

dr hab. Jerzy Cabała
dr Jarosław Badera

**SPOŁECZNE i ŚRODOWISKOWE
UWARUNKOWANIA BUDOWY
KOPALNI RUD CYNKU i OŁOWIU
NA TERENIE GMINY ŁAZY**

Część II

**Ekonomia
Geologia i górnictwo
Oddziaływania bezpośrednie**

Łazy, kwiecień 2014

Niniejsze opracowanie powstało na zamówienie Burmistrza Łazy i jest odpowiedzią na duże zainteresowanie lokalnej społeczności pracami geologicznymi prowadzonymi na terenie Gminy od 2010 r. przez firmę Rathdowney Polska Sp. z o.o. Celem tych prac jest dokładniejsze rozpoznanie i udokumentowanie nagromadzeń rud cynkowo-ołowiowych w rejonie zawierciańskim. Złoże te znane są od lat 50. XX wieku, ale nigdy jeszcze nie były przedmiotem zagospodarowania górniczego. Możliwość lokalizacji kopalni na terenie gminy Łazy lub w jej sąsiedztwie z jednej strony wzbudza szereg zrozumiałych obaw społecznych na tle środowiskowym, z drugiej stanowić może szansę rozwoju gospodarczego. Zagadnienie wymaga szczegółowej analizy potencjalnych korzyści i zagrożeń, z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju. Kluczową rolę odgrywa przy tym społeczna akceptacja dla inwestycji lub też jej brak.

Celem prezentowanego opracowania jest dostarczenie podstawowych informacji władzom oraz społeczeństwu gminy Łazy w zakresie, w jakim jest to możliwe na obecnym, wstępnym etapie prac i procedur. Rozważania mają charakter dość ogólny i bazują głównie na wiedzy teoretycznej. Nie stanowią analizy konkretnego projektu górniczego, choć w niektórych przypadkach oceniono jego możliwe warianty. Wykorzystano doświadczenia z rejonu olkuskiego i innych obszarów funkcjonowania przemysłu cynkowo-ołowiowego, z jednoczesnym uwzględnieniem lokalnych uwarunkowań społecznych, gospodarczych i środowiskowych. Analizę ograniczono do gminy Łazy, pamiętać jednak należy, że złoże rud oraz potencjalne oddziaływanie eksploatacji obejmują także tereny gmin sąsiednich.

Część I opracowania obejmuje wprowadzenie do tematu, obszernie streszczenie w języku niespecjalistycznym oraz zasadnicze wnioski wyływające z opracowania. W części II omówiono szczegółowo kwestie ekonomiczne, geologiczno-górnicze oraz bezpośrednie oddziaływanie górnictwa na poszczególne elementy środowiska. W części III skupiono się na oddziaływaniach pośrednich, potencjalnych korzyściach dla Gminy oraz procedurach formalno-prawnych.

SPIS TREŚCI cz. II

1. Światowa gospodarka cynkiem i ołowiem	4
1.1 Wprowadzenie	4
1.2 Polska	4
1.3 Świat	5
1.4 Prognozy kształtowania się cen cynku	8
1.5 Ceny cynku i ołowiu	12
2. Charakterystyka złoża	15
2.1 Historyczne uwarunkowania górnictwa i lokalizacja obszaru złożowego	15
2.2 Geologia śląsko krakowskich złóż rud Zn-Pb	17
2.3 Złoża rejonu Zawiercia	37
3. Charakterystyka górnictwa i przeróbki rud	54
3.1. Historia eksploatacji i przeróbki rud Zn-Pb	54
3.2. Systemy eksploatacji rud stosowane w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat	55
3.3 Potencjalna eksploatacja rud Zn-Pb w obszarze złoża Zawiercie I i II i Rodaki-Rokitno	56
3.4 Technologie produkcji metali	59
4. Bezpośrednie oddziaływania na środowisko	62
4.1 Powierzchnia terenu	66
4.2 Środowisko wodne	70
4.3 Powietrze	79
4.4 Gleby	79
5. Literatura	84

1. Światowa gospodarka cynkiem i ołowiem

1.1 Wprowadzenie

Rozwój cywilizacyjny nierozzerwalnie wiąże się z pozyskiwaniem i wykorzystaniem surowców mineralnych, wśród których szczególną rolę odgrywały metale kolorowe i szlachetne. Metale były i nadal są ważnym surowcami warunkującymi rozwój gospodarczy, jednocześnie ich pozyskiwanie i przeróbka prowadzą do zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego. Od wczesnego średniowiecza w Europie na terenach, gdzie płytko zalegały rudy srebra i ołowiu, złota, arsenu i żelaza powstały liczne kopalnie, w sąsiedztwie których rozwinęły się miasta górnicze (np. Olkusz, Bytom, Kutna Hora, Goslar, Złoty Stok, Mansfeld i inne). Od XII wieku rosło zainteresowanie górnictwem rud metali, któremu towarzyszył rozwój technik eksploatacji, wzbogacania i hutnictwa. Z początkiem XIX wieku datuje się szybki wzrost produkcji cynku związany z wysokimi cenami tego metalu. W drugiej połowie XIX wieku wartość jednej tony cynku odpowiadała wartości 900 ton węgla, a do wytopienia 1 tony cynku zużywano około 20 ton węgla (Cabała 2010).

1.2 Polska

W 1860 roku z obszaru Śląska i Zagłębia uzyskiwano prawie 40% światowej produkcji cynku (Cabała, Sutkowska 2006). Na początku XX wieku i w okresie międzywojennym większą produkcję cynku miały tylko USA i Belgia. W drugiej połowie XX wieku Polska była liczącym się producentem tego metalu. Obecnie perspektywy wydobywania rud Zn-Pb w Polsce są ograniczone ze względu na brak udostępnionych górniczo zasobów bilansowych. Eksploatacja jest jeszcze prowadzona w kopalniach Pomorzany i Trzebionka. Jednak za kilka, najdalej 10 lat ostatnia czynna kopalnia (Kop. Pomorzany) zakończy wydobycie rud, które na ziemiach polskich miało kilkusetletnią tradycję. Obecnie wielkość produkcji cynku w Polsce kształtuje się na poziomie ok. 140 tys. ton. Udział Polski w globalnej produkcji cynku wynosi około 1 procenta. Produkcja prawie w całości jest realizowana przez firmy należące do grupy kapitałowej ZGH Bolesław S.A. Od grudnia 2012 roku, po sprzedaży przez Skarb Państwa ok. 87% akcji kapitału zakładowego ZGH "Bolesław" S.A., spółka należy do Grupy Kapitałowej Stalprodukt S.A. W skład grupy kapitałowej ZGH "Bolesław" S.A. wchodzi między innymi spółki produkujące cynk lub jego stopy, do najważniejszych należą:

ZGH Bolesław w Bukownie S.A. produkuje około 70 do 75 tys. ton cynku, są to różne sortymenty np.: cynk elektrolityczny, stopy ocynkownicze (Wegal, ZZA, Zamak), anody cynkowe, galenę flotacyjną, kwas siarkowy oraz odzyskiwane ze szlamów srebro. Firma posiada własną kopalnię rud Zn-Pb oraz zakład wzbogacania flotacyjnego produkujący koncentraty cynkowe i ołowiowe. Produkcja jest realizowana dzięki metodom hydrometalurgicznym oraz elektrolizie.

ZGH Bolesław posiada także pakiet kontrolny kopalni rud cynku Gradir Montenegro d.o.o. w Czarnogórze, gdzie prowadzone jest wydobywanie i produkcja koncentratów cynku, które są importowane i wykorzystywane w Bukownie do produkcji cynku elektrolitycznego. Po podpisaniu umów na dostawy koncentratów cynkowych, ZGH Bolesław S.A. prowadzi obecnie postępowanie w celu sprzedaży udziałów w tej kopalni na rzecz spółki Balkan Mining Group Ltd.

Huta Cynku Miasteczko Śląskie S.A. produkuje około 70 tys. ton cynku oraz 25 tys. ton ołowiu rafinowanego. Produkcja oparta jest o hutniczą metodę ISP (Imperial Smelting Process). Technologia ISP polega na równoczesnym wytapianiu cynku i ołowiu w piecu szybowym. Metoda ta pozwala na wykorzystanie tańszych materiałów wsadowych, nie nadających się do procesu elektrolizy. Podstawowym paliwem jest koks wielkopiecowy. Obecnie HCM S.A. jako jedyna w Europie stosuje ISP jako metodę produkcji Zn i Pb. Huta produkuje kilka gatunków cynku (np. SHG 999,995%) i ołowiu, stopy ocynkownicze, kadm metaliczny (99,99%), kwas siarkowy, gips syntetyczny, metal Dore'a (98,5% srebra).

Bolesław Recycling Sp. z o.o. wchodzi w skład grupy kapitałowej ZGH "Bolesław" S.A. Firma powstała na bazie dawnego Wydziału Huty Tlenku Cynku. Firma zajmuje się przerobem i odzyskiem cynku z odpadów cynkonośnych przy wykorzystaniu pieców przewałowych Waelz'a. Przerabiane są odpady stalownicze zawierające cynk (pochodzące np. z Huty Zawiercie) oraz szlamy z hydrometalurgicznej produkcji cynku. Wielkość produkcji systematycznie rośnie, firma działając proekologicznie dzięki wprowadzeniu najnowszych dostępnych metod (BAT) utylizuje odpady zawierające w swoim składzie cynk, kadm i ołów. Produktem finalnym firmy rocznie jest około 35 tys. ton koncentratów Zn i Pb. Koncentraty są wykorzystywane do produkcji metali w ZGH Bolesław oraz Hucie w Miasteczku.

1.3 Świat

Wśród krajów, największych 10 producentów górniczych cynku największy udział w produkcji mają Chiny. Pozostała część pierwotnego cynku produkowana jest w wielu krajach na różnych

kontynentach. Jedynym europejskim krajem, który należy do grona największych producentów jest Irlandia będąca na 10 miejscu. Analiza ta pokazuje, że zasoby rud cynku w Europie nie są duże i istnieje znacząca dysproporcja między wielkością produkcji metalicznego cynku, a zasobami rud tego metalu. Od wielu lat europejskie huty (w Niemczech, Belgii, Norwegii, Wielkiej Brytanii) w znacznej części opierają swoją produkcję o importowane koncentraty, złomy cynkowe lub zawierające cynk odpady.

Kraje, producenci cynku wg. rocznej, globalnej wielkości produkcji (Wg. USGS 2012):

1. Chiny. Produkcja górnicza wynosi **4,6 mln ton.**

Państwo Środka jest największym producentem cynku, w 2013 roku udział w światowej produkcji wynosił około 35%. Produkcja cynku w Chinach od kilku lat jest wyższa niż można oczekiwać. Wg Financial Times 2013 osłabienie wzrostu produkcji w Chinach przy nadal rosnącym popycie przemysłu na ten metal może być znaczące dla cen cynku na rynkach światowych.

2. Australia. Produkcja górnicza wynosi **1,49 mln ton.**

Od 1883, cynk jest istotną częścią gospodarki australijskiej. Główne kopalnie cynku w Australii to „McArthur River” w Terytorium Północnym i „Carrington” w Queensland. Słynna „Century Mine”, największa kopalnia cynku, zostanie zamknięta w 2016 roku ze względu na wyczerpywanie się zasobów.

3. Peru. Produkcja górnicza wynosi **1,27 mln ton.**

Wydobycie cynku w Peru datuje się od czasów hiszpańskiej epoki kolonialnej. Nowoczesna rafinacja cynku i stały wzrost wydobycia datuje się od 1922 roku. W ostatnich latach uruchomiono kilka nowych kopalń cynku.

4. Stany Zjednoczone. Produkcja górnicza wynosi **748 tys. ton.**

Stany Zjednoczone obok Chin są czołowym konsumentem cynku, zużywając około jednej siódmej całkowitej produkcji światowej. W rezultacie oprócz pierwotnego cynku pochodzącego z kopalń sprowadza się także przetworzone produkty i cynk metaliczny. Położona na Alasce kopalnia „Red Dog” zaliczana jest do największych kopalń cynku na świecie.

5. Indie. Produkcja górnicza wynosi **690 tys. ton.**

Indie, są krajem gdzie według International Zinc Association cynk był po raz pierwszy otrzymany jako nowy metal; w tym czasie był to jeden z ośmiu metali znanych ludzkości. Kraj jest nadal ważnym producentem cynku, a kopalnie zwiększają wydobycie. Na przykład „Vedanta Resources”, zanotowała 16-procentowy wzrost produkcji cynku w drugim kwartale 2013 roku.

6. Kanada. Produkcja górnicza wynosi **640 tys. ton.**

Produkcja cynku w Kanadzie rozpoczęła się w 1916 roku, kopalnie cynku działające obecnie znajdują się w Kolumbii Brytyjskiej, Saskatchewan, Manitoba, Ontario, Quebec, Terytoriach Północno-Zachodnich, Yukon i Nunavut. Większość produkcji cynku prowadzona jest za pośrednictwem procesu elektrolitycznego, dzięki czemu uzyskiwany jest cynk o wysokiej czystości powyżej 99%. wartość rocznej produkcji cynku w Kanadzie oceniana jest na ok. na 1.8 miliarda dolarów.

7. Meksyk. Produkcja górnicza wynosi **630 tys. ton.**

Największymi kopalniami cynku w Meksyku są „Proaño”, „Campo Morado”, „La Cienega” i kopalnie „Penasquito”. Wiele kopalń cynku w Meksyku produkuje również znaczącą ilość ołowiu. Według Reutersa, Grupa Mexico rozważa budowę rafinerii cynku w północnym regionie kraju. Firma uważa, że konieczne jest posiadanie możliwości przetworzenia całego wytworzonego koncentratu.

8. Boliwia. Produkcja górnicza wynosi **430 tys. ton.**

Wiodącym producentem cynku w Boliwii jest Minera San Cristobal, spółka zależna japońskiego Sumitomo. Drugim co do wielkości producentem w kraju jest Sinchi Wayra, której większościowym udziałowcem jest Glencore International, wchodzący obecnie w skład jednej z największych światowych firm górniczych Xstrata.

9. Kazachstan. Produkcja górnicza wynosi **420 tys. ton.**

Według raportu Business Monitor International, wartość przemysłu wydobywczego w Kazachstanie w 2017 roku osiągnie 29,5 miliardów dolarów. Zasoby cynku lokują ten kraj na szóstym miejscu na świecie. Najbogatsze złoża znajdują się we wschodniej części kraju.

10. Irlandia. Produkcja górnicza wynosi **345 tys. ton.**

Irlandia, największy w Europie producent cynku. Znaczące zasoby cynku i ołowiu znajdują się w rejonie Navan, działają tam także kopalnie w Lisheen i Galmoy. Kopalnia Tara w Navan jest szóstą co do wielkości kopalnią cynku na świecie, podczas gdy kopalnia Lisheen jest na 12 miejscu.

1.4 Prognozy kształtowania się cen cynku

Financial Times (22.11.2013) poinformował, że pomimo tego, iż w ostatnich kilku latach poziom cen cynku nie należał do najwyższych to coraz większa liczba inwestorów i analityków optymistyczne przewiduje gwałtowne wzrosty cen tego metalu w ciągu najbliższych kilku lat.

U postaw optymistycznych prognoz wzrostu cen leży przekonanie, że planowane w najbliższym czasie zamknięcie kilku dużych kopalń cynku spowoduje spadek podaży, jednocześnie obecne rozpoznanie bazy zasobowej rud cynku pozwala wnioskować że nie będzie można uruchomić nowych projektów górniczych, które uzupełniłyby brakujące dostawy cynku lub jego koncentratów.

Kopalnie „Brunswick” i „Perseverance” w Kanadzie które są własnością Xstrata , zostały zamknięte na początku 2013 roku. Planowane jest zamknięcie dalszych dużych kopalni cynku na świecie. Pod koniec 2014 roku firma Vedanta planuje zamknąć kopalnię Lisheen w Irlandii, będącą jedną z kilkunastu największych kopalń na świecie. W 2016 roku trzecia co do wielkości kopalnia cynku na świecie, „Century” w Australii, zaprzestanie wydobywania. W tym samym czasie , istnieje jedynie kilka projektów na dużą skalę gotowych wypełnić lukę. A te, które są prowadzone mają duże opóźnienia inwestycyjne, np. MMG, międzynarodowe ramię Minmetals Chiny , stwierdziło, że jego projekt „Dugald River” w Australii prawdopodobnie nie rozpocznie produkcji od 2015 roku.

Firmy - najwięksi producenci cynku

Cynk jest na tyle ważnym metalem, że coraz więcej inwestorów i analityków uważa, że w ciągu najbliższych kilku lat jego cena gwałtownie wzrośnie. Ma wiele zastosowań, może być stosowany w galwanizacji, bateriach oraz jako środek antykorozyjny. Cynk jest również istotny w niektórych technologiach źródeł odnawialnej energii. Firmą, która produkuje najwięcej cynku na świecie jest Nyrstar, kooperacja firm australijskich i belgijskich. Na światowym rynku cynku podobnie jak rynkach innych metali zaznacza się wyraźna konsolidacja kapitału, co przejawia się dominacją dużych firm. Najwięksi producenci to ponadnarodowe firmy, które powstały w wyniku fuzji, kooperacji lub przejęcia innych firm z branży górniczej, hutniczej oraz współpracy instytucji z sektora finansowego (Fig. 1). Firmy te często produkują różne metale, kontrolują nie tylko kopalnie lub huty jednego surowca, ale często wielu różnych surowców,

które mogą być wydobywane wspólnie np. cynk, ołów i srebro lub osobno np. cynk, złoto czy aluminium.

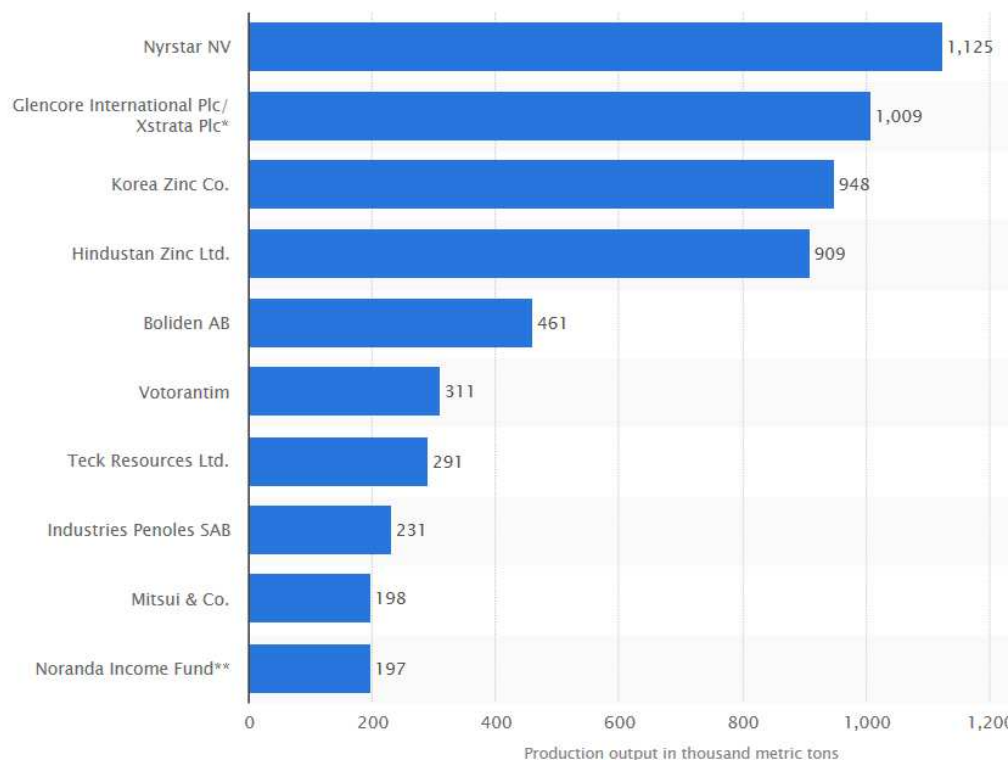


Figura 1 Firmy, najwięksi producenci cynku na świecie w 2011r. (Wg. www.statista.com)

Największe kopalnie cynku na świecie (Indie, Australia, Alaska w USA) są własnością Hindustan Zinc, MMG, Nana i Teck Resources.

Kopalnia Rampura Agucha (Indie)

Kopalnia Rampura Agucha w Indiach jest największą na świecie kopalnią cynku. Kopalnia rozpoczęła eksploatację w 1991 roku. Odkrywkowo - podziemna kopalnia produkuje 6,15 mln ton rudy rocznie; ruda jest mielona i wzbogacana na koncentraty cynku i ołowiu. W 2013 r. łączne rezerwy i zasoby zostały oszacowane na 109,8 mln ton, według Hindustan Zinc firma jest w trakcie przenoszenia eksploatacji pod ziemię, poniżej 372-metrowej głębokości odkrywki, zaplanowane prace podziemne rozpoczęły się w pierwszym kwartale 2014 roku.

Century Mine (Australia)

Właścicielem kopalni jest koncern MMG, kopalnia Century położona jest w północno-zachodnim Queensland i jest największą w Australii kopalnią odkrywkową. W tym roku oczekiwane wydobywanie szacuje się na 480.000 do 490.000 ton cynku w postaci koncentratu.

Kopalnia produkuje również ołów. Obecnie Century jest w okresie przejściowym - odkrywkowa produkcja cynku zakończy się w 2016 roku i MMG obecnie poszukuje możliwości rozszerzenia działalności, rozpoczyna również proces naprawy środowiska.

Według Informa Australia, Century składa się z dwóch części samej kopalni oraz stacji odwadniania i wysyłki. MMG planuje modyfikację i rozpoczęcie nowego, niedużego projektu związanego z wydobyciem fosforanów. MMG będzie nadzorować teren kopalni przez 30 lat po to, aby upewnić się, że proces likwidacji przebiega dobrze. Sama kopalnia zostanie wypełniona wodą, a okolica może być wykorzystywana rolniczo np. do wypasu bydła. W sprawach zamknięcia i rekultywacji terenu kopalni firma współpracuje z rdzennymi mieszkańcami regionu.

Red Dog (USA, Alaska)

Red Dog to kopalnia cynku i ołowiu w pobliżu Kotzebue na Alasce, została założona w 1982 roku na mocy niezwykłego porozumienia między korporacją NANA której właścicielami są Inukowie, rdzenni mieszkańcy północno-zachodniej Alaski, oraz amerykańskim oddziałem kanadyjskiej spółki górniczej Teck Resources. Kopalnia tworzy ponad 500 miejsc pracy w obszarze, gdzie praca w pełnym wymiarze czasu należy do rzadkości. Eksploatacja przebiega w sposób przyjazny dla środowiska, stwierdza NANA na swojej stronie internetowej. Ponad połowa pracowników jest również akcjonariuszami w NANA. Działająca od 1989 roku Red Dog jest obecnie jednym z największych na świecie producentów koncentratu cynku, co stanowi ok. 5 procent światowej produkcji cynku i 79 procent produkcji w USA, (Wg strony internetowej kopalni). Oryginalna strefa rudonośna Red Dog, nazwana Main Deposit, to 77 milionów ton skały zawierającej 17 procent cynku. W 1990 r. prace wiertnicze rozszerzone zostały o złoża Aqqaluk i Qanaiya, zwiększając całkowitą ilość rudy do 119 mln ton. Eksploatacja odkrywkowa jest metodą stosowaną na wszystkich złożach rudy znajdujących się blisko powierzchni.

Irlandia, górnictwo cynku (największe wydobywanie w Europie)

Sześćdziesiąt lat temu Irlandia nie miała górnictwa i pozornie nie było na nie perspektyw. Od połowy XX wieku pionierzy poszukiwań na czele z Patem Hughes'a, odkrywali kolejne złoża cynku w rejonie Galway. Doprowadziło to do boomu w zakresie poszukiwań i dalszych odkryć. W latach 60-tych XX wieku udostępniono złoża Tynag, Tara i Gortdrum, należące do grupy firm Pat'a Hughes'a. W wyniku nowych odkryć Irlandia stała się liczącym producentem

cynku posiadającym znaczne perspektywiczne zasoby. W 2007 Irlandia wydobyla 38% produkowanego w Europie Zachodniej cynku i odpowiednio 25% ołowiu. Od czasu otwarcia kopalni Tynagh w pobliżu Loughrea na początku 1960 roku do chwili obecnej Irlandia okazała się być najbardziej perspektywicznym krajem na świecie, w którym odkryto i rozpoczęto wydobycie rud cynku. Złoża występują w obrębie szerokiego pasma wapieni ciągnącego się od okolic Dundalk, poprzez równiny, aż do Clare, Limerick i Kerry. Na granicach tego obszaru zostały założone niektóre z największych i najlepszych kopalń cynku w Irlandii. Kopalnia Tara, znajdująca się w Navan, należy do firmy Boliden, działa od 35 lat, przez długi czas była największą kopalnią cynku na świecie, obecnie jest na 6 miejscu. Kopalnia Lisheen w Tipperary jest 12 największą kopalnią cynku. W czasach swojej świetności kopalnie Tynagh w Galway i Silvermines w Tipperary były największymi w Europie.

Istnieje duża szansa na zwiększenie potencjału wydobywczego, ponieważ niedawno rozpoznano trzy złoża cynku: Limerick, Pallas i Green, którego właścicielem jest Xstrata, gdzie zostało potwierdzone 28 milionów ton rudy, złoża Stonepark w pobliżu Pallas Green, należące do Connemara i Teck, gdzie spodziewane jest wydobycie ok. 5 milionów ton rudy oraz znajdujące się we wczesnej fazie poszukiwań złoża Kilbricken odkryte przez Lundin Mining w pobliżu Clare.

Ponad 30 firm prowadzi aktywne poszukiwania w Irlandii. Liczne notowane na światowych giełdach firmy wydobywcze zawdzięczają swoje powstanie cynkowi z Irlandii: Northgate, Tara i Kenmare. Irlandczycy, dzięki doświadczeniom górniczym założyli wiele firm wydobywczych w Kanadzie, Australii i Wielkiej Brytanii, w tym takie jak: Connemara, Minco, Alba, Ormonde i Rathdowney.

