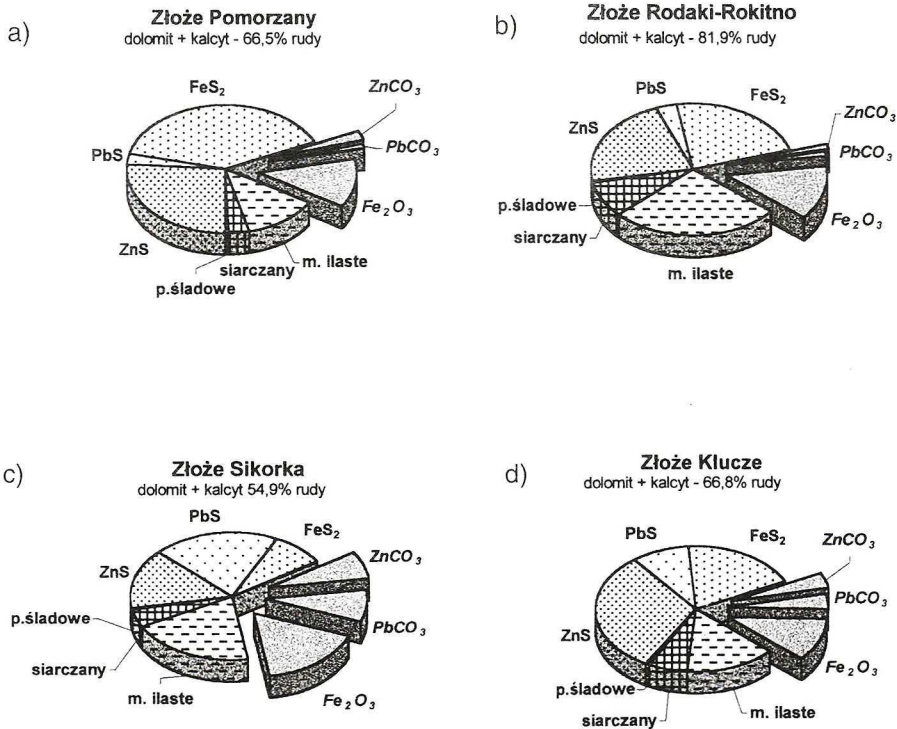
od 70%. Pozostałe 30 do 40% rud stanowią inne, w tym użyteczne składniki mineralne rud. Wśród głównych grup mineralnych w rudach można wymienić:

- siarczki cynku, ołowiu i żelaza,
- węglany i tlenki: cynku (smitsonit), ołowiu (cerusyt), żelaza (limonity),
- minerały ilaste + wolna krzemionka,
- siarczany (gips, baryt, siarczany Zn, Pb, Fe),
- pierwiastki towarzyszące i śladowe (Ag, Cd, Cu, Mo, As, Ti),
- tlenki manganu.

O jakości rud stanowią nie tylko zawartości siarczków Zn-Pb, ale także wzajemne stosunki ilościowe poszczególnych grup mineralnych. Do rud najlepszej jakości należą rudy, w których pierwotne siarczki znacznie przeważają nad minerałami utlenionymi, siarczanami, minerałami ilastymi, krzemionką, ponadto ilość minerałów ilastych i krzemionki powinna być jak najniższa.

W złożach olkusko-zawierciańskich największym udziałem siarczków Zn-Pb-Fe charakteryzują się rudy w złożu Pomorzany, Klucze (rys. 3a, d) i Olkusz, nieco niższym ich udziałem cechują się rudy z Zawiercia i Lasek.

Najczęściej wśród użytecznych siarczków przeważają siarczki cynku. Rudy tego typu występują w Laskach, Zawierciu, Kluczach, Olkuszu. Przewaga siarczków cynku nad pozostałymi

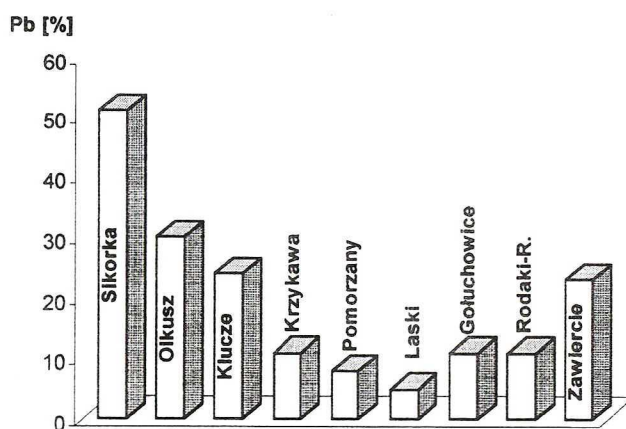


Rys. 3. Średni procentowy udział minerałów w rudach ze złóż rejonu olkuskiego

Fig. 3. Percentage of mineral content in Olkusz ores

siarczki w rudach nie jest jednak wystarczająca, aby je zaliczyć do rud dobrej jakości. Ważniejszym kryterium jest jednak procentowy udział siarczków cynku w rudzie. Na podstawie danych z otworów można stwierdzić, że średnimi zawartościami wyższymi aniżeli 8% charakteryzują się rudy w złożach: Pomorzany, Olkusz, Laski, Klucze, Krzykawa i Zawiercie. Dlatego pod kątem dalszego rozpoznania interesujące są jedynie złoża Klucze i Laski, które sąsiadują z zagospodarowanym górnictwem złożem Pomorzany. Złoże Olkusz jest już wyeksploatowane, podobnie jak część złoża Krzykawa. Na obecnym etapie rozpoznania przeprowadzone prognozy (Strzelska-Smakowska, Paulo 1995) wskazują, że inwestycja górnicza na złożu Zawiercie nie byłaby opłacalna, jednak złoże to z uwagi na swoje położenie i warunki geologiczne jest interesujące i może stanowić ważną bazę zasobową w przyszłości.

Siarczki ołowiu rzadko przeważają nad pozostałymi siarczki. Wzrost udziału galeny w rudach jest charakterystyczny dla złóż wschodniej, peryferycznej części rejonu olkuskiego. Do złóż tych należą: Sikorka (rys. 3c), Olkusz, a w mniejszym stopniu Klucze i Zawiercie (rys. 4).



Rys. 4. Udział mineralizacji ołowiowej w kruszczach z poszczególnych złóż (minerały Zn + Pb + Fe = 100%)

Fig. 4. Lead mineralization in ores of particular deposits (minerals Zn + Pb + Fe = 100%)

Rudy o wysokiej zawartości ołowiu występują powyżej horyzontów lub gniazd siarczkowych (Cabała 1996b). W złożach Olkusz, Sikorka i Klucze spotykane są prawie monomineralne gniazda galenowe (otwory: BO-96, BO-49, B-658, B-678, B-687, BS-258, B-516) lokujące się powyżej gniazd sfalerytowych. Wysokie nagromadzenia galeny w rudach występują nieregularnie, o czym świadczą wysokie wartości współczynników zmienności występowania ołowiu (tab. 2).

W części wschodniej rejonu olkuskiego średni udział mineralizacji ołowiowej stanowi od 20 do 50% całej mineralizacji Zn-Pb-Fe (rys. 4), na zachodzie natomiast (złoża Pomorzany, Laski, Krzykawa) nie przekracza 15% i waha się najczęściej od 5 do 10%.

W niektórych złożach (Pomorzany, Rodaki-Rokitno — rys. 3a, b, Laski, Krzykawa) mineralizacja markasytowo-pirytowa przeważa w ogólnym bilansie kruszców. Procentowy udział minerałów żelaza w kruszczach Zn-Pb-Fe z niektórych gniazd rudnych dochodzi do 30—50%.

Średnie zawartości Zn i Pb w złożach (X) oraz współczynniki zmienności ($V_{Zn,Pb}$); STD — odchylenia standardowe

Average of Zn and Pb content in ores (X) and factors of variability ($V_{Zn,Pb}$)

Rejon	Liczba danych n	Zn			Pb		
		X	STD	V_{Zn}	X	STD	V_{Pb}
Gołuchowice	86	2,80	1,04	37	0,52	0,82	158
Klucze	47	7,51	7,91	105	3,69	6,38	173
Krzykawa	55	7,62	6,69	88	1,43	3,43	239
Laski	79	6,20	3,60	58	0,64	1,09	171
Olkusz	35	22,04	21,82	99	11,04	21,62	196
Pmorzany	92	6,17	4,61	75	1,17	2,52	215
Rodaki-Rokitno	63	2,76	1,98	72	0,67	0,93	140
Sikorka	54	6,07	5,48	90	10,61	15,92	150
Zawiercie	107	6,32	5,43	86	2,70	4,24	157
Rejon olkuski	618	6,50	8,07	124	2,82	8,22	291

Częstą formą teksturalną markasytowo-pyritowych skupień są brekcje. Przestrzenie międzyokruchowe są wypełnione skorupowo wykształconymi siarczkami żelaza, kalcytem i substancją ilastą, niekiedy ze znacznym udziałem limonitu.

4. Zmienność zawartości cynku i ołowiu w rudach rejonu olkuskiego

W poszczególnych rejonach złożowych różne są nie tylko zawartości głównych metali (tab. 1 i 2), ale także charakterystycznych dla złóż śląsko-krakowskich pierwiastków: Cd, Ag, Tl, As (Gałkiewicz 1983). Uzyskane wyniki zmienności zawartości metali są uzależnione od typu teksturalnego (także genetycznego) rudy, interwału pionowego w którym jest analizowana, a także gęstości w jakiej zostały pobrane do analizy próby. Charakterystyczne są niskie wartości zmienności zawartości cynku w obszarach najbogatszych partii złoża, obejmujące centralne części stref brekcyjowych. Wyższa zmienność zawartości cynku obserwowana jest w uboższych gniazdach metasomatycznych, lokujących się w niebrekcyjowanych dolomitach.

Na wysoką zmienność zawartości cynku i wyraźnie wyższą zmienność zawartości ołowiu w złożach śląsko-krakowskich zwrócił uwagę M. Nieć (1977), określając zmienność dla cynku na 80%, dla ołowiu natomiast na 120—140%. Nieco wyższe wartości tych współczynników ($V_{Zn} = 96,9\%$, $V_{Pb} = 192\%$) obliczył M. Nieć (1983) dla jednego z gniazd rudnych w utworach

retu złoża Bolesław. W gniazdach brekcjowych w złożu Olkusz R. Blajda (1985) obliczyła współczynniki zmienności V_{Zn} w granicach 61—94% i uzyskała asymetryczne, jednoskośnie modalne krzywe rozkładu cynku z wyraźnie zaznaczoną klasą modalną 4—6%. Dla rud w dolomitach niezbrekcjowanych zawartości cynku były niższe, a maksima zaznaczały się w przedziale od 0—4%.

Badania przeprowadzone przez R. Krajewskiego (1956) na próbkach w odstępach jednome-trowych wykazały współczynniki zmienności dla cynku $V_{Zn} = 49\%$ i ołowiu $V_{Pb} = 81\%$, czyli tylko nieznacznie niższe od wyników uzyskiwanych dla próbek pobranych w znacznie więk-szych odstępach. Na wartość obliczonych współczynników zmienności istotnie wpływa meto-dyka i wielkość pobranej próbki (Nieć 1977). Próby duże stanowią uśrednienie wielu małych próbek, stąd należy oczekiwać, że wartości zmienności obliczone na ich podstawie będą niższe aniżeli obliczone dla próbek małych.

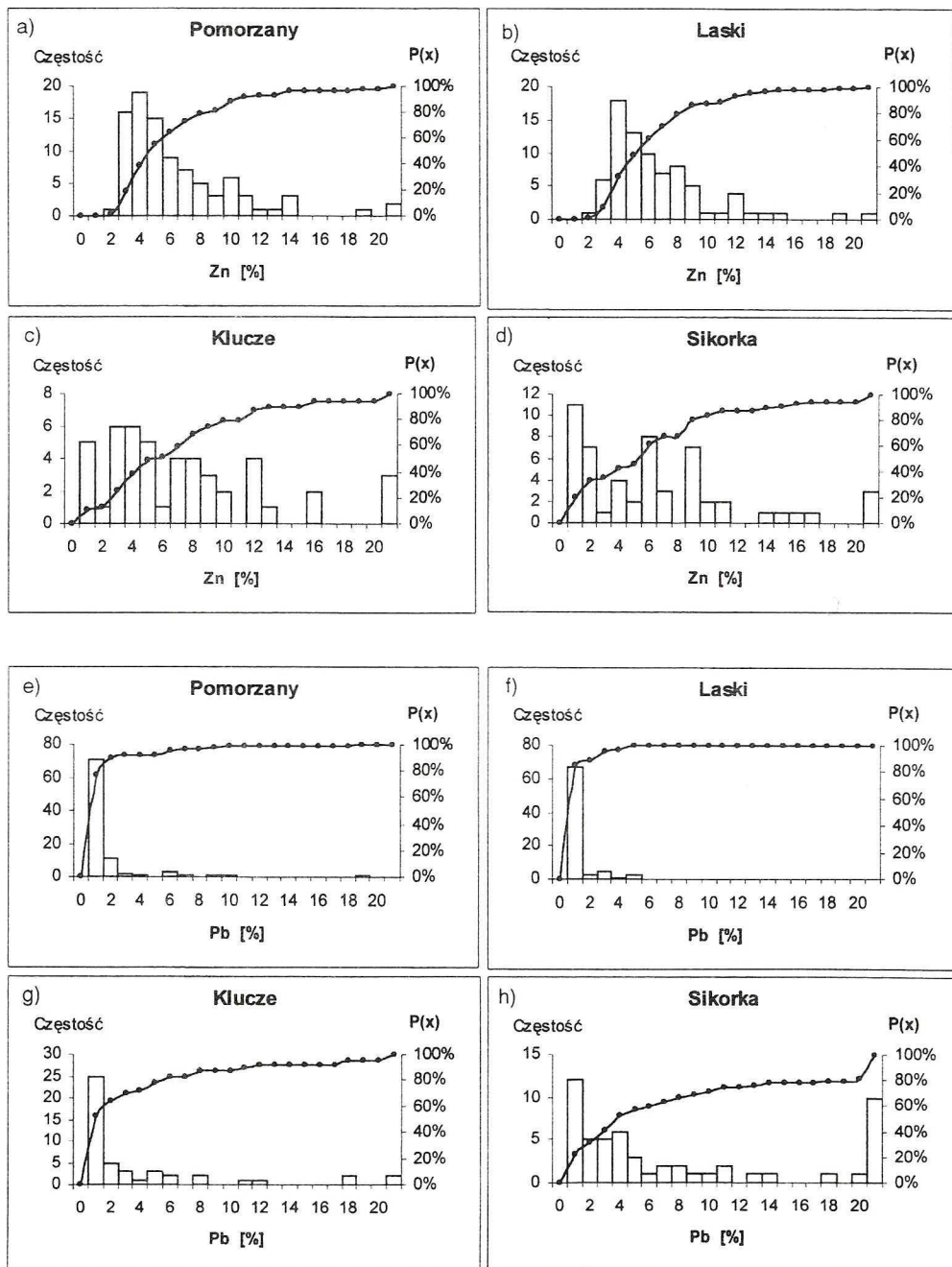
Zmienność występowania cynku (V_{Zn}), obliczona na podstawie danych z otworów wiertni-czych w złożach olkuskich (tab. 2), waha się dla poszczególnych obszarów złożowych od 58 (Laski) do 105% (Klucze). Wyjątek stanowi obszar złoża Gołuchowice, w którym zmienność obliczona dla cynku jest niska ($V_{Zn} = 37\%$) przy niskich średnich zawartościach tego metalu. Uzyskane wartości zmienności dla cynku (tab. 2) są zbieżne z wynikami uzyskanymi przez M. Niecia (1977) i W. Potoczka (1975).

Współczynniki zmienności obliczone dla całego obszaru złożowego są wysokie ($V_{Zn} = 124\%$), co potwierdza tezę, że mniejsze obszary złożowe o bardziej homogenicznej budowie wykazują bardziej jednorodny rozkład nasilenia mineralizacji, a tym samym uzyskane współczynniki zmienności są niższe (tab. 2).

Rozkłady zawartości cynku dla rud bilansowych w złożach Gołuchowice, Krzykawa, Laski, Pomorzany, Rodaki-Rokitno i Zawiercie są jednomodalne, asymetrycznie skośnie dodatnio, kla-sy modalne układają się w przedziałach od 2 do 4% (Gołuchowice, Rodaki-Rokitno), od 3 do 6% (Pomorzany — rys. 5a, Zawiercie) od 4 do 6% (Laski — rys. 5b) oraz 5 do 6% (Krzykawa). W złożach Olkusz, Klucze i Sikorka (najwyższe V_{Zn}) rozkłady zawartości cynku są wielomo-dalne (rys. 5c, d).

Dla całego rejonu olkuskiego uzyskany rozkład zawartości cynku jest jednomodalny, wy-równany, jednoskośny z wyraźnie zaznaczoną klasą modalną od 2 do 4%. Wartości zmienności są niższe aniżeli obliczone dla gniazd brekcjowych przez R. Blajdę (1985) i zbieżne z klasami modalnymi obliczonymi dla cynku w dolomitach niezbrekcjowanych.