Poszukiwania zasobów rud Zn-Pb są intensywne na całym świecie. Inwestowaniu w poszukiwania złóż rud Zn-Pb sprzyjają perspektywy rozwoju rynku oraz fakt że pierwsi inwestorzy w Tarze i Northgate otrzymali ogromne zwroty z inwestycji. Ostatnio Minco sprzedało swoje udziały w Pallas Green za 20 mln dolarów, podczas gdy wcześniejsi inwestorzy tacy jak Ivernia z udziałami w Lisheen. Conroy/Arcon będący w posiadaniu Galmoy i Belmore właściciel Clare, którego udziały zostały wysprzedane na rynku międzynarodowym. Irlandzkie firmy górnicze są aktualnie bardzo aktywne. Złożami w rejonie Connemara, Limerick i Oldcastle interesuje się firma Teck. IMC prowadzi odwierty w Tipperary. Rathdowney, notowany w Kanadzie, lecz będący spółką Irlandzką połączył się z gigantem Antofagasta, podczas gdy Alba będąca w posiadaniu Limerick weszła w spółkę joint venture z Teck. Unicorn i Midas są to kolejne dwie irlandzkie firmy posiadające koncesje na wydobycie rud Zn-Pb. Każda z tych firm ma jeden cel, rozpoznanie i udostępnienie dużych i bogatych złóż rud cynku.

Nowe, udostępnione złoża Zn-Pb, którego właścicielem jest Xstrata dostarcza dziennie około 6000 ton rudy, co daje zatrudnienie setkom ludzi. Dla utrzymania produkcji cynku przez firmy irlandzkie na wysokim poziomie potrzebne są kolejne odkrycia. Kopalnia Lisheen ma w perspektywie tylko 8 miesięcy dalszego wydobycia, a w przypadku kopalni Tara jest to mniej niż 10 lat, jednak perspektywy zasobowe w rejonach występowania złóż irlandzkich są dobre.

1.5 Ceny cynku (Zn) i ołowiu (Pb)

Ceny cynku przez długi okres czasu kształtowały się na niskim poziomie ok. 1000 USD za tonę, niekiedy spadały nawet poniżej 900 USD za tonę. Dla niektórych firm ceny te były niższe aniżeli koszty produkcji, co skutkowało zamykaniem nierentownych kopalń. Od roku 2004 ceny zaczęły rosnąć i w listopadzie i grudniu 2006 roku osiągnęły niezwykle wysoki poziom ponad 4000 USD za tonę (Fig. 2). W okresie ostatnich 5 lat zmiany cen cynku kształtowały się w zakresie od ok. 1800 do 2400 USD za tonę (Fig. 3).



Figura 2 Ceny cynku 1989 do 2014 na Londyńskiej Giełdzie Metali (LME) w USD za tonę.



Figura 3 Ceny cynku 2009 do 2014 na Londyńskiej Giełdzie Metali (LME) w USD za tonę

Większą dynamiką zmian cen charakteryzuje się ołów. Metal ten przez długi okres czasu był znacznie tańszy od cynku, ceny ołowiu oscylowały wokół kwoty ok. 500 USD za tonę (Fig. 4). natomiast od 2004 systematycznie rosły i w okresie ostatnich 5 lat ukształtowały się na poziomie ok. 2000-2500 USD za tonę (Fig. 5). Ołów obecnie jest nieco droższy niż cynk, a wobec braku dużych zasobów tego metalu jego cena prawdopodobnie będzie rosła szybciej niż cena cynku.



Figura 4 Ceny ołowiu od 1989 do 2014 na Londyńskiej Giełdzie Metali (LME) w USD za tonę

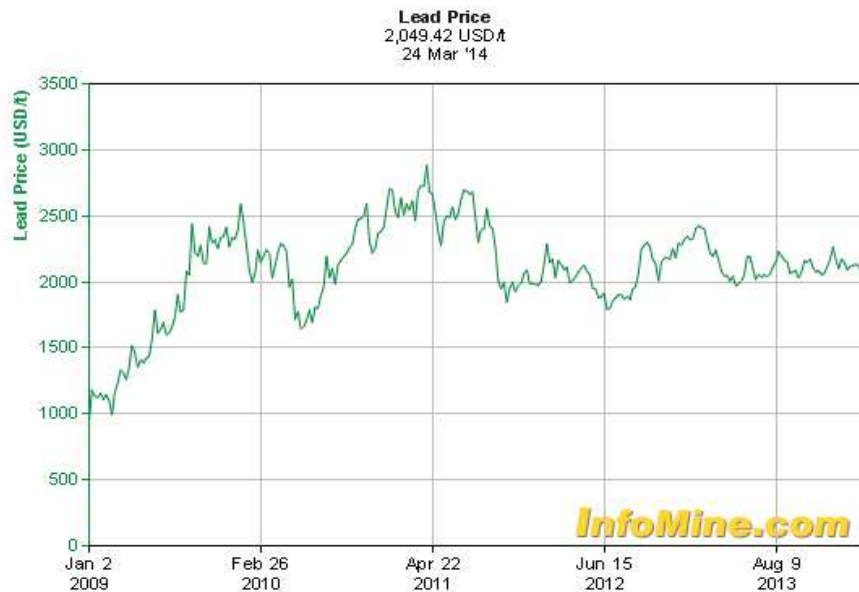


Figura 5 Ceny ołowiu od 2009 do 2014 na Londyńskiej Giełdzie Metali (LME) w USD za tonę

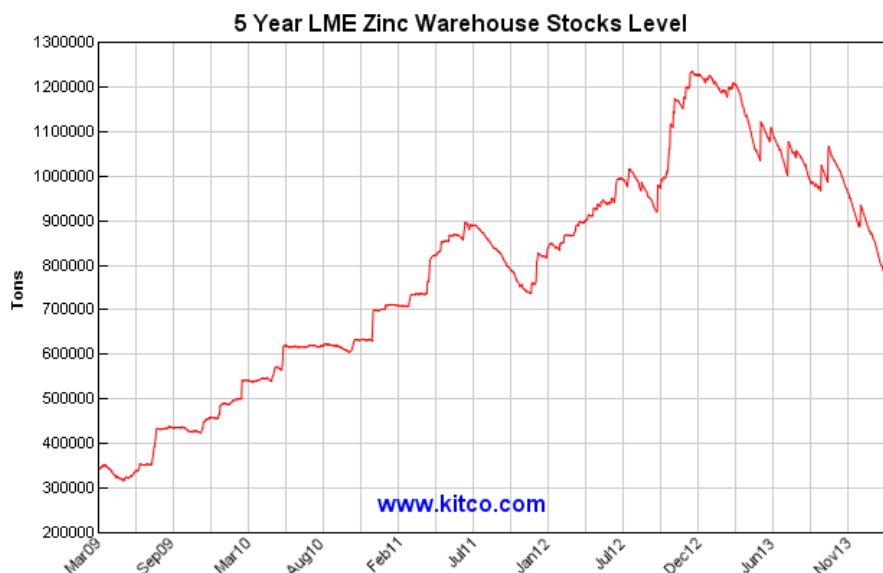


Figura 6 Wykres poziomu zapasów cynku na Londyńskiej Giełdzie Metali (LME) w okresie od 2009 do 2014r.

Analiza poziomu zapasów cynku na Londyńskiej Giełdzie Metali wskazuje że w ostatnich miesiącach zapasy szybko maleją (Fig. 6). Zapasy cynku w magazynach LME aktualnie wynoszą ok. 828,5 ton czyli zmniejszyły się o 32% od początku 2013. Analitycy i inwestorzy wskazują, że spadek poziomu zapasów cynku i ołowiu będzie wpływał na umacnianie się i wzrosty cen tych metali. Szczególnie na wartym ok. 15 miliardów USD rynku cynku. Najwięksi producenci cynku (Nyrstar i Mitsui) zwiększają ceny ze względu na obniżającą się podaż cynku na rynkach światowych przy równoczesnym wzroście zapotrzebowania ze strony Chin.

2. Charakterystyka złóż

2.1 Historyczne uwarunkowania górnictwa i lokalizacja obszaru złożowego

Obszary występowania złóż rud metali od zarania dziejów zwracały uwagę człowieka. W sąsiedztwie płytko zalegających złóż rud metali powstawały siedliska ludzi, którzy zajmowali się wydobywaniem i przeróbką metali. W Europie od wczesnego średniowiecza (XI i XII w.) zaznacza się intensywny rozwój górnictwa rud Cu, Sn, Ag, Pb, As i Fe udokumentowany danymi historycznymi oraz badaniami geochemicznymi (Cabala i inni 2013). W środkowej Europie najstarsze wczesnośredniowieczne zorganizowane górnictwo ołowiu, srebra, miedzi i cyny zostało udokumentowane od IX wieku w rejonie Gór Harzu (Rammelsberg, Goslar, Clausthal-Zellerfeld) (Alper 1998). W okresie wczesnego średniowiecza szczególnym zainteresowaniem cieszyło się srebro i ołów, z tego okresu najstarsze górnictwo opisywane jest z Gór Harzu (od roku 968), Szwarzwald (od roku 1028) i Gór Kruszcowych (od roku 1168) (Meier 2001). Od XII wieku do najważniejszych europejskich ośrodków górnictwa rud Pb-Ag należy także zaliczyć rejon śląsko-krakowski. Historyczne przekazy i badania archeologiczne wskazują, że od drugiej połowy XII wieku w rejonie olkuskim i bytomskim prowadzona była eksploatacja rud ołowiu i srebra (Molenda 1963; 1984). Historia rozwoju miast: Bytomia, Olkusz, Sławkowa, Bolesławia nierozdzielnie była związana z wydobywaniem i przeróbką rud Pb-Ag, a od wieku XIX także rud Zn. O eksploatacji srebra w kasztelanii bytomskiej wspomniane jest w *Bullie gnieźnieńskiej* papieża Innocentego II (1136 rok). Niewielka ilość przekazów historycznych, które byłyby starsze niż XII wiek powoduje, że praktycznie brak jest jednoznacznie potwierdzonych danych na temat eksploatacji ołowiu, srebra czy żelaza przed XII wiekiem. Prawdopodobne jest wydobywanie zalegających na powierzchni rud Pb-Ag już w okresie X i XI wieku. Niedawne odkrycia archeologiczne, takie jak osada hutnicza z Łośnia, gdzie znaleziono kilkanaście „placków” srebra oraz ponad tysiąc monet (datowanych na ok. 1165r.) (Rozmus 2009). Inne odkrycia archeologiczne np. w Zagórzu dzielnicy Sosnowca, Strzemieszycach Wielkich dzielnicy Dąbrowy Górniczej wskazują na wczesnośredniowieczny rozwój hutnictwa ołowiu w tym regionie.

Złóża rud Zn-Pb-Ag w rejonie śląsko-krakowskim eksploatowane są od ponad ośmiuset lat, a w okresie ostatnich stu osiemdziesięciu lat kiedy zainteresowano się także cynkiem zwiększył się zakres prac poszukiwawczych i górniczych. Górnictwo rud oraz hutnictwo ołowiu, srebra i cynku rozwijało się w oparciu o występujące na powierzchni lub płytko zalegające rudy

utlenione (tzw. galmany). W XV wieku Olkusz obok Tarnowskich Gór i Bytomia był jednym z najważniejszych w Europie ośrodków wydobywania ołowiu i srebra.

Rudy ołowiu i srebra, a także żelaza od XIII do XX wieku z różnym nasileniem były eksploatowane w licznych odkrywkach, płytkich podziemnych kopalniach w rejonie Bytomia, Piekar Śląskich, Bolesławia, Olkusza, Strzemieszyc i Jaworzna. W sąsiedztwie kopalń zlokalizowane były zakłady wzbogacania rud, a w pobliskich miastach huty ołowiu lub cynku. W początkowych okresach eksploatacja rud ograniczona była do wychodni złóż rud oraz rejonów ich płytkiego zalegania. W obszarze śląsko-krakowskim najlepsze geologiczno-górniczne warunki zalegania rud występowały w niecce bytomskiej i rejonie Tarnowskich Gór, rejonie Olkusza i Bolesławia oraz niecce chrzanowskiej i jaworznińskiej (Fig. 7). Cały obszar śląsko-krakowski, w którym występowały złoża rud Zn-Pb lub rozpoznana jedynie była mineralizacja siarczkami cynku, ołowiu i żelaza obejmuje powierzchnię około 1200 km².

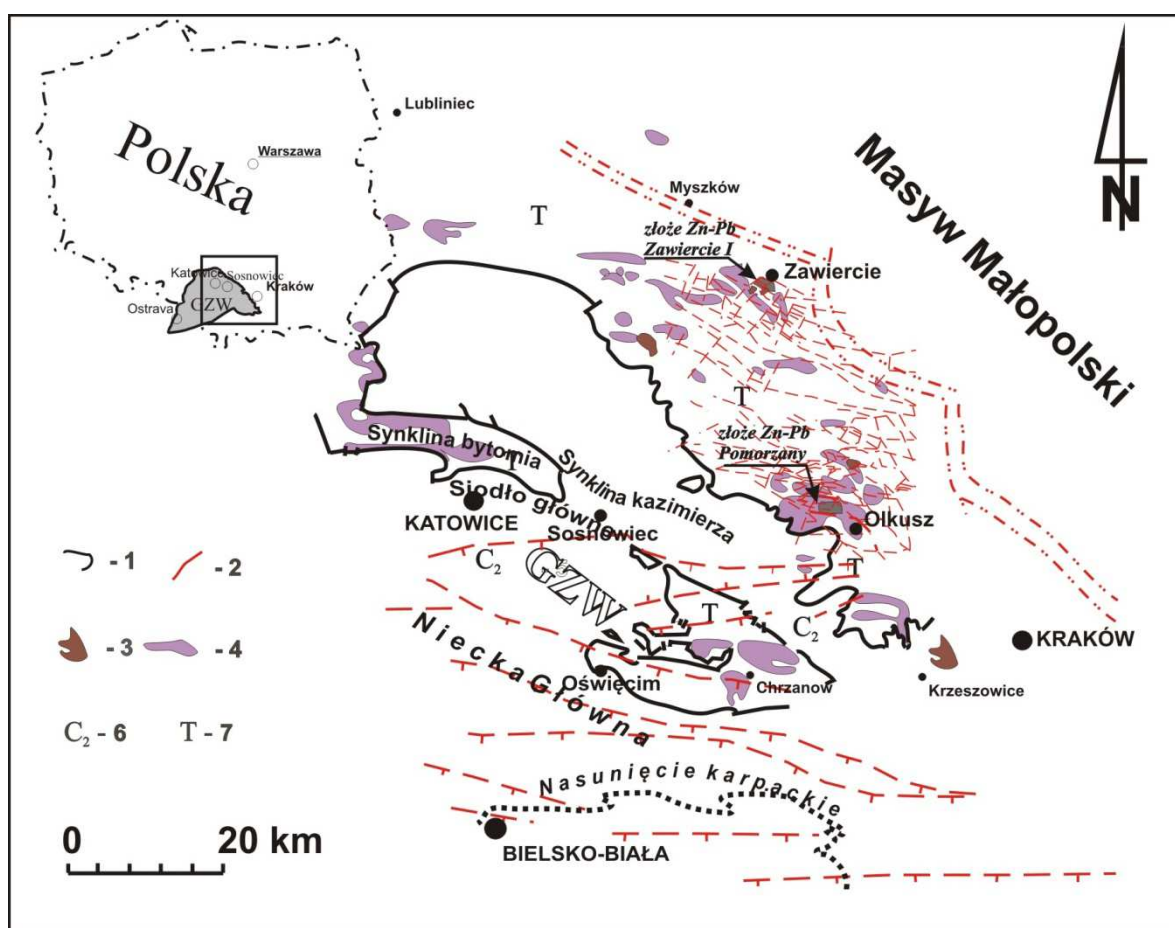


Figura 7 Mapa rozmieszczenia mineralizacji Zn-Pb w obszarze śląsko-krakowskim (Cabała 2002, uzupełnione).
 Objasnienia: 1 – granica nasunięcia Karpat, 2 – zasięg występowania utworów triasu, 3 – utwory dewonu, 4 – obszary z mineralizacją Zn-Pb, 5 – uskoki, 6 – górny karbon, 7 – trias. Granica strefy tektonicznej Kraków –Lubliniec wg. Bula i inni 1997.

Skomplikowany zespół procesów geologicznych (złożotwórczych, tektonicznych i erozyjnych) rozwijających się w okresie mezozoiku spowodował, że w południowej i południowo-zachodniej części tzw. monokliny śląsko-krakowskiej (między Bytomiem, Strzemieszycami-Sławkowem i Olkuszem) złoża występują płytko, a niekiedy zostały odsłonięte przez erozję (Fig. 8). Dlatego na tym obszarze łatwo dostępne dla ówczesnych technik górniczych były zalegające blisko powierzchni rudy utlenione rudy cerusytowe¹ i rudy galenowe² (PbS).

W części północnej obszaru śląsko-krakowskiego (rejon: Myszkowa, Zawiercia, Łaz, Ogrodzieńca oraz Woźnik i Kalet) złoża rud Zn-Pb nie występują na powierzchni. Są przykryte osadami górnego, triasu jury oraz plejstocenu, dlatego w minionych wiekach nie były znane, ponadto ze względu na głębokość zalegania przed dwudziestym wiekiem ich eksploatacja nie byłaby możliwa.

2.2 Geologia śląsko-krakowskich złóż rud Zn-Pb

Złoża te są zaliczane do tzw. typu Mississippi Valley Type (MVT), co oznacza, że cechują się prostym składem mineralnym, ich powstanie jest związane z roztworami hydrotermalnymi, których pochodzenie często jest trudne do określenia, ciała rudne mają formy pseudo pokładów lub gniazd (Cabała, Konstantynowicz 1999). Pierwotne siarczki Zn-Pb-Fe powstały w wyniku oddziaływania bogatych w metale roztworów hydrotermalnych na pierwotnie wapienne osady triasu lub dewonu. Wiek mineralizacji jest określony na wczesną kredę (Heijlen i inni 2003). Pierwotnie rudy budują proste siarczki: Zn, Pb, Fe oraz Cd, z którymi związane są koncentracje: Ag, As, Tl, Sb, Ba, Ge (Cabała 1996; Viets i inni 1996). W okresie trzeciorzędu i plejstocenu procesy wietrzenia doprowadziły do przeobrażenia składu mineralnego płytko występujących złóż siarczkowych, które nie były od powierzchni izolowane przez nieprzepuszczalne utwory ilaste kajpru. W wyniku wietrzeniowych przemian chemicznych w miejscu rud siarczkowych powstały wtórne rudy utlenione Zn-Pb-Fe (tzw. galmany³). W rudach utlenionych metale użyteczne Zn i Pb występują w minerałach węglanowych Zn-Pb (Cabała 2001).

¹ **cerusyt** – węglan ołowiu $PbCO_3$, najczęściej powstaje w wyniku utlenienia siarczków ołowiu i jest ważnym składnikiem utlenionych rud Zn-Pb tzw. galmanów.

² **galena** – siarczek ołowiu PbS , najważniejszy użyteczny minerał ołowiu. W sieci krystalicznej galeny występuje niekiedy srebro. Ołów i srebro uzyskuje się na drodze hutniczej przeróbki galeny.

³ **galmany** – termin górniczy odnoszący się do rud Zn-Pb w których przeważająca część cynku (>65%) występuje w minerałach utlenionych (np. smitsonicie, cerusycie rzadko hemimorficie).

2.2.1 Charakterystyka występowania rud Zn-Pb

Śląsko-krakowskie złoża rud Zn-Pb-Ag występują w dolomitach kruszonośnych najczęściej lokujących się w utworach węglanowych środkowego triasu, rzadziej dewonu. W rejonie Zawiercia i Klucz część bogatych gniazd rudnych spotykana jest także w dewonie. W dotychczas eksploatowanych złożach bilansowe gniazda rud Zn-Pb nigdy nie występowały w górotworze dewońskim. Występowanie mineralizacji Zn-Pb w utworach paleozoiku charakterystyczne jest dla rejonu zawierciańskiego. Gniazda kruszców Zn-Pb-Fe występują w dolomitach kruszonośnych dewonu środkowego i górnego w złożach Zawiercie (Cabała 1990), Rodaki-Rokitno, Chechło (Kurek 1988) oraz Klucze (Cabała 2001). Większość ciał rudnych występuje w utworach triasu należących do mezozoicznej pokrywy platformowej. Najstarsze utwory zalegające w głębokim podłożu omawianych złóż Zawiercie i Rodaki-Rokitno zaliczane są do piętra staropaleozoicznego reprezentowanego przez mocno zmetamorfizowane i sfałdowane skały prekambriu, kambriu, ordowiku i syluru wśród których spotykane są intruzje skał typu porfirowego oraz granitoidowego. Utwory triasu leżą niezgodnie na osadach syluru oraz górnego dewonu (Zawiercie), górnego dewonu (Poręba, Klucze, Siewierz), dolnego karbonu i dolnego permu (Bolesław, Olkusz,) górnego karbonu i dolnego permu (Pomorzany, Sikorka).

Syntetyczna litostratygrafia utworów paleozoicznych i mezozoicznych występujących w obszarze między Zawierciem i Olkuszem zestawiona została na profilu (Tab. 1). Skrócony opis poszczególnych warstw nawiązuje do najistotniejszych różnic w wykształceniu poszczególnych ogniw w obszarze zawierciańskim i olkuskim.

W rejonie zawierciańskim w podłożu triasu występują zróżnicowane utwory starszego paleozoiku reprezentujące sylur, dewon lub karbon. Aktywna tektonika tego rejonu od końca paleozoiku była związana z bliskim sąsiedztwem dużego tektonicznego rozłamu wyznaczającego granicę bloku małopolskiego i górnośląskiego (Fig. 7). Długotrwałe ruchy tektoniczne spowodowały, że pocięte na bloki tektoniczne skały paleozoiku w rejonie Zawiercia, Siewierza, Chechła były wypiętrzane w konsekwencji w okresie transgresji morskiej w triasie znajdowały się blisko powierzchni lub stanowiły obszary lądowe (wyspy). Dlatego utwory węglanowe triasu powstające w płytkim morzu zostały zdeponowane na różnych wiekowo skałach paleozoiku (syluru, dewonu lub karbonu). Po górnym karbonie (namurze) nastąpił okres lądowy, brak było sedimentacji, a wcześniej powstałe osady ulegały erozji, stopniowo dochodziło do zrównywania wyniesień morfologicznych zbudowanych ze starszych skał.

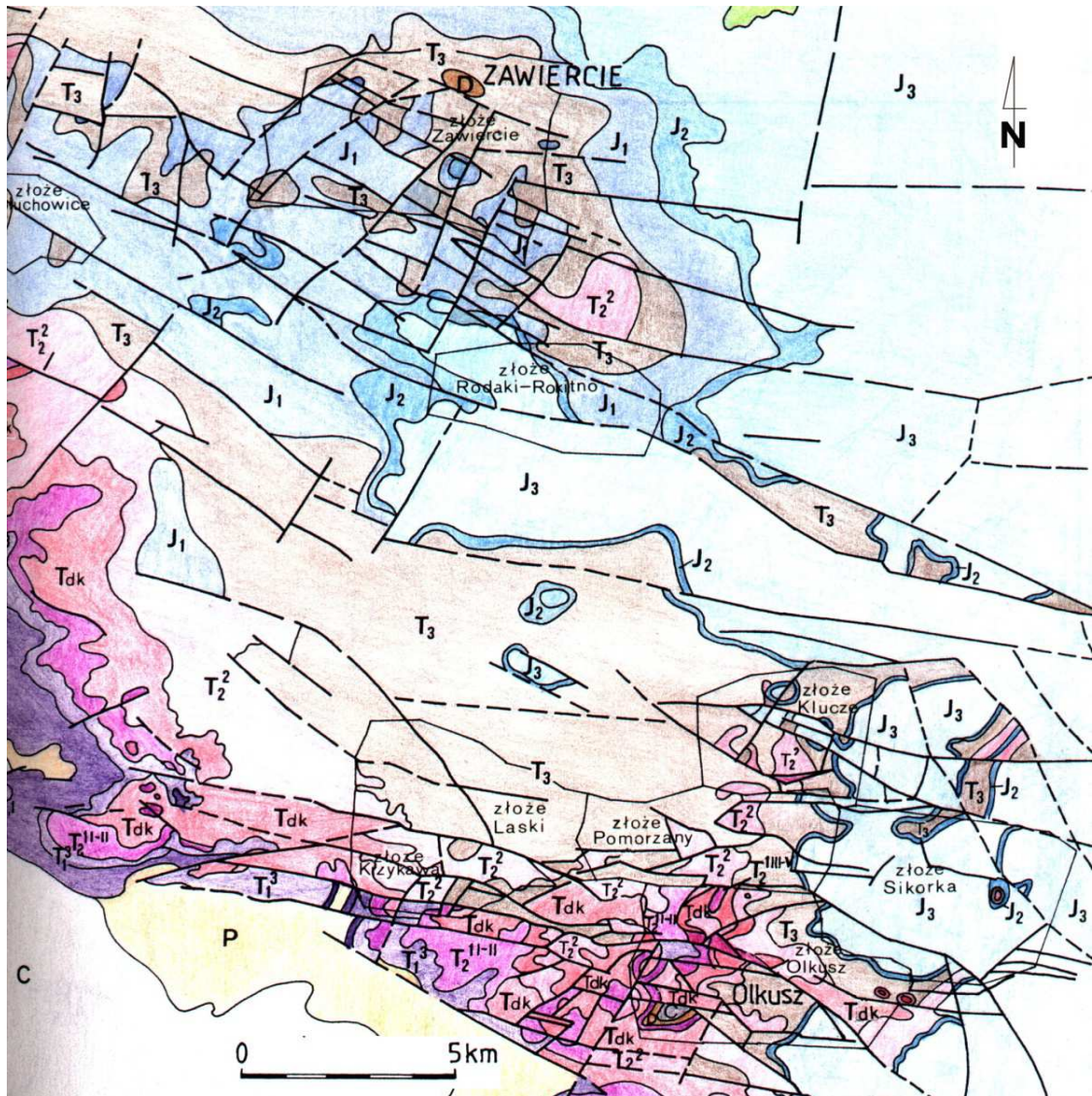


Figura 8 Mapa geologiczna rejonu olkusko-zawierciańskiego (Cabała 1993)

Na zróżnicowanej morfologicznie powierzchni powstałej w wyniku późnkarbońskiej erozji zostały zdeponowane osady dolnego permu. Osady te zalegają prawie poziomo i wykształcone są jako gruboziarniste lądowe zlepieńce (*typu myślachowickiego*) z otoczkami wapieni i dolomitów o spoiwie dolomityczno-ilastym lub ilasto-tufowym. Zlepieńce te częściej spotykane są w rejonie olkuskim niż zawierciańskim. Ich miąższość jest zmienna, od kilku do kilkunastu metrów w rejonie zawierciańskim, natomiast w rejonie olkuskim jest większa i dochodzi do 200 metrów. Po dolnym permie na omawianym obszarze wyraźnie zaznaczył się kolejny okres silnej erozji, panowały warunki lądowe w wielu miejscach zlepieńce oraz ilasto-ewaporatowe⁴ osady permu dolnego zostały całkowicie zerodowane, szczególnie w wielu

⁴ ewaporaty - to skały osadowe należące do grupy skał chemicznych, powstałe przez wytrącenie się i osadzenie związków mineralnych na skutek odparowania, czyli ewaporacji wód morskich (z płytkich lagun i zatok) lub słonych jezior.

obszarach rejonu zawierciańskiego brak jest osadów permskich. Ich większe miąższości zachowały się w obniżeniach i rowach tektonicznych (np. tzw. permski rów Sławkowa) oraz rowach; Pomorzan, Bolesławia i Klucz. W rejonie olkuskim utwory triasu najczęściej leżą na kilku lub kilkunastometrowej miąższości zlepieńcach permu dolnego lub osadach piaszczysto-ilastych karbonu, znacznie rzadziej niż w rejonie Zawiercia w podłożu triasu spotykane są osady dewonu (np. rejon złoża Klucze i Chechło).

Na częściowo zrównaną powierzchnię zbudowaną z „mozaiki” różnych pod względem wieku i litologii utworów paleozoiku wkroczyło morze triasowe. W konsekwencji w rejonie zawierciańskim trias leży niezgodnie na utworach syluru, środkowego lub górnego dewonu, karbonu oraz permu. Na południowy zachód od Zawiercia utwory dewonu występują bardzo płytko, spotykane są także na powierzchni (rejon złoża Zawiercie I, rejon Siewierza, Brudzowic). Litostratygrafia utworów triasu była przedmiotem licznych badań między innymi S. Siedleckiego (1948), S. Śliwińskiego (1969), J. Wyczółkowskiego (1978).

Złoża rud Zn-Pb występują głównie w obrębie tzw. warstw olkuskich, które w swym pierwotnym wykształceniu są wapienne, faliste z licznymi wkładkami marglistymi, ich średnia miąższość wynosi około 45m. W przeważającej części są zastąpione przez dolomity kruszconośne (Tab. 2).

Środkowy wapień muszlowy reprezentowany jest przez dolomity diploporowe, rzadziej wapienie dolomityczne o miąższości 10-40m. Dolomity te są rozprzestrzenione regularnie prawie w całym obszarze złożowym. Ich spągowe partie lokalnie są zastąpione przez dolomity kruszconośne.

Górny wapień muszlowy obejmujący warstwy tarnowickie, wilkowickie oraz boruszowickie reprezentowany jest przez dolomity, dolomity wapniste oraz zlepieńce węglanowe. Miąższość tych warstw waha się od 15 do 25m (Tab. 2).

Górny trias (kajper) wykształcony jest w postaci utworów ilastych należących do kajpru lub ilasto piaszczystych osadów retyku o zmiennej miąższości. Lokalnie w iłach występują wkładki wapieni, dolomitów oraz gipsów. Maksymalne miąższości kajpru dochodzą do 200m.

Tabela 1 Litostratygrafia utworów geologicznych w rejonie olkusko-zawierciańskim. (Wg. Bukowy 1974; Wyczółkowski 1978, Rogoż 1990; Cabała, 1993)

Okres	Oddział	Piętro	Poziom	Stratygrafia	Rejon olkuski	Rejon zawierciański		
					Miąższość [m]	Wykształcenie litologiczne	Miąższość [m]	
Czwartorzęd	Holocen Plejstocen				0-73	Piaski kwarcowe drobno i średnio ziarniste w spągu mułki	0-5	
		Przerwa stratygraficzna				Przerwa stratygraficzna		
JURA	Malm	oksford			0-60	Margle ilaste, wapienie płytowe	brak	
	Dogger	kelowej baton			0-30	Margle ilaste, zlepierce parczewskie	brak	
	Lias	górny środkowy dolny	warstwy tysieckie, blanowickie, połomskie		brak	łłowce, mułowce, piaski, łłowce z węglem brunatnym, żwiry	0-45	
Przerwa stratygraficzna (rejon olkuski)					Przerwa stratygraficzna			
TRIAS	Retyk Kajper	górny dolny	seria gipsowa górna seria gipsowa dolna		0-89,5 (40)	łły pstre, łłowce margliste z cienkimi wkładkami wapieni i dolomitów	0-56 (28)	
	Wapień muszlowy	górny	warstwy tarnowickie		0-26 (5)	Dolomity margliste, łupki ilaste, zlepierce	Dolomity płytowe, pelityczne, margliste	0-10 (4)
		środkowy	dolomity dipoporowe		0-33 (20)	Dolomity grubotawicowe, ziarniste, oolityczne		0-77 (20)
		dolny	warstwy karchowickie		0-21 (12)	Wapienie płytowe. Fauna: kolce jeżowców	Wapienie krystaliczne, średnio ławicowe	0-14 (12)
			warstwy terebratulowe		0-10 (5)	Wapienie gruztowe, z wkładkami marglistymi, w spągu wapienie krystaliczne	Wapienie drobnokrystaliczne, gruzłwate, cienkoławicowe	0-9 (7)
			warstwy górażdzańskie		0-28 (15)	Wapienie grubokrystaliczne, porowate	Wapienie drobnokrystaliczne, mikroporowate	0-21 (17)
		warstwy gogolińskie		do 35 (25)	Wapienie płytowe, faliste z wkładkami margli. Fauna: liliowce, małże, łłimaki, ramienionogi	Wapienie różnokrystaliczne, margliste, cienkoławicowe	do 48 (37)	
	Pstry piaskowiec	górny	ret		do 34 (25)	Dolomity margliste z fauna: Lingula, Myophoria	Dolomity z wkładkami łłastymi, dolomity zlepiercowate	do 72 (30)
		środkowy dolny	niższy pstry piaskowiec		0-10 (2,5)	Piaskowce, łłly szare, mułki z okrucami skał węglanowych.		do 20 (7)
	Przerwa stratygraficzna					Przerwa stratygraficzna		
PERM	Dolny	czerwony spągowiec			do 200 (100)	Gruboziarniste zlepierce z wkładkami piaskowców	Zlepierce z otoczkami dolomitów, wapieni i porfirów. Porfiry	do 20 (?)
Przerwa stratygraficzna					Przerwa stratygraficzna			
KARBON	Górny	namur	A		do 100 (?)	Piaskowce, łupki, brekcje, zlepierce, łupki ilaste	do 80 (20)	
	Dolny	wizen turnej			do 500 (400)	Wapienie, łupki	Dolomity, wapienie	do 261 (15)
DEWON	Górny	famen fran			do 100	Wapienie gruzłwate (fran), Wapienie detrytyczne (famen)	Wapienie (famen) Skały ilaste, dolomity (fran)	do 400 (50)
	Środkowy	żywen eifel			brak	Wapienie, dolomity (żywet)	Dolomity (żywet) Dolomity, wapienie, margle (eifel)	do 1250 (100)
	Dolny	ems			brak	Piaskowce kwarcytowe (ems)		do 50 (20)
Przerwa stratygraficzna					Przerwa stratygraficzna			
SYLUR	Górny	ludlow			do 400 (?)	łłowce, łupki ilaste, mikowe, drobnoziarniste piaskowce kwarcowe, kwarcyty, porfiry kwarcowe	do 400 (?)	
ORDOWIK (?)	Górny(?) Środkowy(?)				do 150	łupki mikowe: biotytowe, serycytowe, chlorytowe. łupki kwarcowe, piaskowce	Nie stwierdzono	
KAMBR (?)	Dolny(?)				do 150	łupki kwarcytowe, kwarcyty, piaskowce	(?)	

(100)- średnia miąższość [m]
(?)- niepewne oznaczenie wieku

Tabela 2 Stratygrafia wapienia muszlowego (Wg. Assmann 1944; Siedlecki 1948).

wapień muszlowy	górnny	warstwy tarnowickie		dolomity, dolomity wapniste, zlepieńce dolomityczne	15–25 m
	środkowy	dolomity diploporowe		dolomity, wapień dolomityczne	10–40 m
	dolny	warstwy olkuskie*	w-wy karchowickie	pierwotnie wapień i margle po dolomityzacji - dolomity kruszconośne	10–20 m
			w-wy terebratulowe	pierwotnie wapień i margle po dolomityzacji - dolomity kruszconośne	5–15 m
			w-wy górażdzańskie	pierwotnie wapień i margle po dolomityzacji - dolomity kruszconośne	15–35 m
		w-wy gogolińskie	górne	wapień falisty III	7–20 m
				seria międzyfalista (wapień margliste)	2–20 m
			dolne	wapień falisty II	1–5 m
				seria zlepieńcowata (wapień)	5–25 m
	wapień komórkowy	1–3 m			
wapień falisty I		2–7 m			
seria z <i>Pecten i Dadocrinus</i> (wapień)	5–14 m				

* - termin "warstwy olkuskie" wprowadził S. Śliwiński (1961) dla określenia wapiennych odpowiedników trudnych do rozdzielenia warstw; górażdzańskich, terebratulowych i karchowickich.

2.2.2 Rodzaje rud, występowanie, mineralogia

Dolomity kruszconośne. Główną skałą budująca rudy Zn-Pb (w ok 70%) są dolomity kruszconośne z którymi związane jest występowanie mineralizacji Zn-Pb-Fe. Dolomity te są charakterystyczną skałą dla śląsko-krakowskich złóż Zn-Pb, w której występują minerały zawierające w swojej strukturze metale (Zn, Pb, Fe, Cd, Ag, Tl, Mn) (Fig. 9). Dolomity kruszconośne nie stanowią poziomu stratygraficznego. Są to dolomity wtórne (epigenetyczne), które powstały w wyniku procesów metasomatozy osadów wapiennych. Najczęściej są szare, mocno spękane, cechujące się dużą makro i mikro porowatością. Cechują się drobnokrystaliczną strukturą, rzadziej są średnio lub grubo krystaliczne, ich przełam jest muszlowy lub zadziorowaty. Są dosyć kruche, posiadają liczne szczeliny lub mikrokawerny, które wypełnia kalcyt, rzadziej romboedry krystalicznego dolomitu. Z uwagi na procesy złożotwórcze, jakie odegrały rolę w ich powstaniu, a także rozwój krasu, są one bardzo podatne na wietrzenie. W obszarach, gdzie występują na powierzchni lub zalegają płytko i nie są od powierzchni izolowane przez nieprzepuszczalne utwory kajpru zmieniają swoją barwę na brunatną, żółtawą, są także słabo zwięzłe. W procesach wietrzenia ich struktura ulega rozluźnieniu, a w mocno rozwiniętych strefach utlenienia prawie całkowicie rozsypują się. Dolomity te zastępują skały

węglanowe warstw górażdzańskich, karchowickich i terebratulowych, niekiedy lokują się także w spągu dolomitów diploporowych (Cabała 1993).

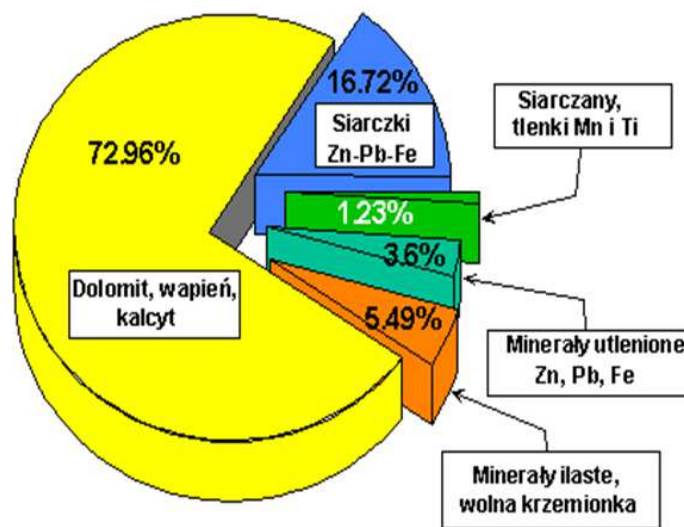


Figura 9 Średni skład rud Zn-Pb w rejonie olkusko-zawierciańskim

Występowanie rud Zn-Pb

W złożach Zawiercie, Rodaki-Rokitno, Klucze, Chechło część mineralizacji cynkowo-ołowiowej lokuje się w dewonie (Cabała 1990; Cabała, Konstantynowicz 1999; Górecka 1972). Charakterystycznym jest to, że węglanowe utwory dewońskie wykazują cechy epigenetycznej dolomityzacji bardzo podobnej do dolomitów triasowych. Kruszcze w dewonie występują w obrębie wypiętrzonych "wysp" paleozoicznych, na tym samym poziomie hipsograficznym jak w przekraczając na nich zalegających utworach pokrywy triasowej (Cabała 1990).

Rudy o wysokich zawartościach cynku lokują się zwykle w pobliżu kontaktu z wapieniami, tworząc wydłużone strefy o równoleżnikowym przebiegu. Siarczki Zn-Pb występują z różnym nasileniem w całym kompleksie dolomitowym. Nieco szerszy zasięg występowania mają siarczki ołowiu, występują one także w otaczających dolomity wapieniach (Cabała 1996). Rudy występują na różnych głębokościach od 50 do ok. 250 metrów poniżej powierzchni terenu i nie wykazują związku z określonymi poziomami stratygraficznymi.

Formy ciał rudnych są zróżnicowane można wyróżnić dwa zasadnicze typy:

1. Ciała rudne o przebiegu zbliżonym do pierwotnego warstwowania przypominające pokłady, pseudopokłady czy poziome żyły,

2. Ciała rudne niezgodne z pierwotnym warstwowaniem o zmiennej geometrii i konfiguracji, gniazda, soczewy, pnie, lub formy przypominające sztokwerki.

Pod względem składu mineralnego w śląsko-krakowskich złożach można wyróżnić dwa rodzaje rud: rudy siarczkowe i rudy utlenione. W złożach zawierciańskich wyraźnie przeważają siarczkowe typy rud, w których stopień utlenienia siarczków cynku jest bardzo niski.

W całym obszarze śląsko-krakowskim, podobnie jak w rejonie zawierciańskim występowanie złóż jest związane ze strukturami typu rowów i zrębów najczęściej o przebiegu równoleżnikowym lub zbliżonym (W-E, WNW-ESE). Długotrwałe oddziaływanie czynników tektonicznych przejawia się występowaniem brekcji, możliwe jest wyróżnienie kilku etapów brekcjowania (Dżułyński, Sass-Gustkiewicz 1978). Brekcje, które zostały zabliźnione, uszczelnione kruszcami z młodszych etapów mineralizacji nie są drożne dla wód utleniających i utlenienie siarczków w ich obrębie jest słabe.

Systemy spękań tektonicznych decydują często o wodoprzepuszczalności utworów triasowych, a tym samym odgrywają istotną rolę w systemie krążenia wód i rozwoju strefy utlenienia (Cabała 1995). Uskoki są epigenetyczne w stosunku do mineralizacji, dlatego ich wpływ na rozwój późniejszej strefy utlenienia w złożu może być duży. Uskoki lub towarzyszące im zespoły spękań mogą tworzyć kontakty hydrauliczne, poprzez które następuje pionowe lub poziome przenikanie dotlenionych wód descenzyjnych⁵ (Cabała 2000). Czynnikiem w znacznym stopniu decydującym o izolacji zawierciańskich rud siarczkowych przed rozwojem utlenienia, na które mogłyby mieć wpływ dotlenione wody migrujące z powierzchni jest stosunkowo gruba i szczelna pokrywa utworów ilastych kajpru.

Rudy siarczkowe

Rudy, w których cynk i ołów występuje głównie w minerałach siarczkowych (sfaleryt i galena) stanowią obecnie główny przedmiot zainteresowania ze strony górnictwa. Powstały w wyniku zasadniczych procesów złożotwórczych, dlatego można przyjąć że są efektem pierwotnej mineralizacji. Rudy siarczkowe Zn-Pb-Fe powstawały w następstwie rozwoju dwóch głównych grup procesów:

1. *Wypełniania wolnych przestrzeni*

2. *Metasomatozy hydrotermalnej.*

⁵ **descenzja** – swobodny, grawitacyjny przepływ wody, np. z powierzchni terenu w głąb górotworu

Ad. 1 W wyniku procesów związanych z mineralizacją, wypełnianiem wolnych przestrzeni powstała mineralizacja w brekcjach zawałowych (Sass-Gustkiewicz 1975), pustkach krasowych, spękaniach i brekcjach tektonicznych oraz drobnych pustkach. Powstały krasowo-zawałowe ciała rudne w formie nieregularnych gniazd, zwykle wymiary poziome kilkakrotnie przeważają nad ich wymiarami pionowymi. Interesującymi formami okruszczenia są tzw. sedymenty wewnętrzne występujące głównie w spągowych częściach struktur krasowych, niektórych gniazdowych ciał rudnych oraz szczelinach uskokowych (Sass-Gustkiewicz 1996). W rejonie zawierciańskim podobnie jak olkuskim w triasie i dewonie występują formy krasowe często całkowicie wypełnione. Występowanie brekcji tektonicznych było stwierdzane w rejonie zawierciańskim, jednak w tym etapie rozpoznania nie można stwierdzić jak duże znaczenie w bilansie rud będą miały rudy brekcyjne (typu zawałowego lub tektonicznego).

Ad. 2 Procesy związane z metasomatozą doprowadziły do uformowania się wyraźnie warstwowych, pokładowych ciał rudnych stanowiących podstawową bazę zasobową niektórych złóż np tych w rejonie chrzanowsko (Szuwarzyński 1996). Znaczenie metasomatozy w formowaniu się bogatych rud sfalerytowych w rejonie olkuskim złoża zostało opisane przez K. Mochnacką i M. Sass-Gustkiewicz (1981).

Znacznie rzadziej w złożach rud Zn-Pb występują rudy o mineralizacji żyłowej w dolomitach niezbrekcyjowanych (spękanych tektonicznie), treść mineralną żył stanowi głównie grubokrystaliczna galena rzadziej skorupowy markasyt lub skrytokrystaliczny brunckit (ZnS) występujący np. w kopalni Olkusz (Cabała 1993).

Rudy utlenione⁶

Występowanie rud utlenionych oraz stopień utlenienia siarczków cynku i ołowiu ma istotne znaczenie w projektowaniu procesów przeróbki rud. Siarczki cynku (sfaleryt) i ołowiu (galena) nadają się do flotacyjnej przeróbki, dlatego rudy siarczkowe Zn-Pb można z powodzeniem wzbogacać metodami flotacji i uzyskiwać jako finalny produkt koncentrat siarczków cynku lub koncentrat siarczków ołowiu. Koncentrat siarczków (55-57% Zn i 1,6-4,2% Pb) stanowi wsad do hydrometalurgiczno-elektrolitycznej technologii uzyskiwania cynku lub hutniczej metody (ISP) otrzymywania tego metalu.

⁶ Terminem **rudy utlenione** (tzw. galmany) określono te odmiany, w których ponad 35% cynku i ołowiu występuje w połączeniach z tlenem w postaci minerałów węglanowych, siarczanów lub tlenków.

Jeżeli w rudzie występują minerały węglanowe cynku lub ołowiu to ich separacja metodami flotacji jest mocno ograniczona. Minerały utlenione Zn-Pb (smitsonit i cerusyt) mają ograniczoną flotowalność i nie nadają się do wzbogacania flotacyjnego, a przy wysokim udziale minerałów utlenionych w rudzie (np. >35%) dalsza przeróbka możliwa jest jedynie w oparciu o metody hutnicze.

W dotychczas eksploatowanych rudach np. w rejonie olkuskim, bytomskim lub chrzanowskim, rudy występujące na zrębach tektonicznych, nie izolowane od stropu przez osady ilaste kajpru były mocno utlenione. Długi okres eksploatacji złóż w rejonie olkuskim pozwolił na dokładne rozpoznanie złoża i stwierdzenie że lokalnie utlenione partie gniazd rudnych mogą występować na znacznych głębokościach i powstały w wyniku przepływu wód poprzez systemy krasowe lub uskokowe (Cabała 2001). Ponadto w peryferyjnych częściach złóż często rośnie stopień utlenienia minerałów siarczkowych cynku, jednocześnie zwiększa się względny udział mineralizacji ołowiem co przejawia się występowaniem gniazd galeny nie tylko w dolomitach ale także wapieniach.

Gniazda utlenionych rud mogą być związane z: pojedynczymi uskokami, brekcjami zawałowymi lub tektonicznymi, systemami kawern lub występowaniem w nadkładzie (kajprze) okien erozyjnych. W obecnym etapie rozpoznania złóż rejonu zawierciańskiego trudno jest stwierdzić czy lokalnie stopień utlenienia rud będzie się zwiększał czy też złoże jest jednorodne, złożone głównie z siarczków Zn-Pb-Fe. Powstanie rud utlenionych jest związane z poziomymi przepływami (szczeliny, fugi międzyławicowe, systemy krasowe) wód utleniających, a niekiedy z ascenzją⁷ tych wód wywołaną istnieniem naporowego zwierciadła.

Wśród składników mineralnych rud najszybciej procesom utlenienia ulegają siarczki żelaza. Analiza stopnia ich utlenienia wskazuje, w jakim stadium rozwoju znajduje się strefa utlenienia. Niekiedy, jak w złożu Gołuchowice prawie 100% siarczków żelaza uległo przeobrażeniu w tlenki. Najczęściej jednak średni stopień utlenienia siarczków żelaza waha się od 40 do 80%. Utlenienie siarczków żelaza postępuje frontalnie od stropu złoża. W przyspągowych częściach złóż także lokalnie obserwuje się wzrost utlenienia siarczków żelaza związany z krasowo szczelinowym wykształceniem spągowych partii złoża (Fig. 10).

⁷ **ascenzja** - ruch wody podziemnej w skałach wynoszący ją ku górze pod wpływem różnicy ciśnień hydrostatycznych.

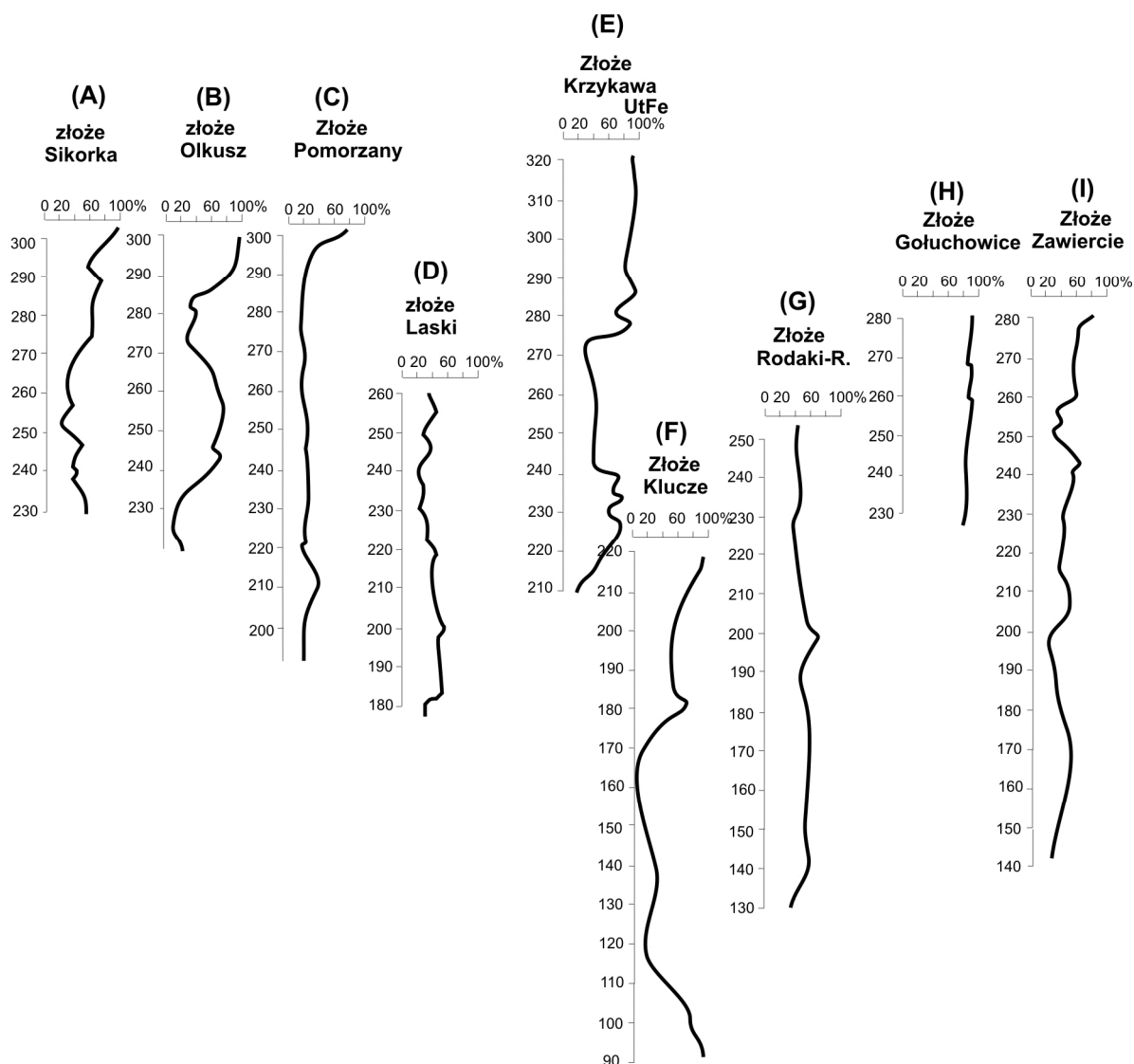


Figura 10 Zróżnicowanie stopnia utlenienia siarczków żelaza (pirytu i markasytu) w profilach pionowych (m n.p.m.) wybranych złóż rejonu olkusko-zawierciańskiego (Cabała 2000).