Dla złóż o najniższych współczynnikach zmienności (tab. 2) zawartości cynku mieszczą się w klasie modalnej od 2 do 4%. Kształt skumulowanych krzywych (rys. 5a, b) rozkładu prawdopodobieństwa wystąpienia mineralizacji w danym przedziale wskazuje na wyso-kie wartości prawdopodobieństwa ($P(x) > 70\text{—}80\%$) wystąpienia mineralizacji cynkowej w przedziale od 2 do 6%. Złoża o charakterystyce zmienności opisanej na wykresie (rys. 5a, b) zawierają głównie rudy siarczkowe, zalegające w centralnych częściach rowów tektonicznych na znacznych głębokościach. W złożach, dla których uzyskano najwyższe współczynniki zmienności dla cynku (Sikorka, Klucze, Olkusz) skumulowana krzywa rozkładu prawdopodobieństwa wznosi się w całym analizowanym przedziale od 0 do 20% (rys 5c, d), a prawdopodobieństwo wystąpienia mineralizacji w zindywidualizowanym prze-dziale modalnym jest niskie.



Rys. 5. Histogramy i skumulowane krzywe prawdopodobieństwa rozkładu zawartości cynku i ołowiu w wybranych złożach

Fig. 5. Histograms and cumulated curves of zinc and lead probability distribution in chosen ores

Rozkład zawartości ołowiu jest inny aniżeli cynku, najczęściej występuje jedna wyraźnie zindywidualizowana klasa modalna od 0 do 1% (rys. 5e, f) i nie jest ona skośna dodatnio, jak to jest w przypadku cynku. Kształty skumulowanych krzywych dla ołowiu (rys. 5e, f, g, h) także są inne aniżeli dla cynku. Jedynie dla złóż Olkusz i Sikorka kształt skumulowanej krzywej dla ołowiu i cynku jest podobny (rys. 5g, h). Mineralizacja ołowiowa w tych złożach grupuje się w kilku klasach modalnych od 0 do 20%, średnie zawartości ołowiu są wysokie (tab. 2). Współczynniki zmienności obliczone dla ołowiu (V_{Pb}) we wszystkich analizowanych złożach są zawsze znacznie wyższe aniżeli dla cynku (V_{Zn}) (tab. 2). Duża zmienność mineralizacji galenowej jest związana z nieregularnym, niekiedy żyłowym charakterem okruszcowania.

5. Czynniki wpływające na stopień utlenienia siarczków cynku w rudach Zn-Pb

Na rozwój utlenienia siarczków w złożu wpływa kilka złożonych grup czynników geologicznych. Wielkość utlenienia jest uzależniona od strukturalnych, hydrogeologicznych, hipsograficznych i złożowych warunków występowania horyzontów i gniazd rud.

Istotne znaczenie dla podatności na utlenienie siarczków ma także pierwotny charakter mineralizacji, jej nasilenie oraz udział poszczególnych siarczków. Obecność znacznych ilości grubokrystalicznych agregatów siarczków żelaza w rudach powoduje, że w pierwszych etapach utleniania wody szybko osiągają kwaśny, siarczanowy charakter, a w środowisku węglanowym tworzą one bezpostaciowe syderożele żelazowe i limonity, które uszczelniają porowatą rudę, utrudniając tym samym dalsze wnikanie wód dotlenionych i rozwój utlenienia innych siarczków.

Największą odporność na wietrzenie i utlenienie wykazują ciemne (wurcytowe) odmiany blend skorupowych (Harańczyk 1962). Prawidłowo wykształcone siarczki Zn-Pb-Fe mają najmniejszą ilość podstawień izomorficznych (Bourgeois 1976) i defektów struktury, dlatego są mało podatne na utlenienie.

5.1. Warunki występowania złóż

Znaczny wpływ na rozwój wtórnych zmian utlenienia siarczków ma brak utworów kajpru w nadkładzie złóż. Zasięg ścięcia erozyjnego utworów triasu w rejonie olkuskim jest znaczny, obszary zrębowe w zachodniej i południowo-zachodniej jego części są pozbawione ilastych osadów kajpru. W niektórych rejonach całkowicie zerodowane zostały dolomity diploporowe oraz stropowe partie dolomitów kruszczośnych (rys. 2). W obrębie tych części złóż Bolesław i Olkusz, które są zlokalizowane na zrębach, całkowitej erozji lokalnie uległy dolomity kruszczośne, a wcięcie erozyjne dochodzi do utworów retu (rys. 1).

W obszarach rowów rudy są izolowane od stropu przez nieprzepuszczalne utwory kajpru oraz spękane i porowate dolomity diploporowe (rys. 2). Ciągła pokrywa kajpru występuje w mocno obniżonych częściach rowów, natomiast w tych obszarach rowów, które nie zostały przez uskoki ramowe silnie zrzucone (obszar złoża Sikorka) erozja lokalnie sięga do dolomitów kruszczośnych. Powstałe w ten sposób okna erozyjne są miejscami, od których rozwija się utlenienie niżej zalegających horyzontów rudonośnych.

5.2. Czynniki strukturalne

Z analizy map stopnia utlenienia siarczków cynku wynika (Cabała 1993), że w obszarach zrębowych (względnie wyniesionych) powierzchnia występowania rud jest znacznie większa aniżeli w rowach tektonicznych. Obszarami takimi są: NE część złoża Krzykawa, SW część złoża Sikorka, N i NE część złoża Olkusz oraz centralna część złoża Klucze. Analiza cech strukturalnych wymienionych części złóż prowadzi do wniosku, że cechy strukturalno-teksturalne obszarów zrębowych (znaczne rozwarcie oraz gęstość szczelin i spękań, zbrekcjowanie) są odpowiedzialne za intensywniejszy aniżeli w obszarach rowów rozwój wtórnych przemian chemicznych rud i dolomitów kruszczośnych (Cabała 1995, 1996a). Rozwarte spękania, makroporowate brekcje w obszarach zrębów ułatwiają wnikanie wód w górotwór i są odpowiedzialne za odmienny aniżeli w rowach reżim hydrogeologiczny.

W złożu Klucze pojedyncze gniazda utlenione występują na znacznych głębokościach (180—190 m. n p. m.), co wpływa na wysokie średnie utlenienie siarczków cynku w tym złożu (tab. 3). Sytuację tę można tłumaczyć występowaniem gniazd rud w gęsto zuskokowanym i spękanym obszarze zrębowym, gdzie liczne strefy zluźnień tektonicznych są miejscami wnikania na znaczne głębokości dotlenionych wód descenzyjnych.

W rowach tektonicznych na znacznych głębokościach występują gniazda silnie utlenionych rud (otwory: BPH-200 — Pomorzany, ZM 7-1 — Zawiercie, RR-55, RR-60 — Rodaki-Rokitno,

TABELA 3

Średni stopień utlenienia siarczków (X): cynku (UtZn), ołowiu (UtPb), żelaza (UtFe)
(V_{UtZn} , V_{UtPb} , V_{UtFe}) — współczynniki zmienności

TABLE 3

Average of oxidation degree of Zn, Pb and Fe sulphides (X) and factors of variability (V_{UtZn} , V_{UtPb} , V_{UtFe})

Rejon	Liczba danych n	UtZn		UtPb		UtFe	
		X	V_{UtZn}	X	V_{UtPb}	X	V_{UtFe}
Gołuchowice	86	7,45	201	31,78	78	13,10	13
Klucze	47	15,84	159	33,86	72	45,11	62
Krzykawa	55	29,65	127	44,97	57	61,68	60
Laski	79	1,43	83	39,76	71	42,54	48
Olkusz	35	37,34	103	35,55	74	55,14	62
Pmorzany	92	8,01	151	42,40	60	25,50	71
Rodaki-Rokitno	63	5,80	98	28,61	68	47,30	48
Sikorka	54	33,81	86	46,26	63	54,67	48
Zawiercie	107	4,42	194	24,95	86	48,40	52
Rejon olkuski	618	12,90	182	35,66	72	52,05	59

B-689, BS-29, B-665, B-678, BS-258A, B-708 — Sikorka, BK-82 — Klucze) w ich stropie zalegają nieprzepuszczalne ility kajpru. W bezpośrednim sąsiedztwie gniazd utlenionych występowały strefy tektoniczne, które mogły być odpowiedzialne za głębokie krążenie wód i rozwijające się utlenienie siarczków w rudach.

Dokładniejsze rozpoznanie złoża wyrobiskami górniczymi pozwala stwierdzić, że gniazda utlenionych rud i dolomitów występują częściej aniżeli wynika to z rozpoznania na etapie dokumentowania złoża w kat. C₁. Tezę tę potwierdzają badania w wyrobiskach kopalni Pomorzany (Cabała 1993, 1995), gdzie na etapie dokumentowania jedynie w jednym otworze stwierdzono rudy utlenione, w wyrobiskach eksploatacyjnych natomiast, szczególnie w strefach uskokowych (Cabała 1993), fragmenty gniazd rud siarczkowych zawierają w znacznym stopniu utlenione siarczki cynku, żelaza oraz ołowiu.