Ze względu na jakość rud i możliwości ich wzbogacania najistotniejszym parametrem jest stopień utlenienia siarczków cynku (sfalerytu). Analizując zróżnicowanie pionowe stopnia utlenienia siarczków cynku w złóżach rejonu olkusko-zawierciańskiego można stwierdzić, że najniższy poziom utlenienia posiada złoże Zawiercie I. Nasilenie utlenienia siarczków cynku, żelaza oraz ołowiu w poszczególnych złóżach jest różne, co potwierdzają zmienne kształty krzywych na wykresach (Fig. 11).

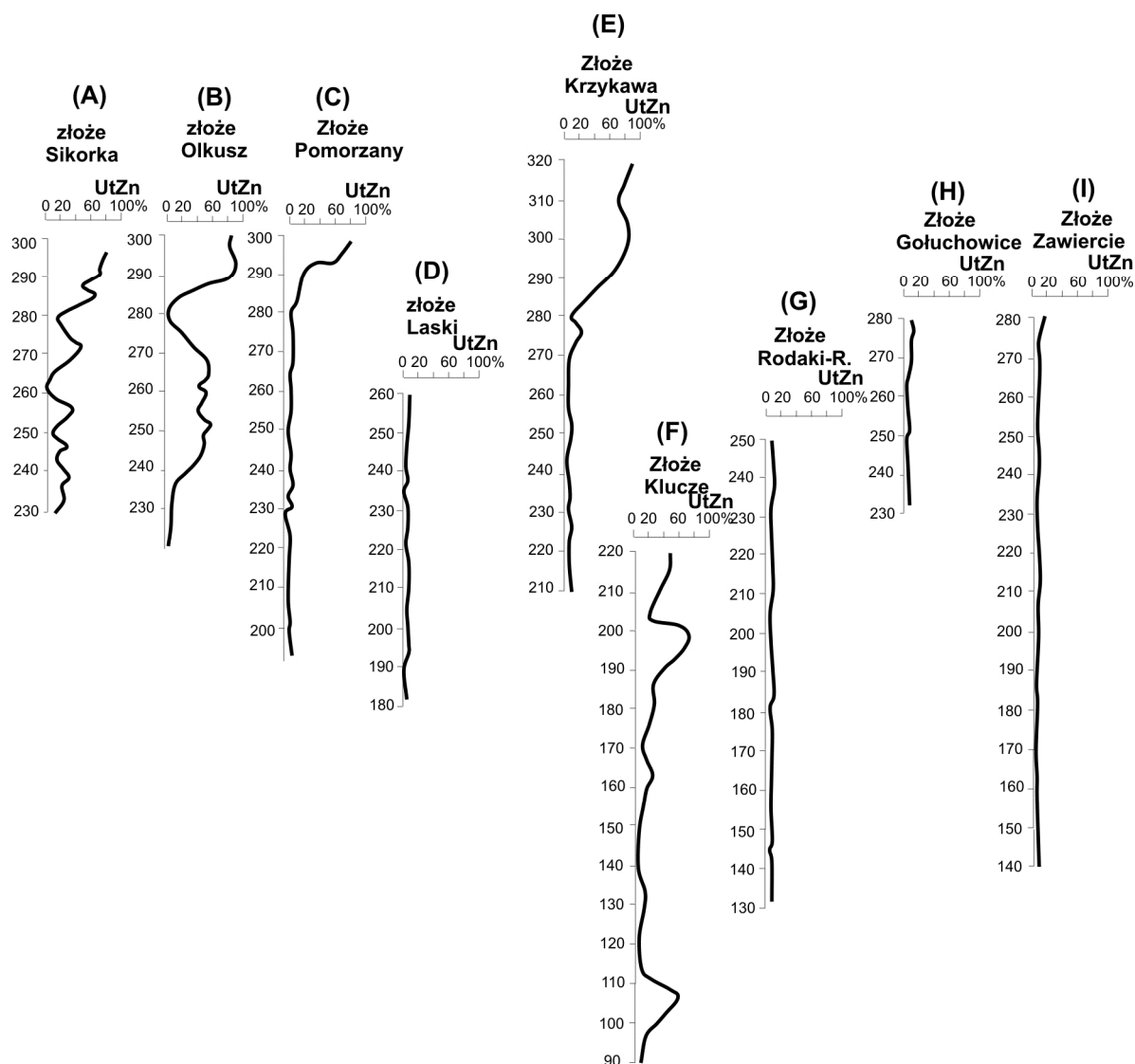


Figura 11 Zróżnicowanie stopnia utlenienia siarczku cynku (sfalerytu) w profilach pionowych (m n.p.m.) wybranych złóż rejonu olkusko-zawierciańskiego (Cabała 1993).

Składniki mineralne rud utlenionych

Minerały pierwotne. Wśród utlenionych składników mineralnych obecne są reliktywne siarczki cynku (Fig. 12, 13), ołowiu (Fig. 14) i żelaza (Fig. 15). Proporcje zawartości siarczku cynku, ołowiu i żelaza w rudach utlenionych są zupełnie inne niżeli w niezmienionych rudach siarczkowych (Tab. 3). Udział galeny w rudzie jest 2-3 razy wyższy niżeli sfalerytu. Piryt i markasyt występują w niewielkich ilościach. Charakterystycznym minerałem pierwotnym jest baryt (BaSO_4), którego zawartość nie zmienia się w procesach utlenienia. W rudach utlenionych rejonu olkuskiego spotykane są paragenezy krystalicznego cerusytu i skorupowo wykształconego markasytu oraz innych węglanowych minerałów Zn (Tab. 4).

Tabela 3 Średni skład mineralny rud utlenionych i siarczkowych w olkuskich złożach rud Zn-Pb (Cabała 2000)

Składniki	Średni udział w rudzie [%]	
	Ruda utleniona n=75	Ruda siarczkowa n=410
Zn	5,01	7,58
Pb	10,33	2,07
Fe	3,06	4,56
PbO	2,40	0,43
ZnO	4,92	0,34
FeO	3,35	1,63
Cd	0,0346	0,0448
Ag	0,0049	0,0028
As	0,0441	0,0451
BaO	0,24	0,34

Tabela 4 Składniki mineralne olkuskich rud Zn-Pb (Cabała 2009)

Minerały płonne	minerały żyłowe	minerały kruszcowe	minerały wtórne	minerały akcesoryczne
dolomit	dolomit	markasyt FeS ₂	smitsonit ZnCO ₃	rutyl TiO ₂
dolomit ankerytowy	baryt BaSO ₄	piryt FeS ₂	monheimit Fe ₂ ZnCO ₃	kwarc SiO ₂
kalcyt	kalcyt CaCO ₃	melnikowit FeS ₂	cerusyt PbCO ₃	
montmorillonit		sfaleryt αZnS	getyt	
illit		wurcyt βZnS	lepidokrokit	
kaolinit		brunckit ZnS	syderogel	
dolomit cynkowy		galena PbS	gips CaSO ₄ ·2H ₂ O	
chalcedon		greenockit CdS	rozenit	
			kopiapit	
			melanteryt	
			szomolnokit	
			bianchit	
			hemimorfit	
			Zn ₄ Si ₂ O ₇ (OH) ₂ ·H ₂ O	
			jarosyt KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	

Minerały wtórne. Głównymi składnikami mineralnymi rud galmanowych są wtórne, utlenione minerały cynku, ołowiu i żelaza takie jak: smitsonit ZnCO₃ (Fig. 16), monheimit Fe₂ZnCO₃, hydrocynkit Zn[(OH)₃CO₃]₂, cerusyt PbCO₃ (Fig. 17), limonity FeOOH·nH₂O (mieszanka lepidokrokitu i goethytu) rzadko hemimorfit Zn₄Si₂O₇(OH)₂·H₂O. Charakterystyczne są także jarosyt, gips, epsomit (Fig. 18), kopiapit oraz nietrwałe siarczany: melanteryt i goslaryt. Niektóre odmiany rud utlenionych (np. cerusytowe) charakteryzują się wysokim udziałem nieutlenionej galeny zawierającej dużo srebra. Przeprowadzona analiza wykazała, że dla 80% analizowanych prób, ilość cerusytu przypadająca na 1% wagowy ołowiu jest stała i zawiera się w przedziale od 0,22 do 0,26 % (Cabała 1996). Ponieważ w procesie flotacji ziarna cerusytu mają ograniczoną flotowalność, to będą przechodziły do odpadów, a straty ołowiu będą kształtowały się na poziomie ok 20 do 25%.

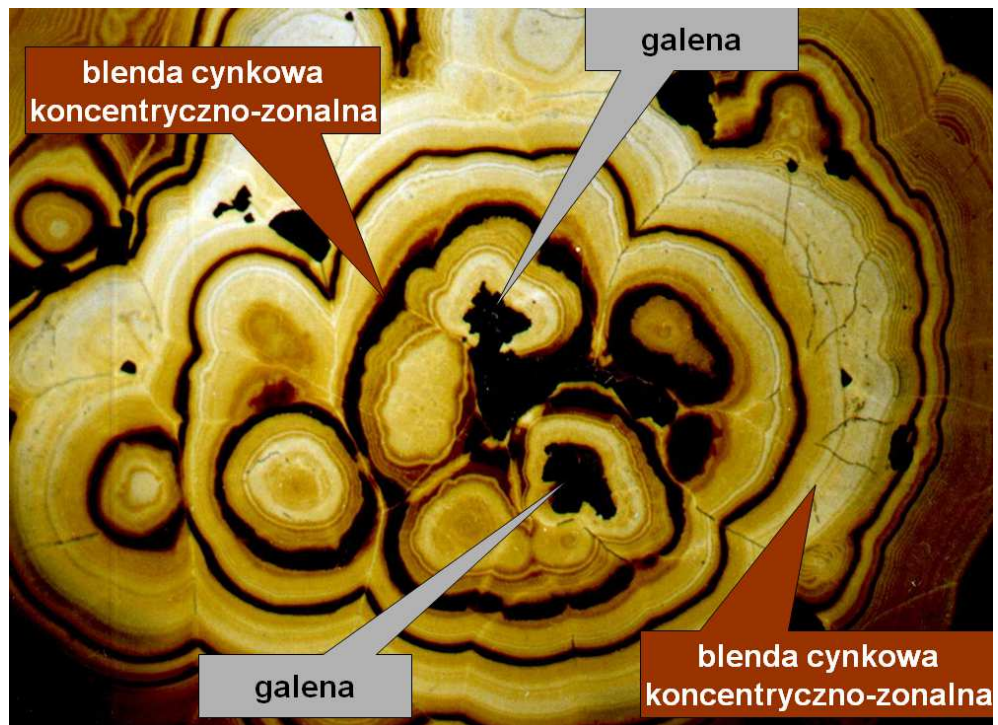


Figura 12 Skorupowe odmiany sfalerytu (ZnS), blenda cynkowa jasna i ciemna, galena (PbS) (Fot. J. Cabała)



Figura 13 Skorupowe, warstwowane odmiany sfalerytu (ZnS), blenda cynkowa (Fot. J. Cabała)



Figura 14 Krystaliczna galena (PbS) występująca na tlenkach żelaza (Fot. J. Cabała)

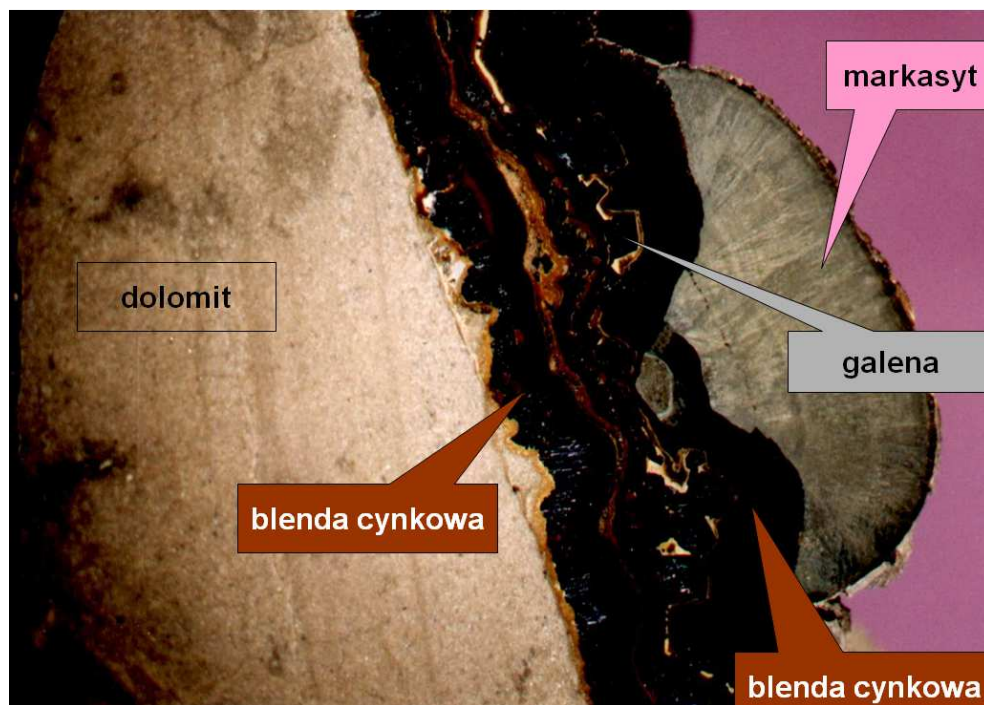


Figura 15 Skorupowa odmiana sfalerytu, blenda cynkowa (ZnS), galena (PbS) oraz markasyt (FeS₂) na dolomicie (Fot. J. Cabała)

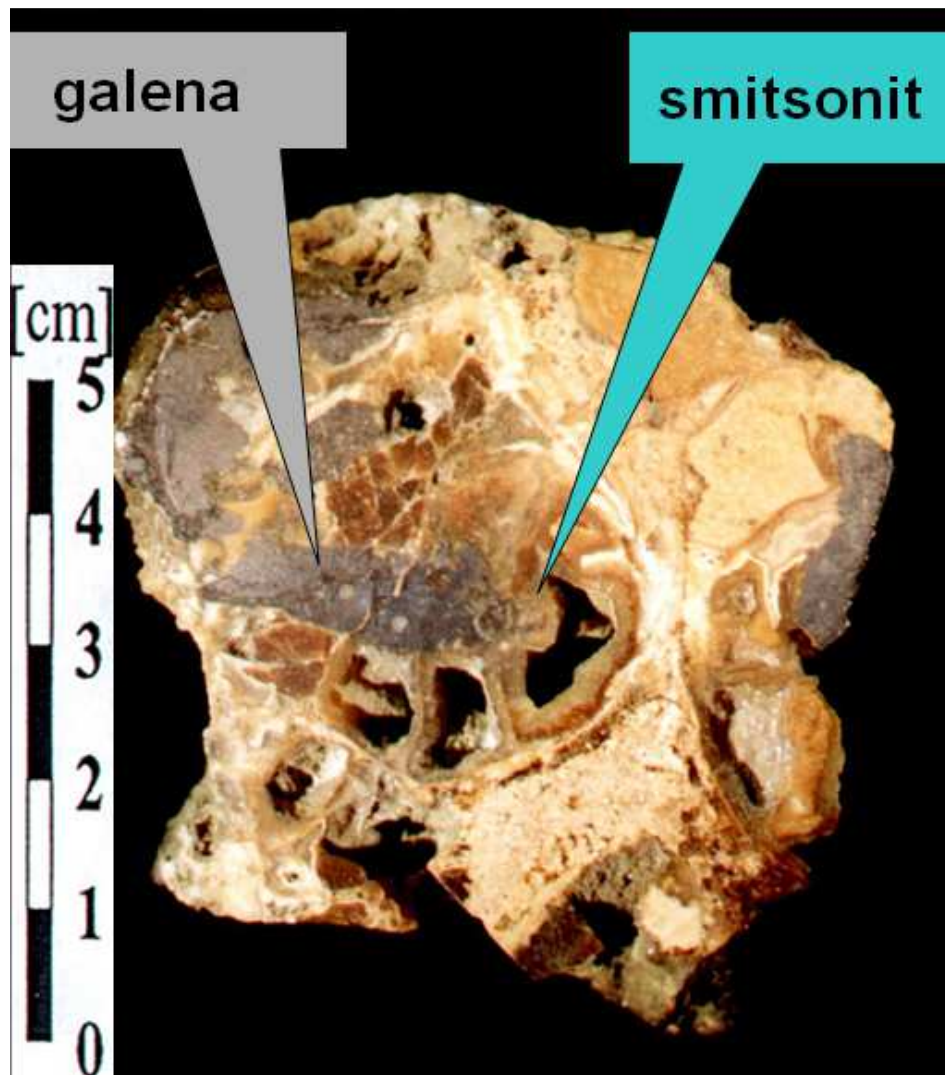


Figura 16 Smitsonit i relikty galeny w utlenionym dolomicie (Fot. J. Cabała)



Figura 17 Cerusyt (biały) na tlenkach Mn (Fot. J. Cabała)



Figura 18 Epsomit, siarczan Mg (Fot. J. Cabała)

2.2.3 Geochemia (pierwiastki główne i towarzyszące)

Głównymi pierwiastkami w rudach są: cynk, ołów i żelazo. Przeróbka rud jest prowadzona w celu wyseparowania koncentratów zawierających minerały cynku i ołowiu. Minerały żelaza nie stanowią przedmiotu zainteresowania i w całości są kierowane do odpadów.

Zawartość cynku i ołowiu w rudach złóż eksploatowanych w ostatnim okresie działalności ZG „Trzebionka” S.A. była niska i wynosiła dla Zn ok. 3,0–3,3%, a dla Pb ok. 1,32–1,67%. W rudach ze złoża Pomorzany eksploatowanego przez ZGH „Bolesław” S.A. Zn ok. 4,0–4,2% oraz 1,45–1,69% Pb. Rudy te są drobnoziarniste, a ich stopień utlenienia jest zmienny od kilku do 20%. Zawartość głównych siarczków Zn-Pb-Fe w rudach decyduje o wielkości koncentracji żelaza, cynku, ołowiu i siarki.

Do innych, typowych pierwiastków towarzyszących w śląsko-krakowskich złożach należą (Tab. 5): kadm, tal, arsen, srebro. Pierwiastki te są związane w sieci krystalicznej głównych siarczków, praktycznie nie tworzą własnych minerałów. Rzadko stwierdzane było występowanie kadmu we własnych siarczkowych fazach mineralnych. Arsen i tal występujący w siarkosolach

był opisywany z kopalń bytomskich. Do pierwiastków, których koncentracje w rudach są wyraźnie wyższe aniżeli ich średnie zawartości w skałach węglanowych należą: german, gal, ind, selen, miedź i kobalt (Cabała 1996). Kadm, german i gal są związane głównie w siarczku cynku. Srebro występuje w siarczku ołowiu i cynku. Arsen, tal, ind i mangan mogą występować w sieci krystalicznej wszystkich siarczku (Harańczyk 1965, Cabała 1996).

Zróznicowanie zawartości pierwiastków śladowych zaznacza się również w poszczególnych obszarach złożowych rejonu śląsko krakowskiego. Na wysokie zawartości srebra, kadmu oraz baru w obszarze zawierciańskim zwrócił uwagę T. Gałkiewicz (1983). Arsen i tal w rudach obszaru bytomskiego i tanogórskiego były opisywane już przez badaczy niemieckich. Rudy Zn-Pb rejonu olkuskiego charakteryzują się wysokimi koncentracjami kadmu, arsenu, srebra oraz miedzi, średnie zawartości tych pierwiastków są wyższe (Tab. 5) od średnich w rudach śląsko-krakowskich (Gałkiewicz 1983; Cabała 2009).

Tabela 5 Średnie zawartości pierwiastków w rudach Zn-Pb (Cabała 2009; Gałkiewicz 1983)

Średnie zawartości pierwiastków [%]					
Pierwiastek	Klark węglanowych skał litosfery	Zawartości w rudzie średniej (Gałkiewicz 1983)	Zawartości w rudzie średniej w rejonie olkusko-zawierciańskim (Cabała 1993)	Bilansowa ruda średnia rejon olkuski	Bilansowa ruda płytko zalegająca rejon olkuski (< 60 m p.p.t.)
O	49.20	45.50	40.81	37.57	42.15
Ca	32.50	17.90	17.73	18.79	19.97
C	11.00	9.60	9.37	8.86	10.15
Mg	4.60	8.70	7.97	7.36	8.76
Zn	0.002	4.90	6.50	6.6	6.73
Fe	0.83	4.20	3.98	5.27	3.93
S	0.12	3.50	6.20	7.50	3.59
Si	3.40	2.00	1.62	1.68	0.85
Pb	0.0009	1.40	2.82	3.01	0.71
H	0.09	1.10	1.10	1.00	1.00
Al	0.96	0.30	1.27	1.55	1.01
Mn	0.04	0.30	0.15	0.12	0.15
Ba	0.001	0.20	0.29	0.33	0.19
Cd	0.000004	0.0300	0.0368	0.0355	0.0388
As	0.0001	0.0100	0.0364	0.0526	0.0388
Cu	0.0004	0.0010	0.0047	0.0074	0.0124
Ag	0.0000	0.0010	0.0024	0.0033	0.0030
Ti	0.120	0.001	0.036	0.054	0.033
Mo	0.00004	0.0001	0.0004	0.0006	0.0002
Na	0.25	0.10	0.10	0.10	0.10
K	0.28	0.10	0.10	0.10	0.10

Pierwiastki towarzyszące

Pierwotne kruszce zawierają bardzo zróżnicowane zawartości pierwiastków śladowych (Viets i inni 1996; Leach i inni 1996) Najważniejszymi pierwiastkami są srebro, kadm i tal, ponieważ są odzyskiwane w etapie przeróbki koncentratów, szlamów lub innych odpadów powstających w procesach hydrometalurgicznych lub hutniczych (ISP).

Srebro (Ag) nie tworzy własnych faz mineralnych. Występuje w postaci diadochiowych podstawień w sieci krystalicznej siarczków ołowiu, cynku i żelaza. Średnie zawartości srebra w rudach utlenionych są nieco wyższe aniżeli w rudach siarczkowych. Znaczna koncentracja tego metalu jest związana z wysokimi zawartościami galeny.

Kadm (Cd) występuje głównie w strukturze krystalicznej siarczków cynku. Rzadko tworzy własny izostrukturnalny ze sfalerytem siarczek – greenockit (CdS). W etapie utlenienia kruszców jest uruchamiany i może wtórnie wchodzić w sieć krystaliczną węglanu cynku – smitsonitu. W rudach utlenionych następuje jego słaba dekoncentracja ze względu na możliwość odprowadzenia części jonów Cd^{2+} przez wody strefy utlenienia (Cabała 2001).

Tal (Tl) w przyrodzie występuje w siarczках i siarkosolach towarzysząc takim metalom jak: arsen, antymon, miedź, ołów, żelazo, złoto, cynk, kadm i rtęć. W złożach śląsko-krakowskich najwyższe koncentracje talu stwierdzono w rejonie Bytomia i są one związane z występowaniem minerałów talonośnych: siarkosoli: jordanitu, gratonitu oraz dufrenoisytu (Harańczyk 1958). W rejonie Olkusza najwyższe, pierwotne koncentracje talu występują w markasytowo-pirytowych typach rud cynkowo-ołowiowych (Cabała 1996). W bogatych w żelazo rudach cynkowo-ołowiowych ze złoża Pomorzany zawartości talu dochodziły do 1900 mg kg^{-1} , a najczęściej mieściły się w przedziałach od kilkudziesięciu do 300 mg kg^{-1} (Cabała 2009). W zdeponowanych na powierzchni odpadach po przeróbce tych rud koncentracje talu dochodzą do 513 mg kg^{-1} (Cabała i inni 2008).

Arsen (As) jest charakterystycznym pierwiastkiem dla złóż śląsko-krakowskich. Zaznacza się wyraźna prawidłowość dla koncentracji arsenu w siarczках żelaza, markasytach i pirytach. W strefie utlenienia zawartość tego metalu nie zmienia się znacząco. Nie jest uruchamiany, dlatego nie powstają arsenki. Praktycznie cały arsen przechodzi do wtórnych tlenków żelaza. Interesujący jest związek geochemiczny arsenu z talem. Oba te pierwiastki związane są z

siarczkami żelaza. Ponieważ w etapie przeróbki minerały żelaza kierowane są do odpadów to także przeważająca ilość arsenu i talu znajdzie się w stawach z odpadami poflotacyjnymi.

Mangan (Mn) jest pospolitym pierwiastkiem obecnym we wszystkich kruszczach śląsko-krakowskich zwykle w ilości od śladów do 1 %. Najwyższe skupienia manganu notuje się w ankerytowych dolomitach, siarczkach żelaza i cynku. Siarczki ołowiu nie zawierają manganu prawie wcale. W pierwotnych minerałach siarczkowych mangan przejawia tendencję do koncentracji w wysokotemperaturowych sfalerytach. Blendy skorupowe zawierają do 0,1 % manganu. Wchodzeniu manganu w sieć blendy cynkowej lub wurcytu sprzyja podobieństwo stałych sieciowych. W kruszczach śląsko-krakowskich większość manganu występuje w formie koloidalnych tlenków w których dominuje Mn^{4+} . Różnice w potencjałach red-ox manganu i żelaza prowadzą do rozdziału Mn i Fe. Jednakże rozdział ten nie jest całkowity i może następować wspólna koncentracja tlenków żelaza i manganu (niektóre strefy utlenienia rud Zn-Pb), w których mangan osiąga nawet zawartości do 1%.

German (Ge) występuje głównie w siarczkach cynku osiągając koncentracje nawet do 0,056% (średnio 0,0085%). Podwyższenie zawartości germanu w siarczkach cynku zostało stwierdzone przez Harańczyka (1965), który podaje, że ciemniejsze pasma blend zawierają więcej germanu (do kilkuset g/t) niż pasma jasne (kilka g/t). Dotychczas nie ustalono form występowania germanu w blendzie. Istnieje możliwość, że german wraz z arsenem i telurem wchodzi w strukturę blendy na drodze podstawień izomorficznych. Najwyższe koncentracje manganu stwierdzono w rudzie sfalerytowej (Cabała 1996), natomiast ruda galenowa i siarczki żelaza zawierają stosunkowo niewiele manganu.

Ind (In) rzadki pierwiastek, w litosferze występujący w stanie rozproszonym, prawie wcale nie tworzy własnych faz mineralnych. Koncentruje się zwykle w etapie pomagmowym przejawiając wyraźną sulfofilie⁸. Stąd też występuje jako domieszka w siarczkach cynku, żelaza i miedzi powstałych w średnich i niskich temperaturach. Niewielka ilość danych na temat koncentracji indu w złożach śląsko-krakowskich uniemożliwia szersze porównania. Harańczyk (1965) stwierdził ślady tego pierwiastka w blendzie ziarnistej. Ind gromadzi się głównie w ciemnych odmianach sfalerytu żelazistego, a jego zawartość w sfalerycie może dochodzić do 0,1 % wyjątkowo do 1 %. Niskotemperaturowe sfaleryty wykazują zwykle niższe koncentracje indu

⁸ **sulfofilia** – właściwość niektórych metali związana z tendencją (w zależności od środowiska) do łączenia się z siarką w związkach mineralnych i tworzenia siarczków.

ok. 0,001%. Na podstawie 238 oznaczeń zawartości indu w rudach rejonu olkuskiego Cabała (1996) określił jego średnią zawartość na ok. 0,0012% przy niskich współczynnikach zmienności. Jest to wysoki stopień koncentracji, przekraczający o prawie dwa rzędy wielkości podawane dla rudy średniej przez Gałkiewicza (1983). Wysokie średnie zawartości indu charakterystyczne są dla siarczków cynku i ołowiu (średnio 0,0019% dla ZnS i 0,0026 dla PbS) (Cabała 1996).

Kobalt (Co) i nikiel (Ni). Zawartości kobaltu w kruszcach śląsko-krakowskich są słabo poznane, często nie stwierdza się go wcale. Brak kobaltu interpretuje się jako dowód na powstanie kruszców w niskich temperaturach. Wspólnie z kobaltem występuje nikiel, który osiąga koncentracje rzędu tysięcznych części procenta (Harańczyk 1965). Najwięcej niklu zawierają skorupowe siarczki żelaza średnio 0,0023%. Większość ze 106 badanych próbek rud Zn-Pb z rejonu olkuskiego nie zawierała kobaltu wcale (Cabałą 1996). W siarczkach cynku średnia zawartość kobaltu jest wysoka i dochodzi do 0,09%. Wysoką zawartość Co w siarczkach cynku należy wiązać z występowaniem podstawień izomorficznych w sfalerycie, czemu sprzyja podobieństwo promieni jonowych Zn^{2+} i Co^{2+} oraz atomowych Zn i Co. W próbach galeny stwierdzono wysokie lecz zmienne koncentracje Co (od 0,005% do 0,02%. W siarczkach żelaza na 77 analiz jedynie w 6 próbach stwierdzono kobalt w ilości od 0,001% do 0,045%. (Cabała 1996)

Selen (Se), obecność selenu w rudach Zn-Pb nie jest dobrze poznana. Selen posiada promień jonowy (Se^{2-}) zbliżony do promienia jonowego S^{2-} . Dlatego w swojej drodze geochemicznej wiąże się z siarką. Jego zawartości określano głównie w siarczkach Zn, Pb i Fe (120 oznaczeń). Najwyższe koncentracje tego pierwiastka zostały stwierdzone w galenach (Cabała 1996) (średnio 0,012%) przy niskim stopniu zmienności. Selen znajdujący się w odpadach poflotacyjnych jest związany głównie z siarczkami żelaza, jednakże jego koncentracje nie są wysokie.

2.3 Złóża rejonu Zawiercia

Badania geologiczne prowadzone w latach 1950-1989 doprowadziły do rozpoznania i udokumentowania w różnych kategoriach ponad 20 nowych obszarów złóżowych. Były to złoża: Trzebionka, Pomorzany, Klucze, Jaroszewiec-Pazurek, Sikorka, Laski, Chechło, Rodaki-Rokitno, Zawiercie I i II, Poręba-Marciszów, Dąbrówka, Krzykawa, Siewierz.

W drugiej połowie XX wieku ZGH Orzeł Biały, ZGH Bolesław i ZG Trzebieńka eksploatowały rudy w złożach: Dąbrówka, Bolesław, Olkusz, Pomorzany i Trzebieńka. Od lat 50-tych XX wieku prowadzone były prace wiertnicze w wielu obszarach złożowych, intensyfikacja wierceń poszukiwawczych przypadała na lata 70-te i początek lat 80-tych, niestety od roku 1989 budżet państwa praktycznie zaprzestał systematycznego finansowania wierceń. Szczególnie interesujące i obiecujące dane o zasobach i jakości rudy uzyskano w rejonie Zawiercia. Najwięcej otworów wiertniczych wykonano na południowy-zachód i południe od miasta Zawiercie, ich opracowanie pozwoliło Państwowemu Instytutowi Geologicznemu udokumentować znaczne zasoby bilansowych rud cynku i ołowiu. W okresie kilkunastu lat powstały dokumentacje geologiczne opisujące zasoby i geologię złoża Zawiercie (Wielgomas 1970; Rogoż i inni 1975a; Rogoż i inni 1975b; Rogoż 1990). Pod koniec lat 80-tych XX wieku pojawił się plan budowy kopalni w rejonie Zawiercia, odwiercono otwory podszybowe, wykonano badania geomechaniczne skał i zaprojektowano dwie lokalizacje szybów. Jednak brak środków na inwestycje, kryzys gospodarczy i fakt, że ówczesne zasoby (w rejonie olkuskim i chrzanowskim) zaspokajały krajowe zapotrzebowanie na cynk i ołów nie sprzyjały dalszemu rozpoznaniu złóż i budowie kopalni w tym obszarze.

2.3.1 Lokalizacja występowania złóż i historia ich rozpoznania

Prace górnicze w rejonie złóż bytomskich, olkuskich i chrzanowskich pozwoliły na bardzo dobre rozpoznanie warunków zalegania złóż, dodatkowo liczne otwory wykonywane w peryferyjnych partiach złóż umożliwiały rozpoznanie dodatkowych zasobów.

Szczególnie interesujące pod względem zasobów oraz budowy geologicznej złoża zostały odkryte w rejonie Zawiercia (Kurek 1993; Cabała 2002). Rejon Zawiercia jest jedynym obszarem, w którym dotychczas nie prowadzono eksploatacji rud Zn-Pb. Rozpoznanie budowy geologicznej rejonu złoża Zawiercie I (Fig. 19) w całości zostało oparte o interpretację danych z otworów wiertniczych. Dodatkowe informacje dotyczące morfologii stropu paleozoiku, tektoniki, systemów krasowych a także płytko zalegających złożach można uzyskać w wyniku interpretacji badań geofizycznych (metoda potencjałów wzbudzonych i pseudotomografii oporu). Pierwsze badania geofizyczne w rejonie Zawiercia wykonane zostały dopiero kilka lat temu (Cabała i inni 2007; Jochymczyk i inni 2006; Mikulski i inni 2013).

2.3.2 Geologia złóż rejonu zawierciańskiego (Zawiercie I i II, Rodaki-Rokitno Szlacheckie)

Tektonika

Złóża Zawiercie I oraz Rodaki-Rokitno leżą w bezpośrednim sąsiedztwie dużej strefy rozłamowej Kraków – Lubliniec (Fig. 7), której ewolucja decydowała o budowie tektonicznej całego obszaru. Aktywny charakter tej strefy w mezozoiku determinował rozwój deformacji tektonicznych w epiplatformowych utworach triasu (Cabała 1990; Cabała, Teper 1990).

Skały starszego paleozoiku zostały mocno stektonizowane w okresie kaledońskim i waryscyjskim. Długotrwała aktywność tektoniczna w strefie kontaktu bloku małopolskiego i górnośląskiego doprowadziła do ekspozycji utworów paleozoiku występujących w strefie Siewierz, Zawiercie, Chechło, Klucze, Starczynów, Dębik. W strefach nieciągłości waryscyjskich szczególnie o kierunkach NW-SE częste są wystąpienia kwaśnych wulkanitów; porfirów i granitoidów (Piekarski 1994). Reaktywowane w permie systemy uskokowe są odpowiedzialne za powstanie wyniesionych obszarów w popaleozoicznym paleoreliefie. W środkowym wapieniu muszlowym nadal aktywne były niektóre uskoki, szczególnie o kierunkach NW-SE i NNE-SSW. Aktywny charakter niektórych stref uskokowych w okresie triasu został stwierdzony w oparciu o analizę rozprzestrzenienia horyzontów zlepieńcowatych w sąsiedztwie „wysp” dewońskich (Cabała, Teper 1990).

Obraz tektoniczny złoża Zawiercie I jest zdominowany przez wyraźnie zindywidualizowany system uskoków wyznaczający strefę tektoniczną nazywaną uskokiem południowym Zawiercia (Fig. 7). Uskok ten dzieli obszar złoża na część zrębową - Zawiercie I oraz część zrzucaną - Zawiercie II. W opisywanym rejonie miała miejsce znaczna aktywność tektoniczna jeszcze przed dewonem, utwory syluru są zrzucone o około 1000 metrów, a dewonu o 130 metrów. W pokrywowych utworach mezozoiku zrzuty uskoków tego systemu są mniejsze i osiągają wartości od 10 do 90 metrów. W części zrzuconej złoża na dewonie występują osady karbonu górnego, które zachowały się dzięki waryscyjskiej aktywności tektonicznej w tej strefie. W mezozoiku uskoki tego systemu także były aktywne i zaznaczają się obecnością utworów jury w skrzydłach zrzuconych (Cabała 1990, Cabała Teper 1990).

Obszar zrębowy rejonu złoża Zawiercie. Uskoki posiadają biegi o kierunku NW-SE lub zbliżonym, taki sam kierunek mają wyniesienia, „wyspy” zbudowane ze skał dewonu i syluru. Wąska (1-1,5 km), strefa zrębowa powstała w wyniku rozwoju systemu uskoków normalnych zrzutowych i antytetycznych oraz zrzutowo-przesuwczych na południowo zachodnim skłonie wyniesionej struktury paleozoicznej. Uskoki systemu NW-SE charakteryzują się azymutami

zrzutów na SW (Fig. 19) o amplitudach od 10 do 50 metrów. Brak w obszarze zrębowym uskoku o kierunku NE-SW, lub NNE-SSW wskazuje, że nie miały miejsca w tej strefie ruchy przesuwcze wzdłuż tego kierunku.

Strefa uskoku południowego Zawiercia. W strefie granicznej między obszarem zrębowym i zrzuconym azymuty biegów uskoku są wyraźnie spolaryzowane w kierunku NW-SE. Uskoki tego systemu są poprzesuwane, przez prostopadłe do nich uskoki o orientacji NE-SW (Fig. 19). Zrzuty System uskoku NE – SW wyraźnie zaznacza się nie tylko w strefie uskoku południowego Zawiercia, ale także w jego skrzydle zrzuconym. Amplitudy zrzutów osiągają wartości od 20 do 90 metrów. Uskoki systemu NE-SW charakteryzują się wysokimi i zmiennymi kątami upadów, głównie na NW lub SE, mają charakter przesuwczy, normalny lub odwrócony (Cabała, Teper 1990).

Obszar zrzucony. W tym obszarze uformował się rów tektoniczny (1,5 –2 km) ograniczony od południowego zachodu przez normalne uskoki systemu NW-SE i WNW-ESE o azymutach upadu na NE. Uskoki te mają charakter zrzutowo-przesuwczy i są młodsze od uskoku przesuwczego systemu NE-SW występujących w strefie uskoku południowego Zawiercia.

Budowa geologiczna złóż Zn-Pb w rejonie Zawiercie - Łazy

Budowa geologiczna złóż rejonu zawierciańskiego jest inna aniżeli dotychczas eksploatowanych złóż w rejonie olkuskim, bytomskim czy chrzanowskim. Główne różnice są związane z płytkim występowaniem utworów paleozoicznych (syluru i dewonu) oraz faktem, że ciała rudne lokują się nie tylko w triasie, ale także w dewonie (Cabała 2002; Kurek 1993). Znaczący jest wpływ tektoniki oraz zjawisk krasowych na występowanie rud Zn-Pb. Występujące w triasie gniazdowe i pseudopokładowe formy ciał rudnych najczęściej są rozprzestrzenione horyzontalnie. Bardziej skomplikowana jest geometria ciał rudnych w utworach dewonu. Gniazda są nieregularne, często ich występowanie jest związane z systemami krasowymi. Głębokość zalegania horyzontów rudonośnych jest zmienna, bilansowe ciała rudne występują w interwale od 60 do 130 m od powierzchni terenu. Jakość rud jest lepsza, aniżeli w obecnie eksploatowanym złożu *Pomorzany* i zamkniętym złożu kopalni *Trzebionka*.

W złożu Zawiercie I średnie zawartości cynku w bilansowych rudach wynoszą ok. 6%, ołowiu ok. 2.5% i ok. 2.7 żelaza. Ciała rudne osiągają miąższości do 13 m, średnio do 4 m,

udział wagowy minerałów siarczkowych Zn-Pb-Fe w rudzie jest znaczny i średnio wynosi 15.8% a minerałów utlenionych 3.92 % (Cabała 2000).

W budowie geologicznej rejonu złoża Zawiercie można wyodrębnić trzy piętra strukturalne, których konsolidacja nastąpiła w różnych okresach geologicznych:

- staropaleozoiczne (kambr, ordowik, sylur)
- młodopaleozoiczne (dewon, karbon, perm)
- mezozoiczne (trias, jura)

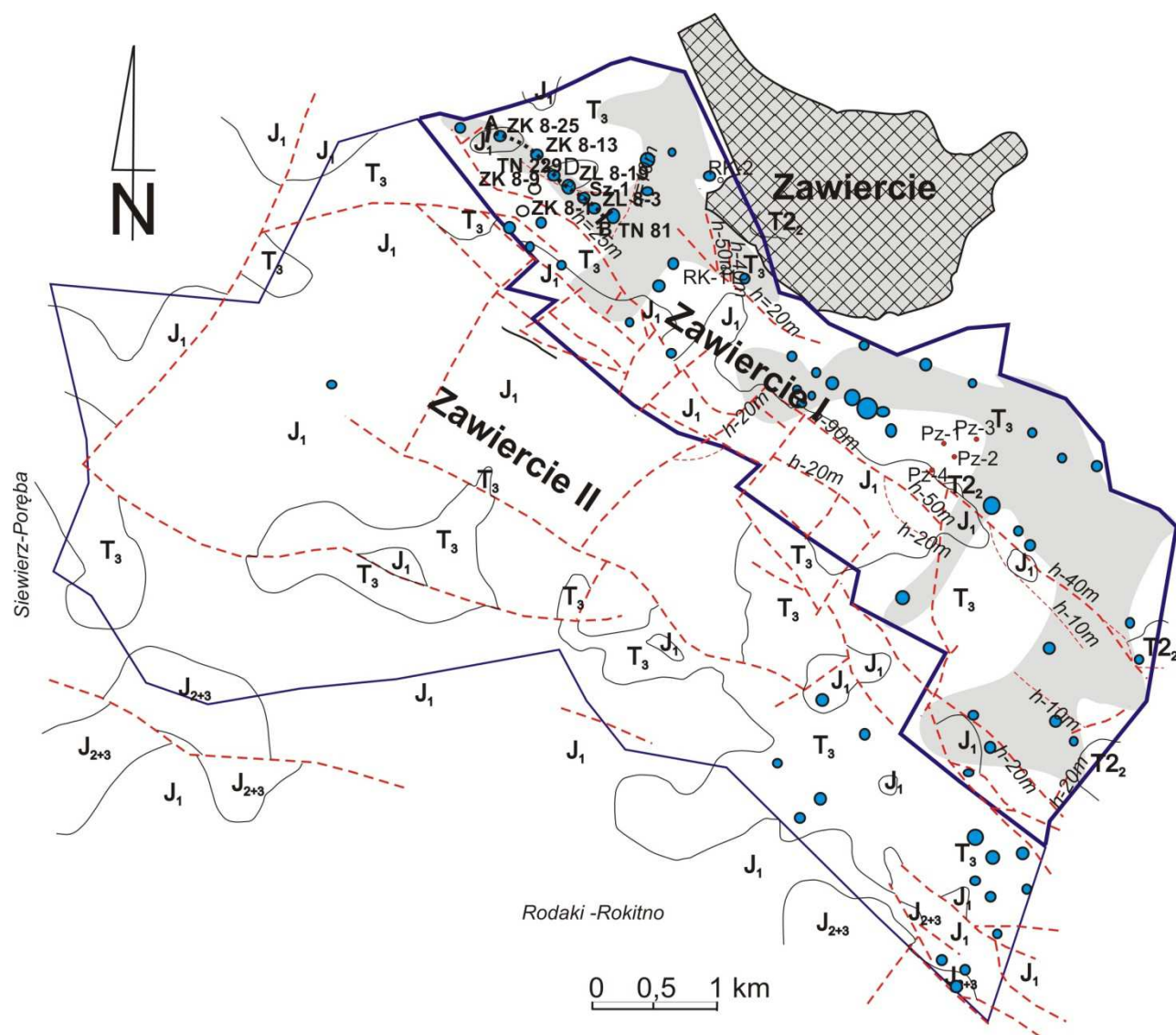


Figura 19 Mapa geologiczna złoża Zn-Pb Zawiercie I i II. Objasnienia: J₂₊₃ – jura środkowa i górna, J₁ – jura dolna, T₃ – kajper, T₂₂ – dolomity diploporowe, D – dewon, niebieskimi punktami oznaczono otwory z mineralizacją bilansową.

Piętro staropaleozoiczne

Reprezentowane jest przez utwory kambru, ordowiku i syluru zalegające pod dewonem lub triasem. Z kwaśnymi intruzjami porfirowo-granitowymi związana jest polimetaliczna mineralizacja Cu-Mo-W i Zn-Pb. W utworach węglanowych w rejonie Myszkowa, Mrzygłodu oraz Zawiercia rozpoznano mineralizację pirytowo-miedziową typu skarnowego (Kurek 1988).

Kambr

Osady z tego okresu to głównie mułowce i marmury.

Ordowik

W obszarze złoża rozpoznano wierceniami (RK-1, RK-2, RK-6) płytko zalegające pod triasem utwory ordowiku reprezentowane przez zmetamorfizowane skały typu metamułowców, marmurów. W obrębie węglanowych skał ordowickich występują skarny z mineralizacją polimetaliczną (Cu, Zn, Pb, W) oraz pirytowo-miedziową (Piekarski, 1994). Rozdzielenie i jednoznaczne oznaczenie wieku utworów syluru i ordowiku jest często niemożliwe ze względu na duży stopień przemian metamorficznych.

Sylur

Sylur zalega w obszarze złoża pod utworami dewonu, lokalnie bezpośrednio pod triasem na głębokościach 100 do 200 metrów. Reprezentują go słabo zmetamorfizowane mułowce i iłowce z wkładkami piaskowców. W sąsiedztwie kwaśnych intruzji porfirowo-granitowych w skałach sylurskich także obecna jest mineralizacja polimetaliczna (ZŁ 8-3, ZŁ 8-12).

Piętro młodopaleozoiczne

Zbudowane z utworów dewonu i karbonu niezgodnie zalegających na osadach staropaleozoicznych.

Dewon

Niezgodnie na sylurze zalegają utwory dewonu dolnego, środkowego i górnego. Dolny dewon stanowią czerwone kwarcyty i piaskowce, środkowy i górny najczęściej wykształcony jest jako dolomity i wapienie. W obrębie wyniesionych „wysp” lokalnie rozwinęły się procesy wtórnej dolomityzacji, której towarzyszą bilansowe nagromadzenia kruszców cynku i ołowiu. Lokalnie

w obszarach wyniesionych dewon uległ erozji, dlatego bezpośrednio pod triasem występują osady syluru (ZŁ 8-3, ZL 9-13, ZO 5-13, Z-18).

Karbon

Karbon dolny, osady z tego okresu nawiercono w południowej i północnej części złoża Zawiercie I (TN-82, TN-75), reprezentują je dolomity, wapienie i margle. Utwory karbonu górnego lokalnie zachowały się w tektonicznie obniżonej części złoża Zawiercie II.

Perm

Sedymentacja ograniczała się do obszarów obniżen i rowów tektonicznych, utwory z tego okresu zachowały się lokalnie (ZM 5-11) w postaci oderwanych cienkich pokryw. Dolny perm reprezentują pstre zlepieńce zalegające niezgodnie na utworach syluru, karbonu lub dewonu.

Piętro mezozoiczne

Na paleozoicznych utworach niezgodnie leżą osady triasu, które lokalnie są zerodowane w obrębie niektórych wyniesionych struktur skal dewonu. Częściej jednak zalegają przekraczając w strefach skłonu paleozoicznych wyniesień. Bezpośrednio na rezydualnej zwietrzelinie dewonu leżą dolomity retu, wapienie warstw gogolińskich, dolomity kruszconośne lub dolomity diploporowe. Utwory te przykryte są osadami ilastymi kajpru, które są najcieńsze w rejonie wyniesień paleozoicznych (Fig. 20).

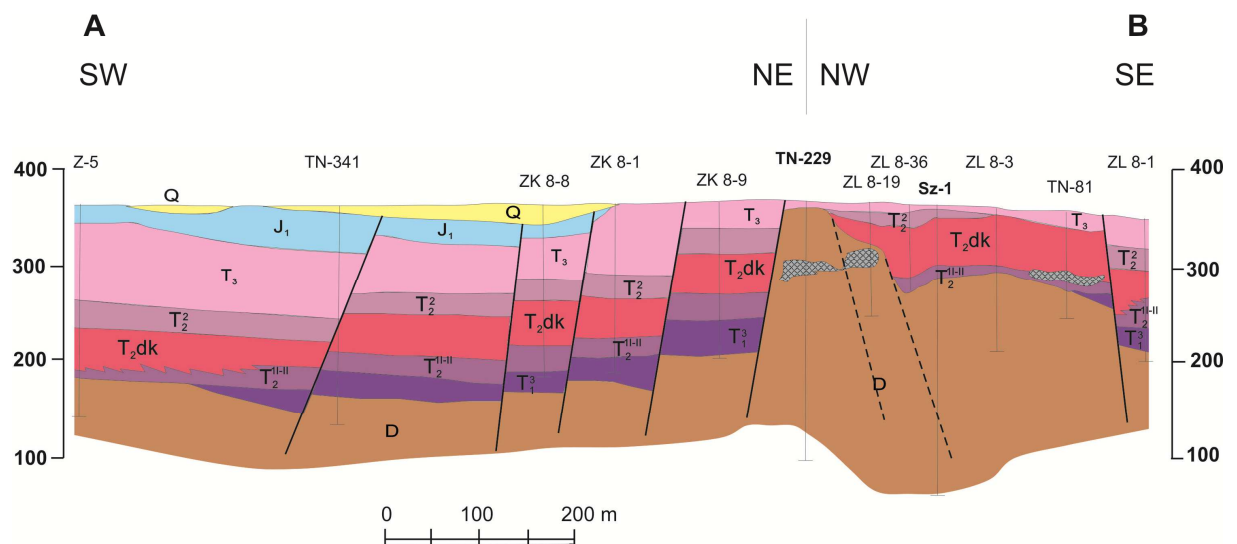


Figura 20 Przekrój geologiczny w północno zachodniej części złoża Zawiercie I. Objasnienia: Q – Czwartorzęd, J₁ – dolna jura, **Trias**; T₃ – kajper, T₂ – dolomity diploporowe, T₂ dk – dolomity kruszconośne, T₂^{II-II} – warstwy gogolińskie, T₁³ – ret, D – dewon, gniazda zaznaczone szrafurą – strefy mineralizacji Zn-Pb, linia pionowa – uskoki, linia przerywana – uskoki prawdopodobne.

Dolny trias jest reprezentowany przez piaskowce i iłowce pstrego piaskowca oraz morskie, dolomityczne utwory retu. Utwory triasu środkowego są wykształcone w facji epikontynentalnej (Wyczołkowski 1978). Charakterystyczne jest znaczne podobieństwo do profilu triasu olkuskiego (Cabała, Konstantynowicz, 1999). Dolna część wapienia muszlowego posiada zwykle wapienne wykształcenie i reprezentowana jest przez wapienie warstw gogolińskich. Powyżej zalegają warstwy karchowickie, terebratulowe i górażdzańskie.