5.3. Czynniki hydrogeologiczne

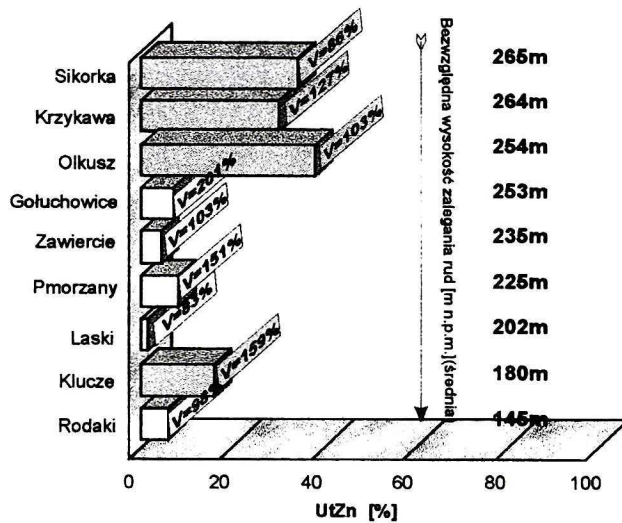
Różnice w zaleganiu horyzontów rudnych w złożach nie są znaczne, wahają się od 15 do 50 m. W monoklinalnie w zalegających utworach węglanowych dla rozwoju wtórnych zjawisk zasadnicze znaczenie mają wielkość, dynamika oraz charakter przepływów wód dotlenionych. Szczelinowo-krasowy charakter krążenia wód w triasowym górotworze jest odpowiedzialny za doprowadzenie dotlenionych wód do horyzontów rudonośnych. Można założyć, że względnie wyniesione (nawet o kilkanaście metrów) obszary węglanowe były narażone na znacznie intensywniejszą cyrkulację wód odpowiedzialnych za rozwój utlenienia.

Wyraźna ekspozycja horyzontów rudonośnych we wschodniej części rejonu olkuskiego w stosunku do jego części zachodniej powodowała, że części złóż Sikorka, Klucze i Olkusz znajdowały się w strefie aeracji wód descenzyjnych płytkiego krążenia. Dolomity kruszconośne, a w szczególności ich kontakt z niżejleżymi wapieniami gogolińskimi, cechują się znacznym stopniem spękania i zbrekcjowania, co sprzyjało rozwojowi kierunkowych kanałów krasowych oraz brekcji o charakterze zawałowym (Sass-Gustkiewicz, Socha 1982; Sass-Gustkiewicz 1996). Badania hydrogeologiczne (Wilk, Motyka, Józefko 1984) potwierdzają zgodne z orientacją kanałów krasowych kierunki przepływów wód (w plejstocenie i holocenie) z NE na SW. Kanały krasowe o znacznym poziomym rozprzestrzenieniu w przyspągowej partii dolomitów kruszconośnych były odpowiedzialne za lokalny drenaż w spękanym i porowatym dolomicie, a tym samym wody dotlenione od stref przypowierzchniowych infiltrowały przez horyzonty rudonośne utleniając frontalnie siarczki w rudach w sytuacji, gdy te znajdowały się w strefie aeracji (obszary zrębów). W obszarach rowów horyzonty rudonośne znajdowały się w strefie freaticznej, dlatego rozwój utlenienia następował tylko lokalnie i okresowo w wyniku zmian warunków hydrogeologicznych. W obniżeniach tektonicznych, rowach, poziomy wodonośne w wapieniu muszlowym mają charakter naporowy, co potwierdzają samowypływy wód podziemnych (Wilk, Motyka 1977). Istniejące wcięcia erozyjne (w kajprze) oraz otwarte strefy uskokowe mogły stanowić miejsca rozładowania się ciśnień artezyjskich, dzięki ascenzji wód piętra triasowego, czemu towarzyszyło intensywne lokalne przemywanie stref złożowych sprzyjające utlenianiu siarczków metali.

Efektom szybkich przepływów jest słaba mineralizacja wód wapienia muszlowego (Wawerska 1975), potwierdzająca nieznaczny rozwój utlenienia w głębszych partiach rowów.

5.4. Czynniki hipsograficzne

Analiza hipsograficzna horyzontów rudonośnych w złożach olkuskich prowadzi do wniosku, że głębokość zalegania rud nie jest najważniejszym czynnikiem decydującym o nasileniu stopnia utlenienia siarczków. Wielkość stopnia utlenienia siarczków cynku znacznie lepiej koreluje z bezwzględną wysokością zalegania rud. Rudy zalegające najwyżej nad poziomem morza są znacznie silniej utlenione aniżeli rudy występujące na niższych bezwzględnych głębokościach (rys. 6). Jednakże zaleganie horyzontów rudonośnych jest związane z przebudową tektoniczną złóż, najwyżej rudy występują prawie zawsze w obszarach zrębów lub w skrzydłach wiszących uskoku. W tych obszarach często nieprzepuszczalne utwory kajpru uległy erozji, co ułatwia frontalne utlenienie siarczków.



Rys. 6. Średnie wartości stopnia utlenienia siarczków cynku (UtZn) w złożach na tle ich hipsografii
V — wartości współczynników zmienności UtZn

Fig. 6. Average values of oxidation degree of zinc sulphides (UtZn) with reference to the hypsography
V — values of variability factors UtZn

W większości analizowanych obszarów złóż nie występują utwory jurajskie (rys. 1), dlatego nie ma szerszych możliwości przeanalizowania wpływu nadkładu utworów jury na rozwój utlenienia. Jedynie w złożu Sikorka powyżej złoża zalegają nieprzepuszczalne osady kajpru oraz węglanowe utwory jury. Utlenienie siarczków jest jednak wysokie, co wskazuje, że w obszarach zrębowych, nawet izolowanych od powierzchni, czynniki utleniające oddziaływały na rudy. Prowadzi to do wniosku, że zasadniczą rolę w rozwoju utlenienia odgrywiają lokalne warunki hydrogeologiczne, panujące w okresie po uformowaniu się złóż.

6. Wtórne zmiany składu chemicznego rud cynkowo-olowiowych

Po pierwszych etapach mineralizacji w złożu zaczęły rozwijać się wtórne procesy wietrzeńowe, prowadzące do utlenienia siarczków oraz zmian strukturalno-teksturalnych w dolomitach kruszczońskich opisanych w wielu pracach (Smirnow 1951; Żabiński 1960, 1965; Radwanek, 1981; Cabała 1993). W zmiennych oksydacyjno-redukcyjnych warunkach strefy wietrzenia pierwotne siarczki metali ulegają uruchomieniu, przechodzą w łatwo rozpuszczalne siarczany, a w obecności jonów węglanowych tworzą nowe fazy mineralne (smitsonit, monheimit, hydrocynkit, cerusyt). W zaawansowanych stadiach rozwoju stref utlenienia może dochodzić do uruchomienia krzemionki i powstania wtórnych, krzemianowych minerałów (hemimorfit). W badanym rejonie krzemiany cynku występują niezwykle rzadko, stwierdzone zostały w kopalni Olkusz (Cabała 1993).

7. Zmienność stopnia utlenienia głównych siarczków

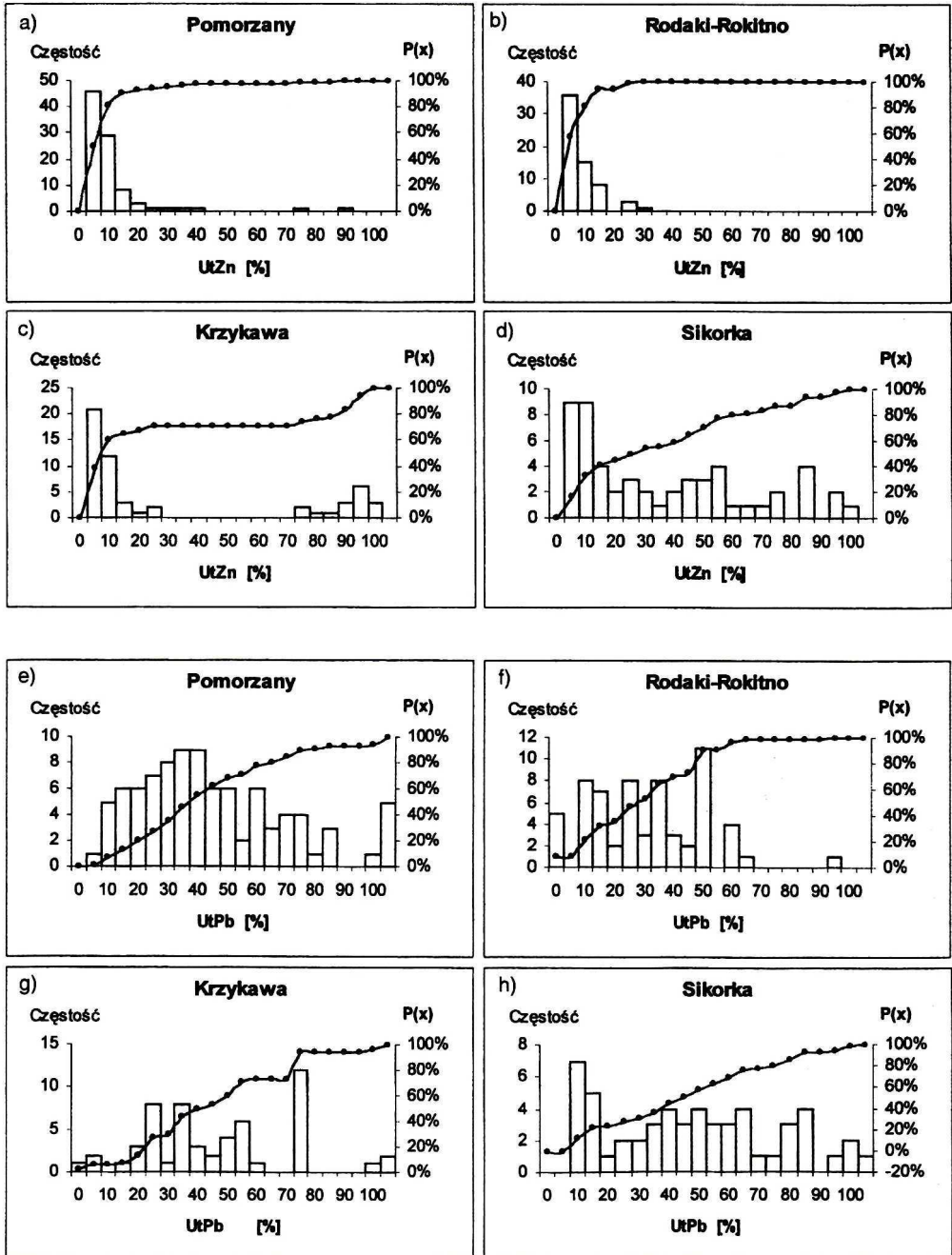
Główne siarczki Zn-Pb-Fe wykazują zróżnicowany stopień utlenienia w poszczególnych obszarach złożowych, świadczą o tym wysokie i zróżnicowane współczynniki zmienności (V) stopnia utlenienia siarczków cynku, ołowiu i żelaza (tab. 3). Stopień utlenienia poszczególnych siarczków został obliczony na podstawie zawartości ZnO, PbO i FeO określonych w analizach chemicznych prób rud.

7.1. Stopień utlenienia siarczków cynku

Histogramy i skumulowane krzywe prawdopodobieństwa rozkładu stopnia utlenienia siarczków cynku ($UtZn$) (rys. 7) są niejednorodne. W złożach o niskim średnim utlenieniu siarczków cynku (tab. 3) (Pomorzany, Rodaki-Rokitno, Łaski, Gołuchowice, Zawiercie) histogramy rozkładu stopnia utlenienia siarczków cynku są prawie identyczne i wyraźnie mocno skośne dodatnio (rys. 7a, b). Przedziały modalne zawierają się w przedziale 0—10%, czyli prawdopodobieństwo słabego stopnia utlenienia siarczków cynku do 10% osiąga dla wszystkich złóż siarczkowych wartości około 90% (rys. 7).

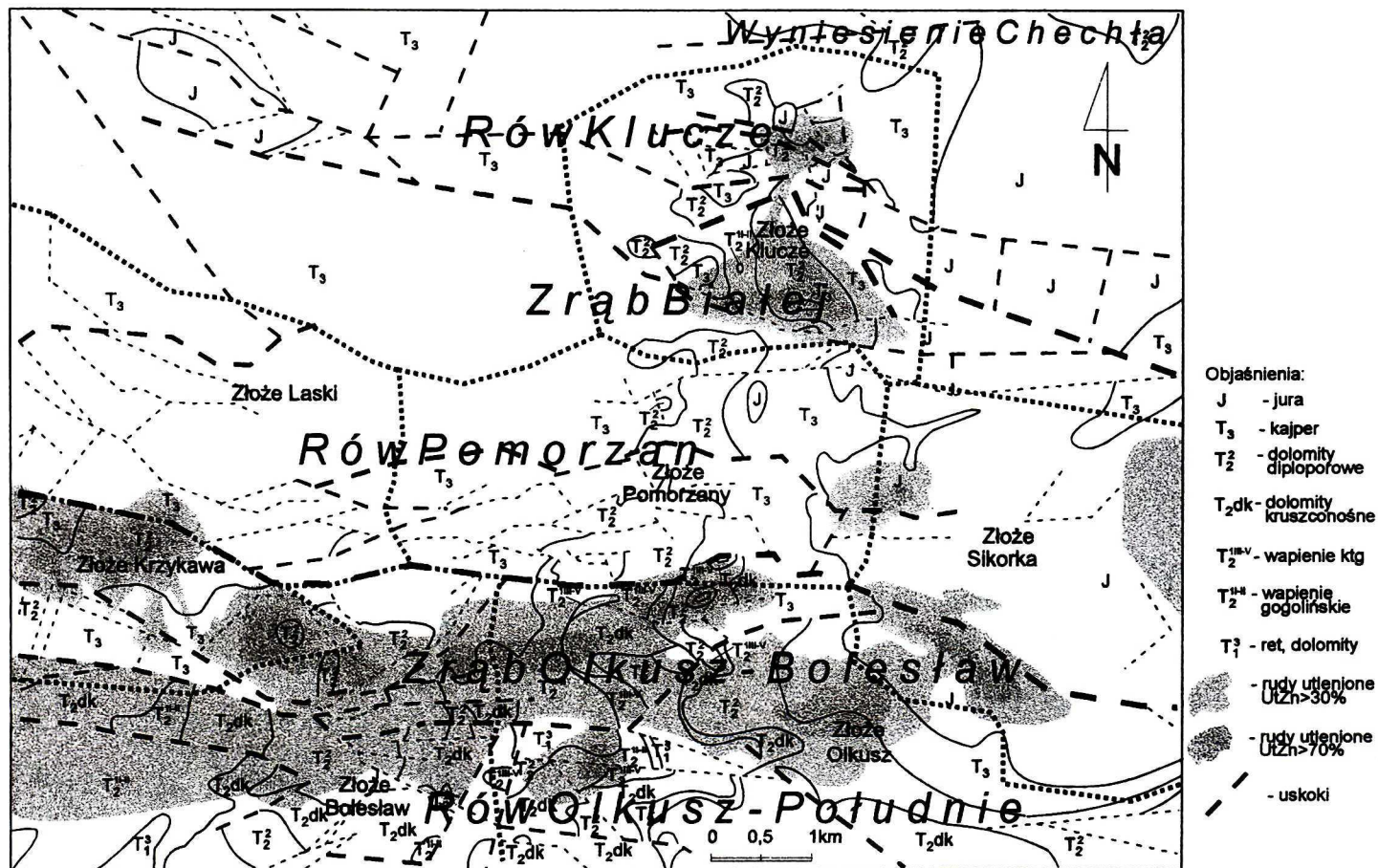
W złożach o wysokim i średnim utlenieniu siarczków cynku jego rozkłady są zróżnicowane i wielomodalne. W złożu Krzykawa (rys. 7c) i Olkusz zaznaczają się wyraźnie dwie klasy modalne reprezentujące próby rud utlenionych ($UtZn > 70\%$) i siarczkowych ($Ut < 30\%$). W złożach Sikorka (rys. 7d) i Klucze nie zaznaczają się wyraźnie zindywidualizowane klasy modalne. Skumulowane krzywe prawdopodobieństwa rozkładu stopnia utlenienia mają zmienny kształt w całym przedziale od 0 do 100%, wskazujący na znaczne zróżnicowanie utlenienia w tych złożach.