Znaczna część profilu wapienia muszlowego została objęta epigenetyczną dolomityzacją, której produktem są porowate i spękane dolomity kruszconośne. Mineralizacja siarczkami Zn-Pb-Fe lokuje się głównie w dolomitach kruszconośnych które spotykane są nie tylko w triasie, ale na podobnych poziomach hipsograficznych także w dewonie (Fig. 20). Nad dolomitami kruszconośnymi występują organogeniczne dolomity diploporowe. Bezpośrednio przed kajprem nastąpił okres intensywnej erozji, lokalnie zaznaczający się całkowitym ścięciem erozyjnym dolomitów diploporowych i kruszconośnych. W rowach tektonicznych ograniczonych uskoki o największych amplitudach zrzutu, pod kajprem występują osady warstw tarnowickich (górną wapień muszlowy). Osady kajpru reprezentowane są przez ilaste i marglisto-węglanowe utwory, tworzące ciągłą, nieprzepuszczalną pokrywę nad utworami triasu. W obszarach zrębowych kajper jest mocno zredukowany, a w obszarze wyniesionych utworów paleozoiku lokalnie uległ całkowitej erozji.

Jura. W południowo-zachodniej części złoża Zawiercie I występuje jedynie dolna jura wykształcona w formie piasków, piaskowców i zlepieńców oraz łupków ilastych. Utwory jury najlepiej zachowały się w skrzydłach zrzucanych systemu uskoku NW-SE występujących w obszarze złoża Zawiercie II.

Plejstocen jest reprezentowany przez rezydualne zwietrzliny, piaski fluwioglacjalne oraz osady deluwialne. W okresie plejstocenu miała miejsce intensywna działalność erozyjna, lokalnie zaznaczająca się powstaniem rezydualnych zwietrzelin oraz dolin rzecznych wciętych w osady jury, triasu i dewonu.

Na budowę geologiczną paleozoicznego podłoża oraz pokrywy mezozoicznej znaczący wpływ miała strefa rozłamowa Kraków – Lubliniec (KLFZ) (Bula i inni 1997). Aktywność tektoniczna

KLFZ w mezozoiku determinowała rozwój deformacji tektonicznych w epiplatformowych⁹ utworach triasu (Cabała, 1990; Cabała, Teper, 1990). W budowie geologicznej dominuje styl blokowo - uskokowy (Fig. 8, 19). Przeważają uskoki normalno zrzutowe, rozpoznano także uskoki nożycowe i odwrócone (Cabała, Teper 1990; Cabała 2002).

2.3.3 Charakterystyka cech fizycznych górotworu triasowego i dewońskiego

Charakterystyka cech fizycznych górotworu została wykonana w oparciu o dane z badań rdzeni wiertniczych tzw. otworów podszybowych (PZ-1, PZ-2, PZ-3, PZ-4) zlokalizowanych w centralnej części złoża Zawiercie I (Fig. 19). Otwory o symbolach PZ zostały wykonane w latach 80-tych XX wieku w miejscu gdzie zaprojektowano lokalizację szybów kopalni rud Zn-Pb Zawiercie. Wykorzystano dane uzyskane z badań 810 metrów bieżących rdzeni na których przeprowadzono około 220 oznaczeń najważniejszych parametrów (gęstość, porowatość, nasiąkliwość). Wyniki badań współczynników zwięzłości skał, porowatości, gęstości właściwej oraz nasiąkliwości pozwalają na przedstawienie najważniejszych prawidłowości zmienności tych parametrów. Autorzy wykonali także profilowania niektórych rdzeni wiertniczych z otworów o symbolach Sz, ZL, ZŁ.

Porowatość - n [%] badanych skał maleje wraz z głębokością. Płytko występujące (do 140-150 m.) utwory triasu charakteryzują się zmiennymi porowatościami od 5 do 20 %, głębiej zalegające skały dewonu cechują się porowatościami poniżej 8% (Fig. 21).

W poszczególnych profilach zmiany tego parametru zależą od litologii skał. Dolomity diploporowe oraz dol. kruszconośne w triasie i stropie dewonu cechują się

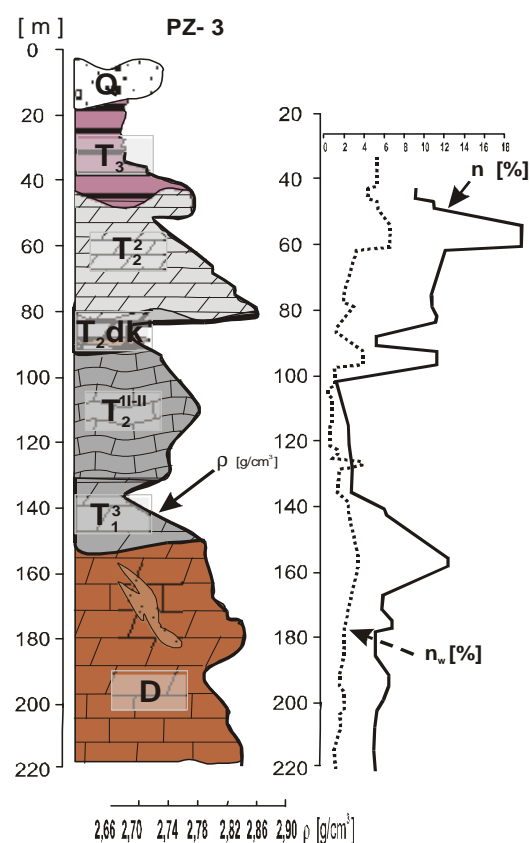


Figura 21 Profil otworu PZ-3 (podszybowego). Krzywa zmian nasiąkliwości n_w [%], Schematyczny relief wykonany został wg gęstości $[\text{g}/\text{cm}^3]$. Linia kropkowana przedstawia zmiany porowatości.

⁹ **eplatformowy** – powstały na platformie w płytkim, morskim basenie śródkontynentalnym (np. w triasie)

wyraźnie wyższą porowatością w porównaniu do wapieni gogolińskich oraz głębszych części profilu dewonu reprezentowanego przez dolomity wapniste i wapienie

Nasiąkliwość nw [%] W badaniach uwzględniono głównie nasiąkliwość wagową skał. Nasiąkliwość badanych skał wyraźnie koreluje się z ich porowatością. (Fig. 21). Prawdopodobność ta zaznacza się nie tylko w pokrywowych utworach triasu, ale także w starszych skałach dewonu. Najwyższe wartości nasiąkliwości (od 4 do 6 %) posiadają dolomity diploporowe i dolomity retu. Nieco niższymi (od 2 do 4 %) charakteryzują się dolomity kruszconośne w triasie i dewonie. Najniższymi wartościami nasiąkliwości (<2%) cechują się wapienie gogolińskie oraz głębsze części profilu dewonu (Cabała 2002).

Dolomity kruszconośne rozwinięte w utworach triasu charakteryzują się obecnością licznych kawern i spękań w sąsiedztwie których występują siarczki Zn-Pb-Fe. W spągu dolomitów kruszconośnych występują poziomo rozprzestrzenione kawerny wypełnione materiałem ilastym z siarczkami Zn-Pb-Fe oraz siarczanami, są one odpowiednikiem ilów kruszconośnych opisywanych z obszaru olkuskiego (Fig. 22).

W sytuacji gdy dolomityzacja objęła także strop utworów dewonu to w spągu triasu nie obserwuje się kawern z materiałem ilastym. W profilach (otwory: ZL 8-9, ZL 8-19, ZL 8-18), gdzie utwory triasu do samego spągu są zastąpione przez dolomity kruszconośne, kontynuujące się także w dewonie, charakterystyczne jest występowanie poziomów brekcji

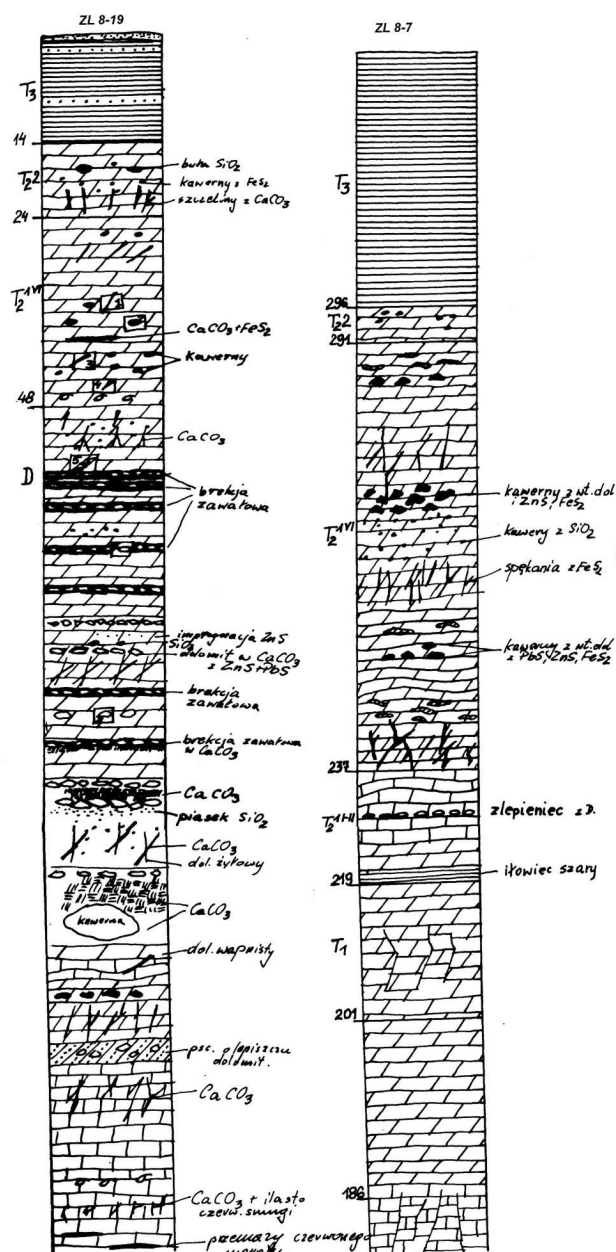


Figura 22 Szkic wykonany na podstawie profiliowań rdzeni z otworów wiertniczych ZL 8-19 i ZL 8-7 (złoże Zawiercie I)

zawałowych (Fig. 22), podobnych do opisywanych z triasu (Sass-Gustkiewicz 1996). Brekcje te występują do głębokości 50 do 100 metrów od stropu dewonu, charakteryzują się małymi miąższościami od 0,1 do 1m, nad brekcjami rozwinięte są pionowe szczeliny wypełnione kalcytem, krystalicznym dolomitem, rzadziej krzemionką. Niektóre z pionowych szczelin są rozwarne i rozługowane, wypełnia je słabo zwięzły materiał limonityczno-piaszczysty lub ilasty. Siarczki cynku i ołowiu w badanych profilach dewonu najczęściej tworzą impregnacje w dolomitach oraz towarzyszą szczelinom wypełnionym barytem. W górotworze dewońskim stwierdzono (otwór ZL 8-19) kawerny o wymiarach do 2 metrów, częściowo wypełnione grubokrystalicznym kalcytem (Fig. 23). W dewonie węglanowym nie objętym wtórną dolomityzacją, brekcje zawałowe nie występują. Obecne są jedynie drobne kawerny (0,01-0,2m) wypełnione kalcytem, dolomitem i śladowo siarczkami żelaza.

W niektórych interwałach dewonu zawartość krzemionki jest wyższa (od 7 do 10%), występuje w formie konkrecji, mikrolitycznego chalcedonu oraz drobnokrystalicznej krzemionki wypełniającej spękania. Obecność krzemionki oraz dolomitu żyłowego w skałach wpływa na wzrost stopnia zwięzłości skał oraz zmniejszenie porowatości. Dla utworów dewonu charakterystyczna jest remobilizacja krzemionki, której rozpuszczanie może być związane z występowaniem dużych naprężeń, stref ścinania w tym obszarze. Liczne szwy stylolitowe są zabliznione głównie kalcytem.

Tektoniczna przebudowa górotworu dewońskiego i triasowego w zrębach oraz ekspozycja na czynniki hipergeniczne w okresach erozji nie pozostały bez wpływu na jego cechy fizyczne. Dla lepszego rozpoznania warunków geologiczno-górnich zalegania złoża Zn-Pb Zawiercie I konieczne jest poznanie cech fizycznych górotworu, form ciał rudnych, struktur krasowych i morfologii podłoża decydujących o wartości złoża.

Stosunkowo płytkie zaleganie rud, znaczna zasobność złoża oraz siarczkowy charakter mineralizacji oraz cechy górotworu z technicznego punktu widzenia umożliwiają rozpoczęcie eksploatacji w przyszłości.

Z punktu widzenia górnich interesujące jest rozpoznanie złoża w obrębie górotworu dewońskiego. Niskie współczynniki nasiąkliwości, mała porowatość oraz znaczna zwięzłość i gęstość właściwa skał dewońskich wpływa na stabilność górotworu w sąsiedztwie wyrobisk udostępniających złoża. Spękania i pustki w sąsiedztwie dewońskich gniazd rudnych są wtórnie zabliznione kalcytem lub krzemionką, dlatego eksploatacja może być trudniejsza z uwagi na większą twardość skał. W dolomitach kruszonośnych rozwinięte są systemy krasowe, brekcje zawałowe, tektoniczne i spękania dlatego ich zwięzłość lokalnie może być niższa.

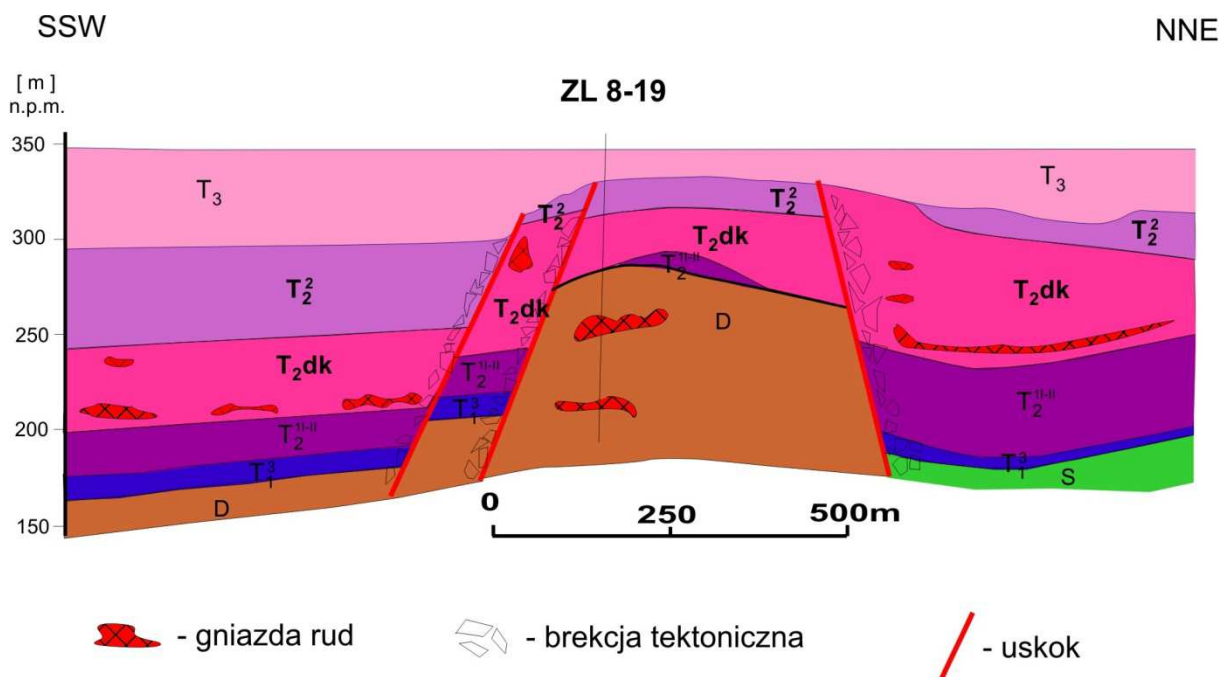


Figura 23 Przekrój geologiczny w rejonie otworu ZL 8-19, złoża Zawiercie I. Objaśnienia: **Trias**; T₃ – kajper, T₂₂ – dolomity diploporowe, T_{2dk} – dolomity kruszonośne, T_{2II-II} – warstwy gogolińskie, T₁₃ – ret, D – dewon, S – sylur.

Różnice porowatości, nasiąkliwości oraz twardości skał dewonu i wyżej ległych skał triasu wpłynęły na odmienne rozładowywanie się naprężeń w górotworze. W górotworze triasowym częściej powstawały krótkie uskoki o małych amplitudach zrzutu lub brekcje tektoniczne. Natomiast w dewonie sieć uskoków jest rzadsza i są to uskoki o dużych amplitudach zrzutu.

Najbogatsza mineralizacja kruszcami cynku i ołowiu występuje poza główną strefą uskokową rozwiniętą w paleozoiku i mezozoiku, gniazd rud lokują się w słabiej stektonizowanym obszarze zrębowym oraz w obszarze rowu.

2.3.4 Geochemiczno-mineralogiczna charakterystyka rud w złożu Zawiercie i Rodaki-Rokitno

Mineralizacja w złożach zawierciańskich podobnie jak w innych złożach śląsko-krakowskich ma charakter siarczkowy. Rudy są dolomityczne i mają prosty skład mineralny z dominacją zespołu sfaleryt-piryty-markasyt-galena (Fig. 24). Dla rud Zn-Pb w rejonie zawierciańskim charakterystyczne jest występowanie krystalicznego barytu, który często stanowi kilka procent wagowych rudy (Fig. 25).

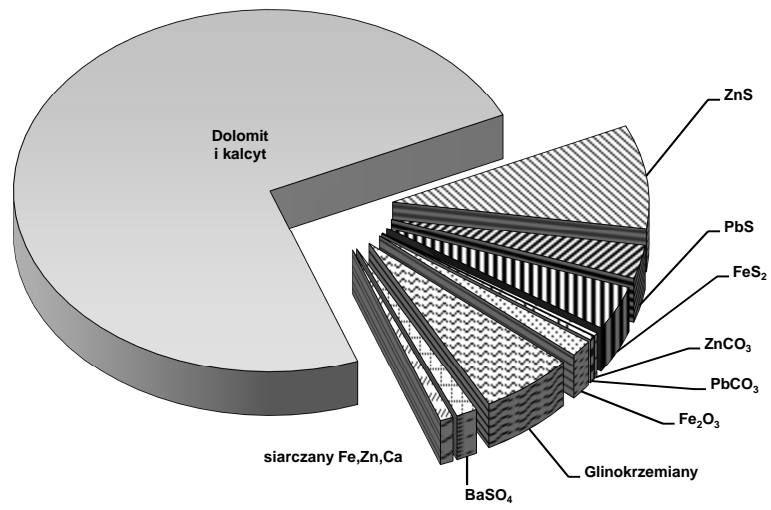


Figura 24 Średni skład mineralny rud bilansowych w złożu Zawiercie I. N=108 (Cabała 2002)

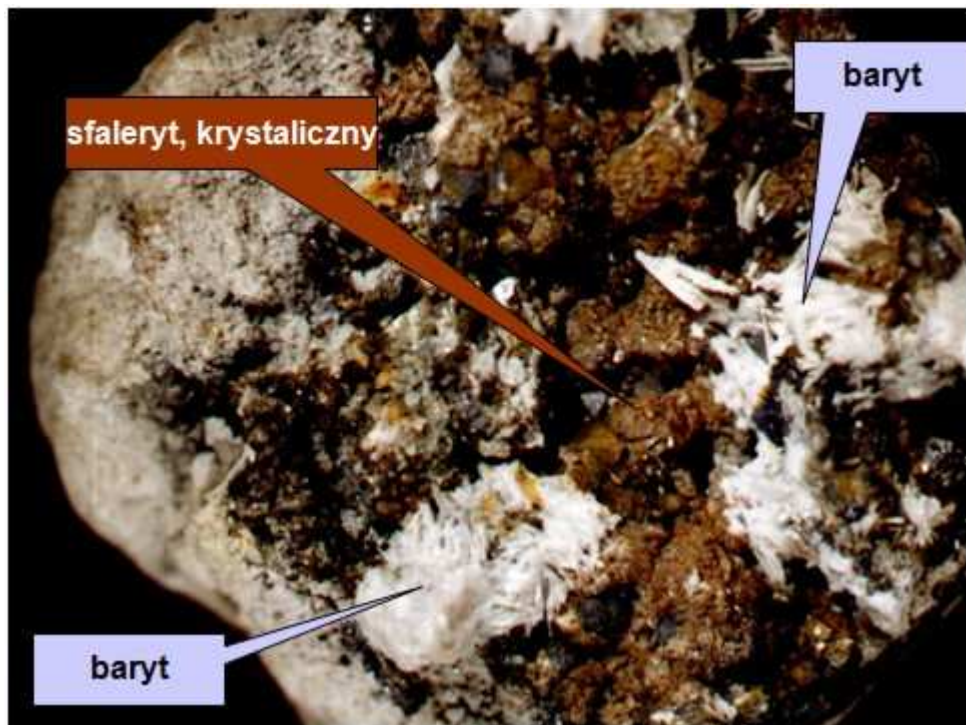


Figura 25 Sfaleryt (ZnS) i baryt (BaSO₄) w dolomicie. Fragment rdzenia wiertniczego ze złoża Zawiercie I (Fot. J. Cabała)

Składniki mineralne (minerały ilaste, krzemionka)

Wśród wielu składników rud (oprócz siarczków Zn i Pb) istotne znaczenie dla sprawności prowadzenia procesu flotacji rud Zn-Pb mają także zawartość minerałów ilastych, wolnej krzemionki oraz tlenków żelaza. Obecność illitu, kaolinitu oraz wolnej krzemionki w rudach w istotny sposób wpływa na przebieg procesów flotacji, a pośrednio na jej efektywność Rudy Zn-Pb w przeważającej części posiadają charakter dolomityczny, lokalnie wykazują jednak cechy wapieni lub wapieni magnezowych. Za charakterystyczne dla chemizmu dolomitów można uznać zawartości MgO, CaO oraz FeO (Cabała 1998). Zawartości procentowe tych składników zależą głównie od obecności minerałów ilastych, dolomitu, wolnej krzemionki. Na duże znaczenie dla chemizmu rud takich składników chemicznych jak Al_2O_3 i SiO_2 występujących w dolomitach kruszonośnych zwrócił uwagę S. Przeniosło (1974).

W złożach występujących w rowach tektonicznych o typowo siarczkowym charakterze mineralizacji takich jak Zawiercie i Rodaki-Rokitno, ale także w rejonie olkuskim (Pomorzany i Laski) wskaźniki dolomityzacji rud Zn-Pb są wysokie posiadają one charakter dolomitów słabo wapnistych. Porównując udział krzemionki, tlenków glinu oraz tlenków żelaza w rudach z rejonu olkusko-zawierciańskiego można zauważyć że rudy ze złoża Zawiercie oraz Rodaki-Rokitno cechują się najwyższym udziałem krzemionki przy niskim udziale tlenków żelaza (Fig. 26). Śliwiński (1969) podaje, że kwarc detrytyczny w dolomitach kruszonośnych jest związany z wkładkami utworów marglistych i ilastych typu ilów kruszonośnych. Przeprowadzone badania potwierdzają tę tezę.

Wtórny charakter wypełnień pustek i spękań w rudzie oraz wysokie zawartości krzemionki notowane w otworach zlokalizowanych w strefach uskokowych (Cabała 1995) lub ich sąsiedztwie pozwalają na przyjęcie założenia: *w okresach wietrzenia i erozji niektóre strefy zluźnień tektonicznych stanowiły miejsca descenzji wód odprowadzających z wyżej leżących zwietrzelin wylugowaną lub sufozycznie¹⁰ transportowaną w formie minerałów ilastych krzemionkę. Krzemionka wraz z materiałem ilastym była deponowana w spękaniach, pustkach oraz przestrzeniach międzyokruchowych brekcji rudnych (Cabała 1998).*

Dla większości złóż średni stosunek Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 jest podobny, dlatego punkty na diagramie trójkątnym (Fig. 26) układają się blisko siebie. Punkty będące odzwierciedleniem stosunku $SiO/AlO/FeO$ grupują się w obszarze trójkąta odpowiadającemu wietrzeniu żelazowo-sialitowemu (FeSiAl). Inny rodzaj wietrzenia krzemionkowo-żelazowego (*SiFe*) obserwuje się jedynie dla rud występujących w obszarze złoża Zawiercie (Z), w którym wyraźnie wzrasta

¹⁰ **sufozja** - zjawisko geologiczne i hydrodynamiczne polegające na mechanicznym wyplukiwaniu ziaren (cząstek minerałów) z osadu przez wody podziemne wsiąkające w skałę lub glebę.

zawartości krzemionki w stosunku do tlenków żelaza. W złożu Gołuchowice (G) zaznacza się przewaga tlenków żelaza nad SiO_2 i Al_2O_3 świadcząca o bardziej żelazistym (Fe) typie wietrzenia. Rozpatrując charakter wietrzenia rud w rejonie zawierciańskim i olkuskim można stwierdzić, że zasadnicze znaczenie mają te typy wietrzenia, które prowadzą do powstawania tlenków żelaza oraz wzbogacenia rudy w krzemionkę. Natomiast nie stwierdzono wyraźnego wzbogacenia rud utlenionych w tlenki glinu (*typowe dla wietrzenia laterytowego*).