Niski stopień utlenienia siarczków cynku w płytce zalegającym złożu Gołuchowice jest efektem izolacji rud od stropu przez nieprzepuszczalne utwory kajpru. Powstanie złoża utlenionego wiązano (Ekiert 1959; Piekarski 1965) z brakiem nieprzepuszczalnych utworów kajpru w nadkładzie. Jednak w złożu Sikorka siarczki cynku są mocno utlenione pomimo obecności w nadkładzie osadów kajpru. Czyli silny rozwój utlenienia mógł mieć miejsce także w sytuacji,



Rys. 7. Histogramy i skumulowane krzywe prawdopodobieństwa rozkładu stopnia utlenienia siarczków cynku (UtZn) i ołowiu (UtPb) w wybranych złożach

Fig. 7. Histograms and cumulated curves with regard to probability distribution of oxidation degree of zinc sulphides (UtZn) and lead sulphides (UtPb) in chosen ores



Rys. 8. Mapa występowania rud utlenionych cynku w złożach rejonu olkuskiego

Fig. 8. Map of zinc oxidation ores in Olkusz area

gdy zręby lub ich części były przykryte nieprzepuszczalnymi utworami kajpru lub węglanowymi osadami jury. W złożu Klucze (BK-88), Olkusz (BO-87A, B-143, B-146), Sikorka (BS-118, B-687, BS-303, B-680) pod kajprem i jurą występują gniazda rud o znacznym stopniu utlenienia (rys. 8).

7.2. Stopień utlenienia siarczków ołowiu

Siarczki ołowiu w rudach reprezentowane są głównie przez galenę. Średnie utlenienie galeny w złożach jest stosunkowo wysokie (tab. 3). W złożach w których siarczki cynku są mocno utlenione zrozumiałe jest wysokie utlenienie galeny. Trudny do wyjaśnienia jest wysoki średni stopień utlenienia siarczków ołowiu w rudach, gdzie siarczki cynku nie są wcale utlenione lub bardzo słabo. Brak jest korelacji oraz innych statystycznie istotnych związków między stopniem utlenienia siarczków cynku i ołowiu.

Określenie przyczyn wysokiego stopnia utlenienia galeny w rudach ze złóż uznawanych za nieutlenione wymaga przeanalizowania wielkości okruszczenia galeną oraz charakteru tej mineralizacji. Udział galeny w rudach z tych złóż jest niewielki, stanowi od 0,1 do maks. 0,5% wagowego. Zawartości cerusytu w rudach z tych złóż są natomiast stosunkowo wysokie, od 0,15—0,30% wagowych. Dlatego średni stopień utlenienia galeny w złożach obliczony na podstawie zawartości Pb i PbO w rudzie jest wysoki i waha się od 25 do 42%.

Zakładając, że stopień utlenienia galeny jest uzależniony wyłącznie od powstania cerusytu na drodze utlenienia galeny na powierzchniach ziarn (Smirnow 1951), wobec faktu, że galena utlenia się najtrudniej (Żabiński 1960, 1964) w złożach zalegających głęboko i przykrytych nieprzepuszczalnymi utworami kajpru, stopień jej utlenienia powinien być niski. Tak jednak nie jest, a wysoki średni stopień utlenienia galeny w tych złożach może wynikać z pewnej „nadwyżki” cerusytu w rudzie związanej z:

- utlenieniem galeny na powierzchniach ziarn; zasadnicze znaczenie dla rozwoju utlenienia ma drobnokrystaliczny, rozproszony charakter skupień galeny oraz charakter powierzchni ziarn;

- doprowadzeniem części cerusytu w jednym z etapów mineralizacji; proces ten wyjaśniałby brak w bezpośrednim sąsiedztwie skupień cerusytu innych wtórnych minerałów — cynku i żelaza (taki jak to ma miejsce w otworach: BS-113, BK-89A, B-605, B-660, BK-46, BK-26, BS-29, B-670, B-706, B-676, B-708A). W wielu próbach rud (np.: BK-90A, BK-98, BK-38, B-516A, B-700, B-704, BS-29A, B-706A, B-708, BS-16) prawie cały ołów (w ilości 0,5—1%) pochodzi wyłącznie z cerusytu, przy czym współwystępujące z nim siarczki Zn i Fe są niezmiennione. Biorąc pod uwagę niewielką zdolność migracyjną ołowiu, obecność cerusytu z dala od galeny w głęboko zalegających rudach siarczkowych należałoby tłumaczyć jego pierwotną genezę;

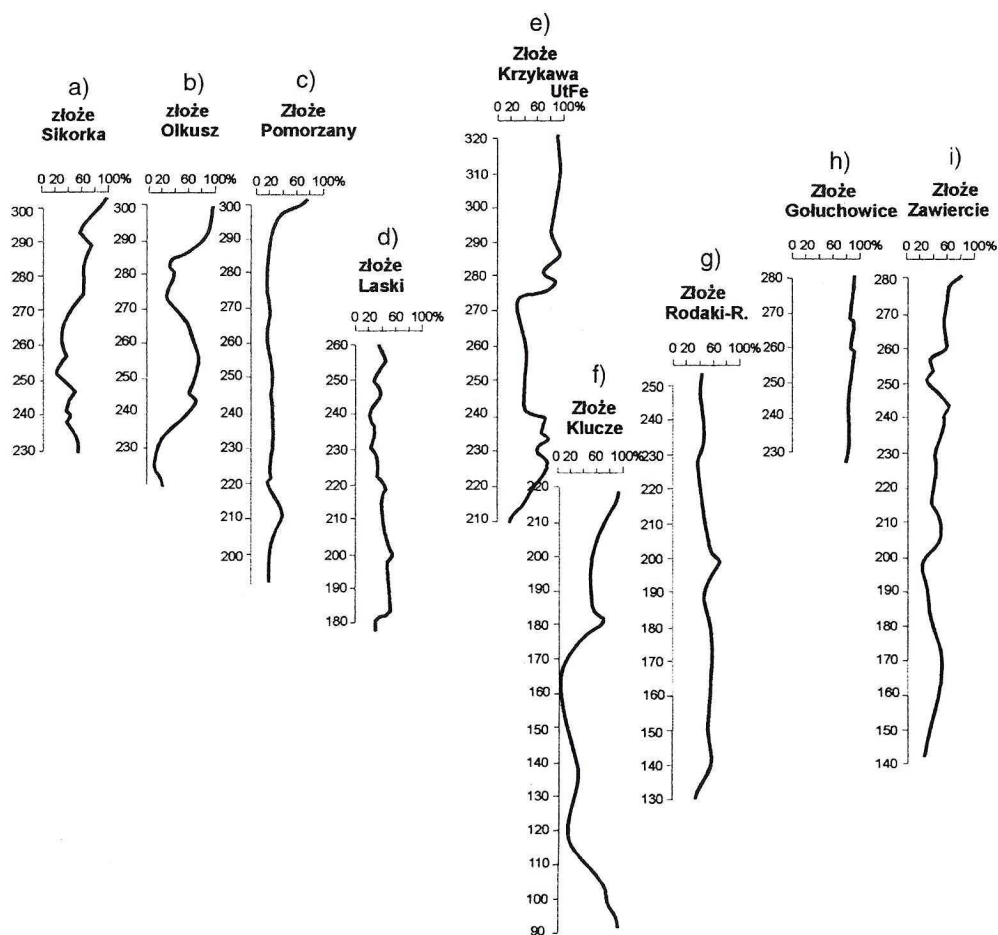
- wtórną remobilizacją cerusytu (z wyżej położonych utlenionych, zrębowych partii złóż) i jego przemieszczeniem wraz z descenzyjnymi roztworami strefy utlenienia w niżej położone (rowy) części złóż. Możliwości wtórnej remobilizacji cerusytu w strefie utlenienia są mocno ograniczone przez jego słabą rozpuszczalność i wysoką trwałość (Żabiński 1960).

W obszarach większości złóż rejonu olkuskiego znaczna część koncentracji ołowiu jest związana z mineralizacją węglanową, której nie zawsze towarzyszy galena lub inne utlenione

minerały cynku czy żelaza (Cabała 1996b). W świetle poczynionych obserwacji uzasadnione jest wzięcie pod uwagę tezy W. Żabińskiego (1964) o pierwotnym pochodzeniu części cerusytu. Sugestię o takiej genezie niektórych węglanowych związków ołowiu przedstawił F. Douvenzee (1929) i H. Gruszczyk (1956) opierając się na wykryciu koncentracji ołowiu nie wykazujących śladów mineralizacji siarczkowej.

7.3. Stopień utlenienia siarczków żelaza

Średni stopień utlenienia siarczków żelaza w złożach jest stosunkowo wysoki (tab. 3) i mało zróżnicowany w obszarach analizowanych złóż, co znajduje wyraz w niskich wartościach współczynników zmienności. Znacznie niższe, odbiegające od wartości średnich, utlenienie



Rys. 9. Zbiorecze rozkłady stopnia utlenienia siarczków żelaza (UtFe) w profilach pionowych złóż (9a, ..., 9i)

Fig. 9. Distribution setting of oxidation degree of iron sulphides (UtFe) in profiles of ores (9a, ..., 9i)

siarczków żelaza obserwowane jest w rudach ze złoża Pomorzany ($UtFe = 25\%$). W Gołuchowicach natomiast średni stopień utlenienia siarczków żelaza jest bardzo wysoki i osiąga wartość 92% . Tak znaczne zróżnicowanie stopnia utlenienia siarczków jest związane z nasileniem i specyficznym charakterem okruszcowania pirytem i markasytem. W Pomorzanych zawartości procentowe żelaza w rudach są najwyższe ($Fe = 7,4\%$), w Gołuchowicach natomiast najniższe ($Fe = 1,59\%$).

Dodatkowo obserwuje się istotny wzrost utlenienia siarczków w rudach zalegających wysoko nad poziomem morza (rys. 9); ich średni stopień utlenienia jest wtedy o 10 do 15% wyższy aniżeli w rudach występujących na niższych głębokościach bezwzględnych. W złożach: Sikorka (rys. 9a), Olkusz (rys. 9b), Pomorzany (rys. 9c), Krzykawa (rys. 9e) oraz Klucze (rys. 9f) najintensywniej utlenione siarczki żelaza występują w stropowych ich częściach. W złożach Rodaki-R. (rys. 9g) i Gołuchowice (rys. 9h) stopień utlenienia siarczków jest jednakowy w całym profilu złoża, natomiast w złożach Laski i Klucze (rys. 9d,f) wysokim stopniem utlenienia siarczków żelaza cechują się rudy zalegające w najgłębiej położonych ich częściach. Rozwój utlenienia siarczków żelaza w spagowych partiach niektórych złóż jest związany ze skomplikowanym układem krążenia dotlenionych wód descenzyjnych w tektoniczno-krasowym układzie hydraulicznym (Cabała 1993).

Dla większości gniazd rudnych (np. otwory: BL-114, L-148, BL-317, BL-299, L-22, BL-264, RR-44, RR-57, RR-52, RR-69, BK-183, BK-98, BK-90, ZN6-29, ZK8-28, ZM6-7) charakterystyczne jest selektywne utlenienie siarczków żelaza ($UtFe > 90\%$), w sytuacji gdy pozostałe siarczki (cynku i ołowiu) są nieutlenione. Świadczy to o intensywnym rozwoju pierwszego etapu utlenienia, w którym uruchomieniu ulegają głównie siarczki żelaza. W składzie mineralnym takich rud obok tlenków żelaza charakterystyczna jest obecność trwałych i nietrwałych siarczanów (gipsu, melanterytu, podrzędnie siarczanów cynku i ołowiu, brak natomiast w tym etapie trwałych węglanów cynku i ołowiu).

Podsumowanie

Najlepsze siarczkowe partie złóż olkuskich występowały w centralnych obszarach rowu Bolesławia, Pomorzany i Olkusza. W ich obrębie wtórne zmiany nie zaznaczały się w rudach prawie wcale. W obszarach niektórych złóż (Gołuchowice, Rodaki, Zawiercie) strefy utlenienia znajdują się w początkowych etapach rozwoju, dlatego utlenieniu uległy jedynie siarczki żelaza, natomiast siarczki cynku są utlenione w nieznacznym stopniu (do 5%).

Nieco gorsze pod względem jakości są rudy z obszarów płytkich i silnie stektonizowanych rowów. W sąsiedztwie licznych uskoków występują izolowane gniazda rud utlenionych cynku. W tych obszarach znaczny stopień utlenienia osiągają siarczki żelaza ($> 50\%$), co wskazuje, że wtórne procesy rozwijają się jedynie w uprzywilejowanych strefach (strefy krasowe, uskoki, okna erozyjne w utworach kajpru).

Silnym rozwojem wtórnych zmian cechują się obszary (rys. 8), w których dolomity kruszczone zalegają wyżej aniżeli $+250$ m n.p.m. Najczęściej obejmują one struktury typu zrębów i półzrębów, rzadziej płytkich rowów tektonicznych. Rozwój utlenienia na tych obszarach ma charakter frontalny, obejmuje prawie cały interwał okruszcowany.

Dla prawidłowej oceny jakości rud Zn-Pb i ich podatności na flotację konieczne jest nie tylko określenie zawartości cynku i ołowiu, ale także wielu innych istotnych składników, takich jak: minerały ilaste, krzemionka, tlenki żelaza oraz stopień utlenienia głównych siarczków. Dla prawidłowego prowadzenia procesów wzbogacania i flotacji niezwykle istotna jest znajomość proporcji w zawartości w nadawie siarczków oraz utlenionych minerałów cynku, ołowiu i żelaza.

W obszarze olkuskim najlepsze, siarczkowe rudy występowały w rowach Pomorzany i Olkusz-Bolesław. Jednakże zasoby z tych obszarów zostały w znacznej części już wyeksploatowane. Najlepsze jakościowo rudy w złożach nie objętych dotychczas eksploatacją występują w złożach Klucze i Zawiercie. W złożu Łaski zawartości cynku i ołowiu nie odpowiadają obecnie przyjętym kryteriom bilansowości.

W Kluczach zmienność mineralizacji jest duża, formy ciał rudnych są nieco inne aniżeli w dotychczas eksploatowanych złożach, charakterystyczne jest znaczne „rozwleczenie” mineralizacji w profilu pionowym złoża (do 400 m) i obecność bilansowych gniazd rudnych w utworach dewonu. Możliwości udostępnienia tego złoża zostały przedstawione w artykule J. Kickiego i P. Saługi (1999), gdzie autorzy wskazują na geologiczne i ekonomiczne przesłanki do udostępnienia złoża Klucze i powiększenia tym sposobem bazy zasobowej złoża Pomorzany.

Jakość rud w kierunku wschodnim i północnym rejonu olkuskiego zmienia się wyraźnie, co przejawia się wzrostem udziału ołowiu i srebra w rudzie, zmienia się także stopień utlenienia siarczków. Znacznie silniej utlenione są siarczki cynku, dlatego uzyskanie koncentratów sfalerytowych na drodze flotacji będzie utrudnione, a znaczna część cynku związanego w węglanach i siarczanach może przechodzić do odpadów. W kierunku wschodnim pojawia się także na większą skalę baryt (otwory B-660, B-678, BK-58, BK-68), który nie ma jednak istotnego wpływu na jakość rud.

W odniesieniu do siarczków ołowiu ich stopień utlenienia w części wschodniej jest podobny jak w złożach dotychczas eksploatowanych, jednak wobec wyższych zawartości galeny w złożach Sikorka i Klucze należy spodziewać się znacznego wzrostu udziału węglanów ołowiu (cerusytu) w rudach. Cerusyt w procesach flotacyjnego wzbogacania zachowuje się inertnie i przechodzi do odpadów. Wysokie i zmienne zawartości w rudach tlenków żelaza, minerałów ilastych i krzemionki (stwierdzone w otworach ze złóż Sikorka i Zawiercie) także niekorzystnie będą wpływać na wydajność procesów flotacji.

Przy udostępnianiu nowych rejonów eksploatacji (np. złożo Klucze) i określaniu wartości złóż, należy uwzględnić zmiany jakościowe rud w ich obszarze oraz zmienność okruszcowania, które w znacznym stopniu mogą obniżyć ich wartość ekonomiczną z uwagi na konieczność selektywnego prowadzenia eksploatacji oraz modyfikacji procesów przeróbki.

LITERATURA

- Błajda R., 1985 — Geologiczno-górnicy obraz złóż rud Zn Pb rejonu olkuskiego. *Gosp. Sur. Min.* t. 1, z. 1, s. 199—208.
- Bourgeois M., (red.) 1976 — La corrosion et l'incrustation dans les forages d'eau. 76 SGN, 379 AME. Bureau de Recherches Geologiques et Minières. Service Geol. National.
- Cabała J., 1993 — Wpływ czynników epigenetyczno-wietrzeniowych na charakter mineralizacji cynkowo-ołowiowej w rejonie olkusko-zawierciańskim. Praca. dokt. Arch. WNoZ UŚI. Katowice. [Influence of epigenesis and