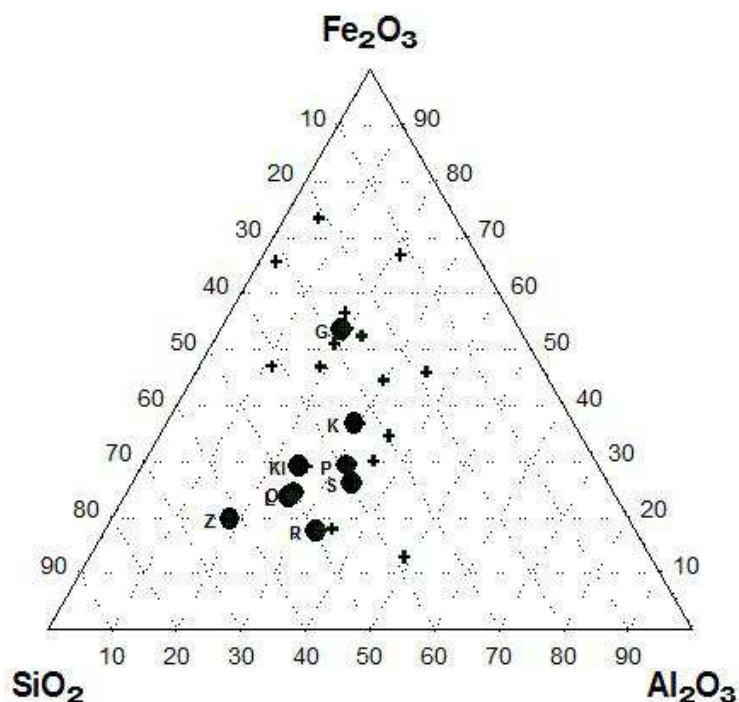


Figura 26 Diagram trójkątny systemu Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 w złożach ollusko-zawierciańskich. Punktami oznaczono średnie wartości dla złóż (S-Sikorka, K-Krzykawa, KL-Klucze, O-Olkusz, P-Pomorzany, L-Laski, R-Rodaki-Rokitno, G-Gołuchowice, Z-Zawiercie, punkty oznaczone krzyżykami reprezentują rudy utlenione (Cabała 1998).

Pierwiastki w rudach Zn-Pb ze złóż Zawiercie i Rodaki-Rokitno

W oparciu o analizy pełne próbek rud Zn-Pb pochodzących z otworów wiertniczych (z lat 1970-1989) przeanalizowano udział poszczególnych pierwiastków w złożach zawierciańskich Zawiercie I oraz Rodaki-Rokitno, dla porównania przedstawione zostały zawartości pierwiastków w jedynym jeszcze eksploatowanym w rejonie olkuskim w złożu Pomorzany.

Dane zestawiono w tabeli 6. W tabeli przedstawiono także wartość odchylenia standardowego¹¹ (STD) wskazującą pośrednio jak duża jest zmienność względem obliczonych średnich.

Tabela 6 Średni skład chemiczny rud Zn-Pb w złożach, określony na podstawie analiz rudy z otworów wiertniczych wykonanych w latach 1970-1989

	Pomorzany n=92		Rodaki Rokitno n=63		Zawiercie n=107	
	Średnia %	STD	Średnia %	STD	Średnia %	STD
Zn	6.17	4.59	2.76	1.97	6.32	5.41
Pb	1.17	2.50	0.67	0.93	2.70	4.22
Fe	7.40	6.57	2.52	2.83	2.75	2.08
S	10.38	8.06	3.63	3.72	5.24	4.00
ZnO	0.51	0.87	0.15	0.12	0.17	0.32
PbO	0.30	0.52	0.15	0.16	0.28	0.34
FeO	1.71	1.18	1.02	0.33	1.40	0.70
ZnwS	5.79	4.45	2.64	1.98	6.18	5.36
PbwS	0.85	2.04	0.51	0.82	2.44	4.05
FewS	6.18	6.14	1.90	2.75	1.76	2.13
BaO	0.06	0.34	0.62	2.05	0.84	2.09
SiO	2.28	3.57	2.90	3.50	4.40	8.64
MnO	0.17	0.07	0.10	0.05	0.19	0.06
SO ₃	0.52	0.74	0.48	0.53	0.80	0.96
Ag	0.0024	0.0029	0.0013	0.0021	0.0036	0.0081
As	0.0386	0.0311	0.0314	0.0569	0.0283	0.0279
Cd	0.0280	0.0203	0.0213	0.0144	0.0530	0.0668
Cu	0.0034	0.0045	0.0047	0.0057	0.0029	0.0027
Mo	0.0005	0.0003	0.0001	0.0003	0.0003	0.0004
Mg/Ca	3.33	7.12	1.71	0.39	2.08	0.94
UtZn	8.15	12.25	5.90	5.75	4.49	8.66
UtPb	42.32	25.25	28.56	19.32	24.91	21.43
UtFe	25.48	18.05	47.31	22.69	48.39	25.18
Z ₁ ppt	90.05	19.50	202.9	71.3	99.6	19.4
Z ₂ ppt	91.65	19.60	205.8	71.3	102.1	20.0

W złożu Zawiercie I wśród najważniejszych, użytecznych pierwiastków średnia zawartość cynku określona została na **6,32%** natomiast dla złoża Rodaki-Rokitno jest znacznie niższa **2,76%**. Dla porównania średni poziom koncentracji cynku w złożu Pomorzany określony został na 6,17%. Jeszcze wyraźniej różnica ta zaznacza się w odniesieniu do średnich zawartości

¹¹ **odchylenie standardowe** (STD) wskazuje, jak szeroko zawartości poszczególnych pierwiastków w rudach są rozrzucone wokół obliczonych średnich. Im mniejsza wartość odchylenia tym bardziej zawartości procentowe pierwiastków w rudzie są skupione wokół średniej.

ołowiu w złożu Zawiercie I **2,70%** natomiast w złożu Pomorzany 1,17%. Natomiast udział żelaza w złożu Zawiercie jest stosunkowo niski **2,75%** w porównaniu do średnich zawartości żelaza w złożu Pomorzany 7,40%. Żelazo jest pierwiastkiem nieużytecznym i prawie w całości na etapie przeróbki jest kierowane do odpadów poflotacyjnych.

Trzeba podkreślić, że na podstawie obliczonych średnich można jedynie w sposób przybliżony wnioskować o zasobności rud w poszczególne pierwiastki. Przedstawione zestawienie średnich jest jedynie próbą estymacji rzeczywistego stanu przeprowadzoną w oparciu o określoną ilość danych (n) (Tab. XX). Pozyskanie większej ilości prób rud Zn-Pb pobranych np. z otworów wykonanych w najbogatszych częściach złoża może prowadzić do obliczenia innych średnich wartości koncentracji poszczególnych pierwiastków.

Wśród innych ważnych dla jakości rud pierwiastków należy zwrócić uwagę na stosunkowo wysokie w złożu Zawiercie zawartości srebra **0,0036%** czyli 36 ppm¹², które są wyższe w porównaniu do wartości obliczonych dla złoża Pomorzany.

Wysokie, prawie dwukrotnie wyższe niż w złożu Pomorzany są także średnie koncentracje kadmu **0,0053%** (Tab. 6).

Poziom koncentracji w rudach Zn-Pb innych metali np.: Cu, Mo, As, Mn nie ma większego wpływu na jakość rud. Zawartości innych metalicznych pierwiastków śladowych nie są wysokie i nie wywierają one także wpływu na proces wzbogacania oraz środowiskowe uwarunkowania ewentualnego deponowania odpadów poflotacyjnych.

Do interesujących składników występujących w rudach należy baryt (BaSO_4), minerał który znany jest we wszystkich złożach śląsko-krakowskich, jednak w obszarze złoża Zawiercie I, a także Rodaki-Rokitno udział mineralizacji barytowej jest szczególnie wysoki (Fig. 25). W poszczególnych etapach wykonywania prac wiertniczych (do 1989 roku) dokumentowano otwory w których mineralizacja barytem dochodziła do kilku a nawet kilkunastu procent. Wartości średnie koncentracji baru (BaO) określone dla złoża Zawiercie wynoszą 0,84% i są znacznie wyższe w porównaniu do 0,06% w złożu Pomorzany. Na podstawie mineralizacji siarczanami Ba można przypuszczać, że w obszarze zawierciańskim w jednym z etapów mineralizacji doszło do aktywizacji niskotemperaturowych roztworów bogatych w bar, które są niekiedy charakterystyczne dla peryferyjnych części złóż typu MVT. Baryt jest minerałem stabilnym, ciężkim trudno rozpuszczalnym i nietoksycznym, jego obecność nie wpływa niekorzystnie na poszczególne elementy środowiska.

¹² ppm, (*parts per million*) jedna milionowa (mg kg^{-1}) określa ile cząsteczek związku chemicznego lub np. pierwiastka przypada na 1 milion

3. Charakterystyka górnictwa i przeróbki rud

Znaczenie rud Zn-Pb mocno wzrosło po odkryciu cynku i zastosowaniu tego metalu na szeroką skalę w gospodarce. Na szybki wzrost produkcji cynku duży wpływ miały jego wysokie ceny. Pod koniec XIX wieku wartość jednej tony cynku odpowiadała 900 tonom węgla, a do wytopienia 1 tony cynku zużywano około 20 do 24 ton węgla. Zasadniczy wpływ na postęp w produkcji cynku miało unowocześnienie metod przeróbki rud siarczkowych cynku. W szczególności opracowanie metody olejowej flotacji rud w 1869 przez Williama Haynes'a, oraz dalsze unowocześnienie flotacji w 1905 r. przez A.H. Higginsa i G.A. Chapmana (Cabała 2009). Od drugiej połowy XX wieku światowa produkcja cynku była coraz częściej prowadzona w oparciu o hydrometalurgiczne i elektrolityczne metody produkcji, technologie te zyskały na znaczeniu i stopniowo zastępowały technologie hutnicze w których proces technologiczny polegał na redukcji wsadu cynkowego za pomocą węgla. Duże znaczenie ma także fakt, że metody hydrometalurgiczne mają znacznie mniejsze oddziaływanie na środowisko w porównaniu do hutniczej przeróbki utlenionych lub siarczkowych rud Zn-Pb.

3.1. Historia eksploatacji i przeróbki rud Zn-Pb

Rudy ołowiu i srebra były eksploatowane najwcześniej. Wydobycie prowadzono z płytko zalegających gniazd rudy bogatych w srebronośną galenę. W pierwszej kolejności eksploatacja była prowadzona w obszarach zrębów tektonicznych i na wychodniach, głównie wydobywane były rudy utlenione (galmany). Dla zwiększenia uzysku srebronośnej galeny stosowano proste metody wzbogacania rud poprzez sortowanie i płukanie rudy. Z galeny metodami hutniczymi wytapiano ołów i srebro.

Rudy cynku. Historia produkcji cynku datuje się dopiero od połowy XVIII wieku i jest związana z wyizolowaniem metalicznego cynku przez Andreeasa Marggrafa w 1746 roku. Na terenach polskich rozwój górnictwa rud cynku był związany z opracowaniem w 1798 roku przez J.Ch. Ruberga metody hutniczego wytopu cynku z utlenionych rud galmanowych. W Wesołej koło Mysłowic w 1798 r. uruchomiono pierwsze piece mufłowe służące do wytopu cynku (Jamrozy, Rączka 1999). Początkowo cynk otrzymywano z odpadowych żużli pochodzących z hut żelaza z rejonu Bytomia i Tarnowskich Gór. Huty cynku, w których konstrukcja pieców była zbliżona do tych które zaprojektował J.Ch. Ruberg, działały do lat 80. XX wieku np. Zakłady Metalurgiczne Silesia na Wełnowcu. Do lat 30. XX wieku rudy galmanowe oraz starsze

bogate w cynk i ołów odpady pogórnice były wstępnie wzbogacane przez płukanie (płuczki galmanowe). Wzbogacony w minerały cynku i ołowiu galman był kierowany do hut.

3.2. Systemy eksploatacji rud stosowane w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat

W olkuskich, a także chrzanowskich kopalniach rud cynku i ołowiu stosowano głównie systemy filarowo-komorowe oraz zabierkowe. Umożliwiają one dużą mobilność przodków eksploatacyjnych oraz prawie pełne wyeksploatowanie ciał rudnych. Od połowy lat 90. eksploatacja prowadzona jest z pełnym zastosowaniem podsadzki hydraulicznej. Systemy filarowo-komorowe stosowane są przy eksploatacji złoża jedną warstwą do miąższości 6 m. Zabierki mogą być wielowarstwowe.

W różnych okresach lat 70., 80. i praktycznie do połowy lat 90. stosowano w niektórych rejonach eksploatacji (np. w obszarze złoża Pomorzany) systemy komorowe z zawałem stropu, system podpółkowy z zawałem stropu oraz system Pomorzany 85.

Na zubożenie złoża zasadniczy wpływ miały systemy eksploatacji. Najwyższe zubożenie rzędu 3.7 do 20% cechowało system Pomorzany 85 (Socha, Wnuk 1998). Obecnie stosowane systemy eksploatacji pozwoliły wydatnie zmniejszyć zubożenie złoża do poziomu 2% w kopalni Pomorzany i 3.3% w kopalni Olkusz. Oznacza to, że metody podziemnego wydobycia pozwalają w sposób selektywny wydobyć prawie całe zasoby rud bilansowych występujące w udostępnionych górniczo horyzontach rudonośnych. Największe straty eksploatacyjne są związane z uwięzieniem znaczącej części zasobów w filarach ochronnych (np. szybów, głównych wyrobisk chodnikowych, kanałów wodnych czy linii kolejowych), straty te w niektórych częściach złoża mogą dochodzić do 30, a nawet 50%.

Niezależnie od czynników związanych z systemami eksploatacji i bezpieczeństwem jej prowadzenia na straty związane z technologią wydobycia wpływają także czynniki geologiczne: tektonika, lokalna zmienność jakości rud, występowanie systemów krasowych itp. W rejonie złoża Pomorzany początkowo (od 1974) eksploatację prowadzono w centralnej części rowu Pomorzany, stosunkowo blisko szybów wydobywczych, jednak z upływem czasu rudy zostały wyeksploatowane i stopniowo zasięg eksploatacji obejmował tereny w kierunku wschodnim i północnym. W okresie kiedy zasoby są na wyczerpaniu eksploatacja jest prowadzona w odległości do 6 kilometrów od szybów i dochodzi do granic sąsiadującego od wschodu złoża Sikorka, a także granic leżącego na północy złoża Klucze. W kierunku południowym możliwości wydobycia są ograniczone ponieważ złożo graniczy z wyeksploatowanymi złożami kopalni Olkusz oraz Bolesław. Przez kilkanaście lat eksploatowana była jedynie niewielka partia złoża

Olkusz (tzw. podpoziom), gdzie po zamknięciu kopalni Olkusz (2001) pozostała jeszcze część zasobów wydobywanych przez kopalnię Pomorzany. W kierunku zachodnim leży złoża Laski, w obszarze którego, także na niewielką skalę okresowo prowadzone było wydobywanie rudy; niskie zawartości procentowe cynku i ołowiu (ok. 3%-3.5%) w rudzie powodowały, że nie było to opłacalne. Ekonomicznie uzasadniona eksploatacja niskoprocentowych rud możliwa była lub będzie jedynie w sytuacji kiedy ceny metali są bardzo wysokie (np. > 3000 USD za tonę Zn).

W peryferyjnych częściach złoża często zmienia się skład mineralny rud (jest np. więcej ołowiu, a mniej cynku), rośnie stopień jej utlenienia, a horyzonty rudonośne stają się nieregularne i posiadają małe miąższości (Cabała 1996). W miarę wyczerpywania się zasobów wzrastają koszty wydobywania, a czynniki geologiczno-górnictwa powodują, że coraz trudniej jest przygotować dla flotacji odpowiednią ilość nadawy, która spełniałaby wymagania technologii przeróbki.

3.3 Potencjalna eksploatacja rud Zn-Pb w obszarze złoża Zawiercie I i II oraz złoża Rodaki-Rokitno

Dostępne obecnie dane na temat rozmieszczenia horyzontów rudonośnych, zasobów rud i ich jakości zostały uzyskane w wyniku rozpoznania pracami wiertniczymi w latach 1960 do 1989. Udzielone w ostatnich latach koncesje (7 koncesji) na poszukiwanie i dokumentowanie złóż w obszarze zawierciańskim i olkuskim przyczyniły się do wykonania wielu otworów wiertniczych w obszarach potencjalnego występowania złóż.

Na obecnym etapie nie zostały jeszcze zatwierdzone dokumentacje geologiczne wykonane na podstawie rozpoznania wierceniami, dlatego nie jest znana ostateczna wielkość zasobów oraz rozmieszczenie najbogatszych partii złoża. Ponadto udokumentowanie nowych zasobów rud Zn-Pb w rejonie zawierciańskim może wiązać się z wyznaczeniem nowego obszaru złożowego.

Koncesje na poszukiwanie i rozpoznawanie złóż rud cynku i ołowiu (stan na 1 stycznia 2013r):

- 1 26/2010/p Zawiercie I, Zawiercie II, Rodaki-Rokitno Szlacheckie - Rathdowney Polska Sp. z o.o. w Krakowie
- 2 34/2010/p Zawiercie I, Marciszów - Rathdowney Polska Sp. z o.o. w Krakowie
- 3 1/2012/p Laski - Zakłady Górniczo-Hutnicze "Bolesław" S.A. w Bukownie
- 4 18/2012/p Olkusz-część NW - Zakłady Górniczo-Hutnicze "Bolesław" S.A. w Bukownie
- 5 25/2012/p Gołuchowice - Mazovia Energy Resources Sp. z o.o.
- 6 26/2012/p Klucze - Zakłady Górniczo-Hutnicze "Bolesław" S.A. w Bukownie
- 7 27/2012/p Chechło - Rathdowney Polska Sp. z o.o. w Krakowie.

Analiza wcześniejszych danych wskazuje że większość dobrej jakości zasobów występuje w północnej, północno wschodniej i wschodniej części złoża Zawiercie I (Fig. 27, 28). Część zasobów rud Zn-Pb znajduje się w północnej części gminy na granicy z gminą Zawiercie. Lokalizacja szybu lub udostępniającej złoża sztolni upadowej jest zwykle projektowana w taki sposób, aby znajdowała się poza najbogatszymi partiami złoża, jednak w niewielkiej odległości od miejsc planowanej eksploatacji.

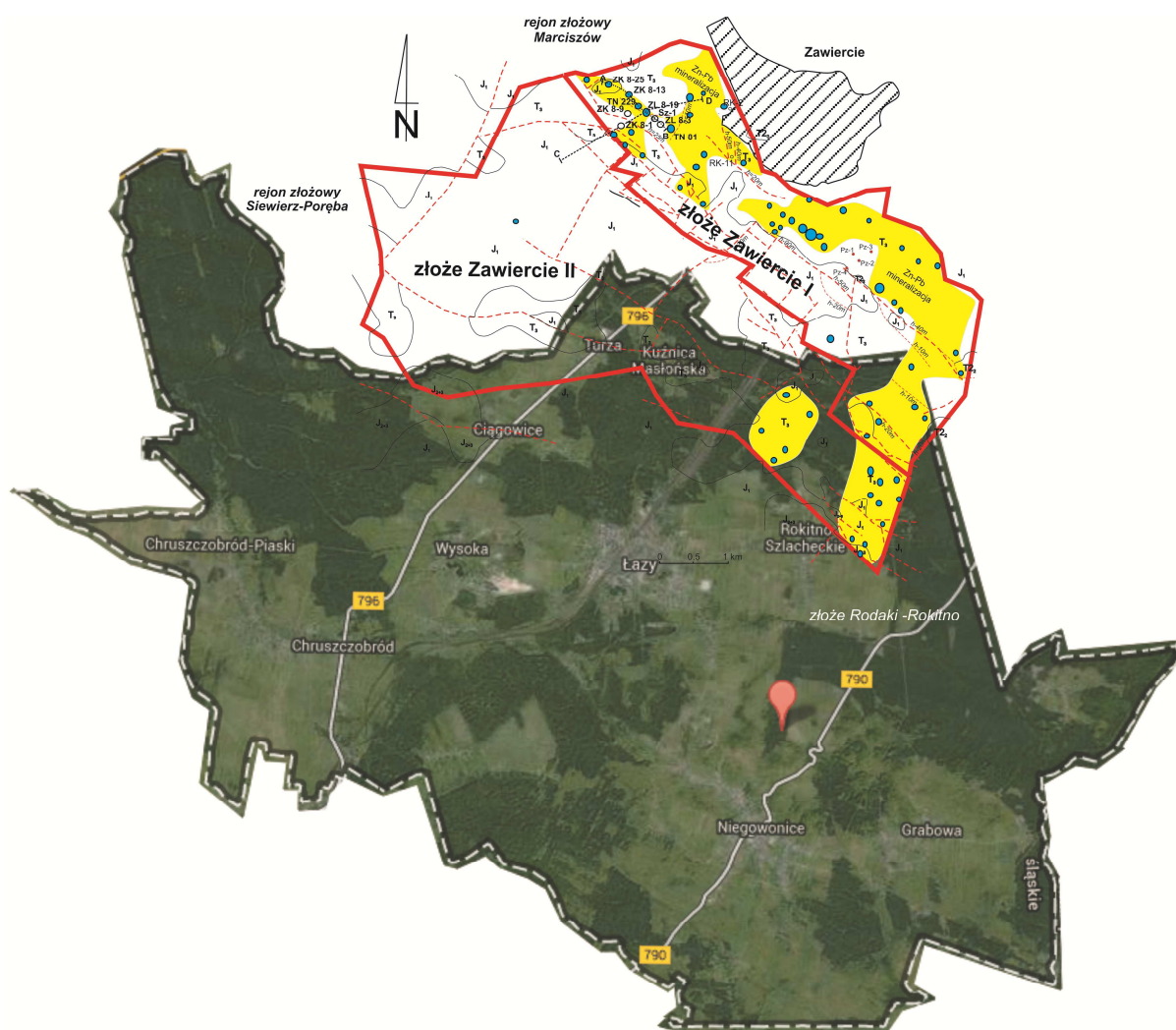


Figura 27 Lokalizacja złoża Zawiercie I i II w odniesieniu do granic gminy Łazy.

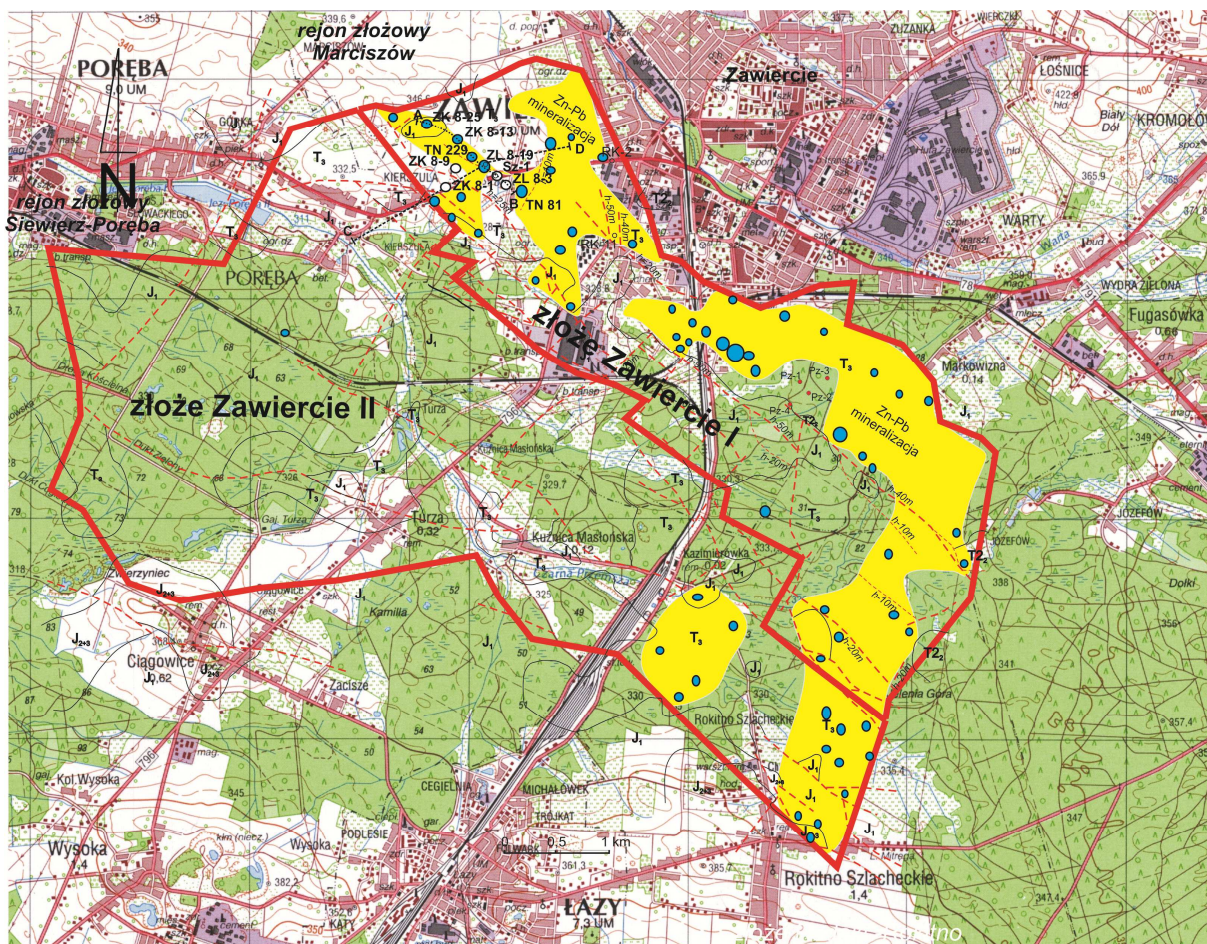


Figura 28 Lokalizacja złóż Zn-Pb Zawiercie I i II.