- weathering factors on the character of zinc and lead mineralization in the Olkusz-Zawiercie area (in Polish). PhD Th. Sosnowiec: Silesian Univ.]
- Cabała J., 1995 — Structural characteristics of tectonic horsts and grabens in the area of zinc and lead ore occurrence near Olkusz. [In:] *Mechanics of Jointed and Faulted Rock*. Balkema edited by H.P. Rossmanith. Institute of Mechanics, TU Vienna April p. 335—340.
- Cabała J., 1996a — Active mode of tectonic deformation of Silesian -Cracovian Zn-Pb ore mine area. *Tectonophysics of Mining Areas*, Prace Nauk. UŚ nr 1602, s. 65—78. Katowice.
- Cabała J., 1996b — Występowanie cerusytu i stopień utlenienia siarczków ołowiu w rudach Zn-Pb rejonu olkusko-zawierciańskiego. *Zesz. Nauk. Polit. Śląsk. Górnictwo* z. 230, nr 1343 s. 223—242.
- Cabała J., 1998 — Zmienność zawartości krzemionki i minerałów ilastych w rudach cynkowo ołowionych rejonu olkusko-zawierciańskiego. *Prace Naukowe GIG nr 24*. [W:] *Problemy geologii w ekologii i górnictwie podziemnym*. Katowice, s. 121—130.
- Chu-Tuan-Nha, Kubisz J., 1973 — Cechy typomorficzne siarczków Zn,Pb i Fe ze złóż śląsko-krakowskich. *Prace Mineral.* nr 32, s. 61.
- Douvensee F., 1929 — Die oberschlesische Bleizinkerlagerstätte auf Grund der Ergebnisse der geologischen Untersuchung der Deutsch-Bleischarley — grube. *Metall. Erz*, XXVI, H. 19.
- Dżułyński S., Sass-Gustkiewicz M., 1985 — Hydrothermal karst phenomena as a factor in the formation of Mississippi Valley — type deposits. [In:] Wolf, K.H. (Ed.), *Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits*, Elsevier, Amsterdam, 13, 391—439.
- Ekiert F., 1959 — Złoże kopalni Bolesław na tle geologii obszaru pomiędzy Sławkowem a Olkuszem. *Biul. IG* nr 101, s. 139.
- Gałkiewicz T., 1983 — Prawidłowości wykształcenia śląsko-krakowskich złóż cynkowo ołowionych, *Prace Geol.* nr 125, Warszawa.
- Gruszczyc H., 1956 — O wykształceniu i genezie śląsko-krakowskich złóż cynkowo-ołowianych. *Biul. Inst. Geol.*, s. 186. Warszawa.
- Harańczyk C., 1965 — Geochemia kruszców śląsko-krakowskich złóż rud cynku i ołowiu, *Prace. Geol.* nr 5, s. 111.
- Harańczyk C., 1962 — Mineralogia kruszców śląsko-krakowskich złóż cynku i ołowiu. *Prace Geol.* nr 8.
- Hubicka-Ptasińska M., Mochna K., Sass-Gustkiewicz M., 1985 — Sukcesja mineralna w złożu rud cynku i ołowiu w kopalni Pomorzany oraz wstępna charakterystyka geochemiczna wybranych generacji siarczków. *Rocz. PTG* nr 53, s. 127—142.
- Kicki J., Saługa P., 1999 — Uwarunkowania udostępnienia i eksploatacji złoża „Klucze”. *Rudy i Metale Nieżelazne* 44 (12), s. 661—666.
- Krajewski R., 1956 — Z badań nad wskaźnikami zmienności polskich złóż kruszczowych. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia* z. 1.
- Mochna K., Sass-Gustkiewicz M. 1982 — Złoże rud cynku i ołowiu kopalni Pomorzany (rejon śląsko-krakowski). *Geologia* t. 8, z. 1 s. 45—56.
- Nieć M., 1977 — Zmienność śląsko-krakowskich złóż rud cynku i ołowiu. *Rudy i Metale Nieżelazne* 22 (3), s. 142—147.
- Nieć M., 1983 — Model zmienności zawartości metali w gnieździe rudy Zn-Pb w kopalni Bolesław koło Olkusza. *Rocz. PTG* t. 53, z. 1—4, s. 177—186.
- Piekarski K., 1965 — Wpływ wietrzenia dolnojurańskiego na złoża Zn-Pb w trąsie śląsko-krakowskim. *Prz. Geol.* 13, nr 2.
- Potoczek W., 1975 — Określenie konturu złoża Zn-Pb w Olkuszku na podstawie analizy zmienności mineralizacji oraz budowy geologicznej. *Praca dypl. (niepubl.) Arch. IHiGI AGH, Kraków*.
- Radwanek B., 1981: Wykształcenie strefy wietrzenia złóż Zn-Pb obszaru Bolesławia i Olkusza. *Praca dokt., Arch. AGH, Kraków*.
- Sass-Gustkiewicz M., 1975 — Zinc and Lead Mineralization in Collapse Breccias of the Olkusz Mine. *Rocz. PTG* 45, 3—4. s. 303—326.
- Sass-Gustkiewicz M., 1985 — Górnosląskie złoża rud Zn-Pb w świetle migracji roztworów mineralizujących. *Zesz. Nauk AGH, Geologia* z. 31 s. 119.
- Sass-Gustkiewicz M., 1996 — Internal sediments as a key to understanding the hydrothermal karst origin of the Upper Silesian Zn-Pb ore deposits. In: Sangster, D.F. (Ed.), *Carbonate-hosted Lead-Zinc Deposits*, Spec. Publ. Amer. Soc. Econ. Geol. 4 p. 171—181.
- Sass-Gustkiewicz M., Socha J., 1982 — Inicjalne formy krasowe w złożu rud cynku i ołowiu rejonu olkuskiego. *Kwart. AGH, Geologia* t. 8, z. 4, s. 59—70.

- Smirnow S.S., 1951 — Zona okislenija sulfidnych mestorożdenij. Izdatielstwo Akademii Nauk SSSR, Moskwa.
- Socha J., Wnuk R., 1998 — Niektóre aspekty gospodarki złożem w kopalniach Zn-Pb Olkusz i Pomorzany pod koniec lat 90-tych. Mat. Konf.: Wykorzystanie zasobów złóż kopalin użytecznych. PAN, MOŚZNIŁ, AGH, Kraków s. 165—174.
- Strzelska-Smakowska B., Paulo A., 1995 — Ocena możliwości i ekonomicznej celowości zagospodarowania złóż metodą wartości zaktualizowanej netto (NPV). Mat V Konf.: Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi, CPPGSMiE PAN, Kraków.
- Wawerska B., 1975 — Charakterystyka hydrochemiczna wód triasowych regionu śląsko-krakowskiego. Rudy i Metale nr 8, s. 409—417.
- Wilk Z., Motyka J., Józefko I., 1984 — Investigations of some hydraulic properties of karst solution openings and fractures. Ann. Soc. Geol. Polon. nr 54, s. 15—43. Kraków.
- Wilk Z., Motyka J., 1977 — Kontakty między poziomami wodonośnymi w olkuskim rejonie kopalnictwa rud. Roczn. PTG vol. XLVII—1, s. 115—143.
- Żabiński W., 1960 — Charakterystyka mineralogiczna strefy utlenienia śląsko-krakowskich złóż kruszców cynku i ołowiu. Prace Geol. nr 1, Wyd. Geol., Warszawa.
- Żabiński W., 1964 — Z badań geochemicznych strefy utlenienia śląsko-krakowskich złóż kruszców cynku i ołowiu. [W:] Z badań mineralizacji utworów triasu w Polsce, Prace Geol. nr 19, Wyd. Geol., Warszawa.

JERZY CABAŁA

DIVERSITY OF Zn-Pb ORES QUALITY AND EPIGENETIC CHANGES OF THEIR CHEMISTRY IN OLKUSZ REGION

Key words

Zn-Pb ores, mineralogy and chemistry Zn-Pb, sulphide ores, oxidized ores

Abstract

Basing on the completed analyses of zinc and lead samples, which were collected from Olkusz-Zawiercie area, geostatic analyses were carried out and the most important mineral and chemical regularities and their changes were determined. According to the obtained results the author described the significant factors having an influence on mineralogy and chemistry of Zn and Pb ores. The occurrence of the mineralized zones was characterized in horsts and grabens area. Ore mineral composition and variability of dominant sulphides constants were shown in the paper. The particular attention was paid to galena and cerussite and their high contents in eastern and peripheric part of Olkusz region. Variability of Zn-Pb contents was estimated. It was shown that the shape of the cumulated curves and variability connected with sulphide ores mineralization are unlike to oxidized ores or to these ones which show the high level of lead mineralization. The most important factors having an influence on oxidation of sulphides were indicated as well as the conditions of ore pocket occurrence, variability of mineralization in horsts and grabens, hydrogeological conditions and the meaning of the hypsography of ore horizon were characterized. Moreover, the variability of oxidation degree for dominant sulphides in particular ores were also described. The attention was paid to variability of sulphide oxidation in Sikorka and Klucze which is different from this one occurring in other parts of the area. The oxidation degree of lead sulphides was analysed and on the ground of the analyses the cause of increase of cerussite content in Sikorka, Klucze and Olkusz ores were shown. There was presented the direct connection between oxidation of iron sulphides and depth of deposits. The most important regularity of ore quality changes were shown in the Olkusz area.