Możliwości wzbogacania rud Zn-Pb z rejonu Zawiercia

Rudy Zn-Pb w rejonie zawierciańskim mają charakter siarczkowy, cechują się bardzo niskim stopniem utlenienia siarczków cynku. W procesach flotacyjnego wzbogacania tych rud możliwe będzie uzyskanie wysokich wskaźników wzbogacania, co potwierdziły badania wykonane w Instytucie Metali Nieżelaznych (Vrabec, Ślusarek 1993). Laboratoryjne badania w IMN w Gliwicach zostały wykonane na próbkach rud Zn-Pb pochodzących z rdzeni wiertniczych ze złóż Zawiercie I. uzyskiwano dobrej jakości 55 % koncentraty siarczków cynku oraz 60% koncentraty siarczków ołowiu. Uzyski flotowalności dla cynku wynosiły 91,5 % oraz 88% dla ołowiu (Vrabec, Ślusarek 1993). Udział metali w odpadach flotacyjnych był niski, dla Pb 0,04% a dla Zn 0,15%. Nieco gorsze wyniki uzyskiwano dla wzbogalności grawitacyjnej, co jest związane ze zmiennością form okruszczenia dolomitu w różnych częściach złoża. W szczególności niekorzystne wyniki rozdziału grawitacyjnego uzyskano dla rudy w rejonach

złoża zachodnim i centralnym 2, gdzie rudy miały charakter słabozwięzłej i porowatej brekcji. Rudy występujące w litych, krystalicznych dolomitach miały dobrą wzbogacalność grawitacyjną (Vrabec, Ślusarek 1993).

3.4 Technologie produkcji metali

Cynk może być otrzymywany z pierwotnych rud lub surowców wtórnych. Do jego produkcji stosowane są metody pirometalurgiczne oraz hydrometalurgiczne. Obecnie do produkcji cynku z koncentratów kolektywnych cynkowo-ołowiowych lub surowców odpadowych wykorzystywane są metody hutnicze z tzw. angielskim piecem do wytapiania (ISP - *Imperial Smelting Processes*). Postęp technologiczny w zakresie przeróbki flotacyjnej rud Zn-Pb powoduje, że od kilkudziesięciu lat produkowane są głównie selektywne koncentraty sfalerytowe lub galenowe. Hutnicza przeróbka tych koncentratów obecnie jest rzadko prowadzona z uwagi na uciążliwość dla środowiska i wysokie koszty. Od drugiej połowy XX wieku coraz większe znaczenie w produkcji cynku mają metody hydrometalurgiczno-elektrolityczne. Pod koniec XX wieku około 80% cynku uzyskiwano w oparciu o te metody (Cabała 2010).

Metody hutnicze

W hutnictwie cynku wykorzystywane są dobrej jakości węgle, w tym antracyty oraz koks, dzięki którym proces redukcji tlenku cynku zachodzi najskuteczniej. Piece dodatkowo są podgrzewane np. gazem ziemnym, ponieważ proces redukcji wsadu najwydajniej zachodzi w temperaturze 1100 °C. Temperatura wrzenia cynku jest niższa (907°C), dlatego cały metal wydziela się w postaci par. Pary cynku są następnie kondensowane do metalicznego cynku. Sprawność poziomych procesów jest wysoka 90-97%, niewielkie straty cynku są związane z ucieczką par cynku przed procesem kondensacji. Rafinacja cynku najczęściej jest realizowana przez destylację powrotną w kolumnach z dużą ilością ogniotrwałych półek (destylacja New Jersey). Dolne części półek są podgrzewane gazem, a górne są chłodne, co umożliwia kondensację metalicznego cynku. Wraz z cynkiem w gazach występuje kadm i ołów oraz inne pierwiastki obecne w rudach pierwotnych (Tl, Sb, As, Cu, Hg). W pierwszym etapie destylacji następuje rozdzielenie cynku i kadmu od ołowiu, a w drugim kadmu od cynku (Cabała 2010). Cynk otrzymywany metodami hutniczymi może zawierać niewielkie domieszki Pb, Fe, Sb i As, cechuje się stosunkowo niskimi zawartościami Cd. Wykorzystywany jest w stopach

cynkowniczych oraz stopach specjalnych. W okresie dziewiętnastego i dwudziestego wieku stosowane były różne technologie hutniczej produkcji (Gordon i inni 2003):

- belgijska (poziomy proces wsadowy),
- pionowa retorta,
- piec hutniczy (*Imperial Smelting Processes* - ISP Ltd., Anglia),
- elektryczny piec (St. Joseph Lead Co., Josephstown, RPA).

Metody hydrometalurgiczno-elektrolityczne

Metody te są stosowane do produkcji cynku z koncentratów siarczkowych np. sfalerytowych (ZnS), rzadziej są wykorzystywane do przeróbki rud węglanowych i krzemianowych. Cykl produkcji cynku metodami hydrometalurgii i elektrolizy przedstawia schemat (Fig. 29). Produkt wsadowy jest otrzymywany na drodze flotacji rud siarczkowych. W pierwszym etapie produkcji wsadowe koncentraty siarczkowe są prażone, dzięki czemu w egzotermicznej reakcji uzyskiwany jest tlenek cynku (tzw. produkt kalcynowany) oraz tlenki siarki.

Gazowe związki siarki są zbierane i kierowane do zamkniętej instalacji, w której kondensowane są jako kwas siarkowy. W następnym etapie produkt kalcynowany jest poddawany wielostopniowemu ługowaniu za pomocą stężonego kwasu siarkowego. Powstaje roztwór siarczanu cynku. W procesie rozpuszczane jest także żelazo, które jest niepożądanym składnikiem w roztworze elektrolitycznym. Żelazo jest wytrącane metodą jarosytową w postaci jarosytu amonowego $\text{NH}_4\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ lub jarosytu sodowego $\text{NaFe}_3(\text{SO})_2(\text{OH})_6$. Odpady jarosytowe zawierają znaczne ilości metali ciężkich i metaloidów np. Zn, Cu, Cd, Pb oraz As i Sb, które stanowią potencjalne zagrożenie dla środowiska (Barrera-Godinez i inni 2000). Odpady z procesu jarosytowego mogą zostać przetworzone metodami pirolitycznymi w procesie ISP.

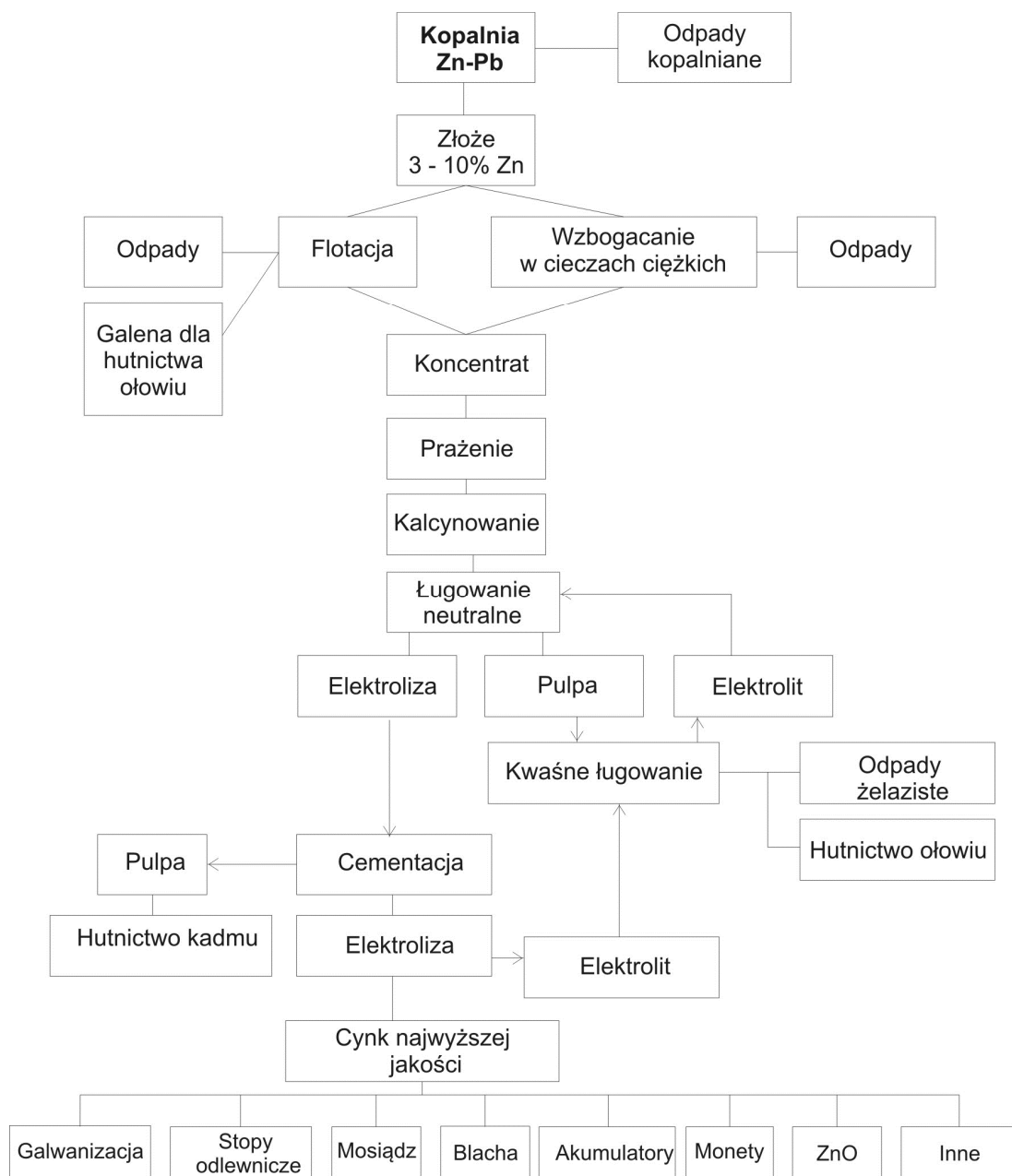


Figura. 29 Cykle produkcji cynku metodami hydrometalurgiczno-elektrolitycznymi (Gordon i inni 2003).

4. Bezpośrednie oddziaływania na środowisko

Źródłem wysokich ładunków jonów: Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} i Tl^+ na terenach górnictwa i hutnictwa rud metali są nietrwałe siarczki Zn-Pb-Fe oraz siarczany Pb, Pb-Fe i Fe. Wysoka aktywność i biodostępność metali ciężkich w badanych glebach i odpadach jest wynikiem oddziaływania biotycznych i abiotycznych ligandów na nietrwałe siarczki Zn-Pb-Fe. Czynniki te wraz z upływem czasu mogą wpływać na aktywność metali zgromadzonych w na składowiskach lub występujących w różnych fazach mineralnych w środowisku glebowym, aluwiach i powietrzu. W środowisku przyrodniczym wpływ eksploatacji i przeróbki rud metali jest związany z oddziaływaniem metalonośnych minerałów i biodostępnych metali, drobnoziarnistych frakcji pyłowych w powietrzu, drenażem wód podziemnych oraz uciążliwością samego zakładu (hałas, transport).

Sposób oraz nasilenie oddziaływania na poszczególne elementy środowiska przyrodniczego (gleba, powietrze, woda, rośliny, mikroorganizmy) w rejonach eksploatacji i przeróbki rud metali np. Zn-Pb zależy od:

1. *Budowy geologicznej, w szczególności występowania utworów rudonośnych na powierzchni terenu.*
2. *Sposobu przeróbki, ilości wydobywanych i przerabianych rud.*
3. *Lokalizacji zakładu flotacji w którym rudy będą mielone do drobnoziarnistych frakcji w celu przeprowadzenia procesu flotacji.*
4. *Lokalizacji składowiska odpadów poflotacyjnych.*
5. *Sposobu transportu rudy, ewentualnie frakcji rudy wzbogaconej w siarczki lub odpadów.*

Ad. 1 Budowa geologiczna

W rejonie olkuskim na powierzchni, lokalnie występują dolomity kruszczone w obrębie których występują rudy Zn-Pb. Są to obszary zrębów tektonicznych i wyniesień gdzie brak jest utworów nadkładu złoże (dolomity, diploporowe, kajper). Lokalnie złoże są przykryte jedynie piaskami plejstocenu, dlatego na tych terenach (okolice Olkusza, Bolesławia, Krzykawy, Strzemieszyc) rudy, a w szczególności występujące w nich minerały narażone były przez długi okres ostatnich kilku milionów lat na bezpośrednie oddziaływanie dotlenionych wód oraz procesów wietrzenia które spowodowały że na powierzchni powstała aureola geochemicznego rozproszenia metali. Zaznacza się to np. tym, że gleby wykształcone na dolomitach

kruszczośnych w całym swoim profilu zawierają naturalne, wysokie koncentracje metali (Zn, Pb, Fe, Cd). W tej sytuacji zgodnie z polskim prawem (Rozporządzenie Ministra Środowiska nr 1359 w sprawie standardów jakości gleb) przekroczenie dopuszczalnych wartości nie nastąpiło. Naturalne np. w wyniku erozji odsłonięcie na powierzchni stropowych części złóż powoduje, że w całym rejonie zaznacza się podwyższenie zawartości metali które pierwotnie występowały w rudach. Jest ono obserwowane w glebach, wodach oraz łańcuchach troficznych ekosystemów wodnych i lądowych. Taka sytuacja istnieje w rejonie olkuskim. Długotrwałe narażenie na procesy wietrzenia i przemiany chemiczne płytko lub na powierzchni występujących złóż powoduje że metale zostały wtórnie związane we wtórnych fazach węglanowych, tlenkowych, a nawet krzemianowych. Fazy te są reprezentowane przez takie minerały jak: cerusyt ($PbCO_3$), smitsonit ($ZnCO_3$), limonity ($FeOOH$), hemimorfit i inne. Minerały te odznaczają się wysoką trwałością i są stabilne w warunkach środowiskowych, dlatego mocno ograniczone jest naturalne ługowanie metali z tych faz do roztworów glebowych lub wód. Procesy te w sposób naturalny ograniczają pulę biodostępnych metali w środowisku. Jednocześnie długotrwały okres (trzeciorzęd i plejstocen) rozwoju tych procesów spowodował że rośliny, grzyby i mikroorganizmy zasiedlające te tereny przystosowały się do warunków środowiskowych. Niektóre gatunki roślin wykształciły nawet mechanizmy obronne umożliwiające im rozwój na tych terenach. W efekcie tereny płytkiego występowania złóż rud metali, a niekiedy nawet historyczne składowiska są zasiedlane przez bardzo ciekawe zespoły florystyczne, które stanowią charakterystyczną roślinność tych obszarów. Miejsca te często posiadają status parków krajobrazowych lub obszarów na których chronione są unikalne gatunki roślin. Np. tereny historycznej eksploatacji w rud Zn-Pb Plombiers w Belgii, tereny pogalmanowe w Bolesławiu (Cabała 2012).

W rejonie zawierciańskim złoża rud Zn-Pb nie występują na powierzchni, ponadto w historii geologicznej tego rejonu dolomity kruszczośne triasu i dewonu nie były narażone na procesy wietrzenia chemicznego. Wynika to z faktu dosyć szczelnej izolacji złóż zawierciańskich przez występujące w ich nadkładzie nieprzepuszczalne, ilaste osady górnego triasu (kajpru). Dlatego dotlenione wody wnikające z powierzchni w głąb górotworu nie mają większego wpływu na utlenienie siarczkowych złóż rud Zn-Pb tak jak to ma miejsce w rejonie olkuskim (Cabała 2000).

Ad. 2 Sposób przeróbki, ilość rudy forma finalnego produktu

Kopalnia i zakład przeróbki rud są źródłem emisji metali do środowiska. Emisja ta nie jest znacząca i ogranicza się praktycznie jedynie do terenu zakładu i jego bezpośredniego sąsiedztwa.

Zwykle na terenie kopalni lub zakładu nie są składowane drobnoziarniste frakcje np. zmielonych rud, dlatego nawet duże składowisko rudy kawałkowej nie stanowi zagrożenia dla środowiska, ponieważ nie emituje ono do atmosfery drobnych frakcji.

Rozpatrując potencjalne zagrożenie środowiskowe ze strony zakładu przeróbki rud Zn-Pb trzeba wiedzieć jaka technologia będzie stosowana w procesach wzbogacania rudy. W odniesieniu do rejonu zawierciańskiego prawdopodobne są dwa scenariusze inwestycji:

1. Ruda Zn-Pb w zakładzie górniczym będzie jedynie separowana (np. w cieczach ciężkich) na:

- Frakcję tonącą, zawierającą siarczki metali
- Płonny kamień dolomitowy lub wapienny.

Frakcja tonąca może być przewożona np. transportem kolejowym do zakładu przeróbki flotacyjnej w Olkuszu, gdzie po jej przeróbce uzyskany zostanie koncentrat sfalerytowy (Zn) lub galenowy (Pb) stanowiący wsad dla huty cynku lub ołowiu. Kamień dolomitowy będzie sprzedawany dla potrzeb lokalnego budownictwa drogowego lub transportem kolejowym kierowany dla odbiorców krajowych.

2. Na miejscu blisko zakładu górniczego zostanie zbudowany zakład przeróbczy w którym prowadzony będzie proces wzbogacania (mielenie i flotacja). Odpad z procesu flotacji zostanie zdeponowany na powierzchni lub w wyrobiskach kopalni.

Ad. 3 Lokalizacja zakładu flotacyjnego wzbogacania rud.

Zakład flotacyjnego wzbogacania rud może być źródłem lokalnego pylenia, jednak przy obecnie stosowanych technologiach jego oddziaływanie na środowisko nie będzie duże. Obecnie w nowoczesnych systemach z bogacania wykorzystywane są urządzenia i zabezpieczenia które pozwalają na eliminację emisji drobnych frakcji do atmosfery. Stopień uciążliwości dla środowiska ze strony zakładu przeróbki mechanicznej rud jest porównywalny do uciążliwości zakładów w których mielone są skały, przygotowywane do wsadu wielkopiecowego rudy żelaza lub. Wpływ ten jest znacząco mniejszy w porównaniu do zakładów w których oprócz linii technologicznych spalania, wytopu lub przeróbki realizowana jest także emisja pyłów i gazów poprzez kominy (huty żelaza, cementownie, elektrownie, koksownie itp.).

Analizując sytuację wokół istniejącego ZPM w Olkuszu wpływ na środowisko samego zakładu nie jest znaczący (Cabała 2009). Znacznie poważniejszy wpływ na powietrze i glebę wywiera nadpoziomowe składowisko odpadów poflotacyjnych.

Ad. 4 Lokalizacja składowiska odpadów poflotacyjnych

Rozpatrując wpływ na środowisko (w szczególności glebę i powietrze) całej potencjalnej inwestycji związanej z wydobyciem i przeróbką rud Zn-Pb, najważniejszy jest problem lokalizacji składowiska odpadów poflotacyjnych o ile flotacja byłaby planowana w sąsiedztwie kopalni. Składowisko takie zwykle jest lokowane w sąsiedztwie zakładu przeróbczego, niekoniecznie blisko kopalni. Składowisko odpadów poflotacyjnych jest źródłem znacznego, niekorzystnego wpływu na środowisko. Problem ten był przedmiotem licznych badań w rejonie olkuskim.

W glebach występujących w sąsiedztwie stawów z odpadami poflotacyjnymi rud Zn-Pb głównym źródłem metali (Zn, Fe, Pb, As, Cd) są minerały kruszcowe transportowane przez wiatr. W zależności od wilgotności, pH oraz pierwotnego składu mineralnego w środowisku glebowym dochodzi do rozwoju procesów utlenienia minerałów siarczkowych, który prowadzi do powstania nowych nietrwałych faz mineralnych (siarczanów Fe, Mg, Zn). Minerały te mogą gromadzić się na obumarłych lub żywych fragmentach systemów korzeniowych roślin (Cabała i inni 2004; Cabała 2009).

Dużą rolę odgrywa migracja żelaza, które dzięki rozwojowi procesów utleniania wchodzi w skład siarczanów, tlenków oraz glinokrzemianów. W glebach cechujących się wyższymi zawartościami minerałów ilastych absorpcja żelaza może być większa. Obecność wtórnych minerałów żelaza ułatwia wiązanie niektórych metali w formy trudno ługowalne. Tlenki żelaza, a szczególnie ich uwodnione odmiany wykazują zdolność absorpcji niektórych metali, proces ten ma duży, pozytywny wpływ na ograniczenie ilości biodostępnych metali w glebie.

Obecność nowo powstałych faz siarczanowych cynku, żelaza oraz wapnia i magnezu wskazuje, że jony niektórych metali są szybko uruchamiane z siarczków i przechodzą do roztworów. W tym etapie dochodzi do absorpcji metali przez minerały ilaste oraz materię organiczną. Jony metali w roztworach migrują, zanieczyszczając wody podskórne oraz niżej ległe partie profili glebowych. Wzrost udziału roztworów utleniających oraz obniżenie pH gleb sprzyja ługowaniu metali do gleb.

Rozwój roślinności i warstwy humusowej gleb wiąże się ze wzrostem wilgotności oraz obniżeniem pH, dlatego niekiedy może stymulująco wpływać na możliwość uruchamiania jonów metali z minerałów pierwotnych. W glebach rozwiniętych na piaskach jest mało węglanów, dlatego stabilizacja cynku w słabo rozpuszczalne formy węglanowe jest utrudniona. Dowodem na występowanie niektórych metali (Zn, Cd, Mn, As) w formach rozpuszczalnych jest obecność

wtórnych faz mineralnych w glebach. Powstały one w etapie hipergenezy, a są to węglany kadmu, węglany i krzemiany cynku, węglany ołowiu oraz tlenki Fe i Mn (Cabala i inni 2004).

Dla przeróbki rud Zn-Pb planowanej na wielką skalę i przez długi okres czasu możliwa jest budowa systemu rurociągów, które zapewnią hydrauliczny transport odpadów na odległość kilku, a nawet kilkunastu kilometrów, takie rozwiązanie funkcjonuje np. w KGHM Polska Miedź. Ponad 20 mln ton udokumentowanych zasobów rud Zn-Pb w rejonie zawierciańskim, planowane roczne wydobycie rudy na poziomie (1,5 - 2 mln ton) pozwala wstępnie ocenić okres działalności kopalni na 17-22 lata. Można założyć, że w trakcie prowadzenia wydobycia nastąpi znaczący przyrost zasobów (taka sytuacja była obserwowana we wszystkich dotychczas działających kopalniach: Pomorzany, Trzebionka, Olkusz, Bolesław). Wydaje się, że ekonomicznie nieuzasadnione byłoby finansowanie kosztownej inwestycji związanej z transportem odpadów rurociągami i ich składowaniem w znacznej odległości od zakładu przerobczego ponieważ planowany okres działalności kopalni jest stosunkowo krótki, a potencjalna wielkość wydobycia niezbyt duża.

4.1 Powierzchnia terenu

Powierzchnia terenu w wielu miejscach została zmieniona przez płytka, podziemną lub odkrywkową eksploatację rud. Do lat 90-tych stosowano systemy komorowe z zawałem stropu, od połowy lat 90-tych cała eksploatacja prowadzona jest systemami komorowo-filarowymi z podszkłą hydrauliczną (Socha, Wnuk 1998). Nieciągłe deformacje powstałe w latach siedemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX wieku w obszarach płytkiej eksploatacji rud Zn-Pb były przedmiotem badań (Wilk 1973; Jarosz 1975; Janusz, Jarosz 1976; Cabala i inni 2004). Ciągłe deformacje powierzchni w rejonie olkuskim zostały opisane przez E. Popiołka (1990). Obszar objęty bezpośrednimi wpływami działalności górniczej obejmuje powierzchnię 15 km². Prace górnicze są prowadzone płytko od 60 do 150 m od powierzchni terenu. W następstwie eksploatacji prowadzonej na zawał warstwy górotworu w nadkładzie złoża ulegają znacznym ciągłym i nieciągłym deformacjom. Deformacje górotworu na powierzchni manifestują się w formie lejów, progów oraz niecek osiadań. Nieciągłe deformacje górotworu triasowego są miejscami rozwoju krasu, powstawania form zawałowych i nowych kontaktów hydraulicznych.

Eksploatacja rud wpływa także znacząco na zmiany stosunków wodnych (intensywny drenaż). Zdrenowane poziomy wodonośne zostaną odnowione, dlatego rozpoznanie deformacji w triasowym górotworze będzie bardzo ważne na etapie likwidacji kopalń. Określenie

warunków rozwoju deformacji górotworu oraz ich wpływu na powierzchnię terenu jest ważnym elementem dla prognozowania eksploatacji w peryferyjnych partiach złoża rud „Pomorzany”. W ostatnim okresie eksploatacja rud jest prowadzona w kierunku złoża Klucze oraz Laski. Wielkość i jakość zasobów rud oraz ich dostępność górnicza stwarza perspektywy podjęcia eksploatacji w obszarach sąsiednich (Cabała 2000). W złożu Klucze, sąsiadującym ze złożem Pomorzany jakość rud jest nawet wyższa aniżeli w obecnie eksploatowanych (Gansdorfer 1996).

Na podatność górotworu triasowego do rozwoju deformacji nieciągłych zwraca uwagę fakt, że już wcześniej (Wilk i inni 1973; Sass-Gustkiewicz, Socha 1982; Cabała 1993), zaobserwowano naturalne formy związane z samoistnym podsadzeniem pustek krasowych. Brekcje zawałowe oraz strefy zluźnień występują nad formami krasowymi rozwiniętymi niekiedy w sąsiedztwie horyzontów lub gniazd rudonośnych. W następstwie wyeksploatowania części złoża systemami z zawałem stropu w rejonie I doszło do masowego rozwoju nieciągłych deformacji górotworu i powierzchni terenu. Deformacje nieciągłe rozwijały się głównie w formie regularnych lejów stożkowych lub zapadlisk. W badanym rejonie powstało 56 lejów, 8 zapadlisk, 7 pęknięć oraz 1 próg (Fig. 30). Głębokość deformacji dochodzi do 25 metrów. Powierzchnie największych deformacji obejmują obszary do 500 m². Kilka lat po stabilizacji deformacji nieciągłych w ich obszarach powstały nowe, niewielkie struktury nieciągłe (Cabała i inni 2004).

Eksploatację w latach 80-tych i początkach lat 90-tych prowadzono na głębokości od 67 do 80 metrów niekiedy bez stosowania podsadzki, dlatego w celu uniknięcia niekontrolowanych zawałów sztucznie wymuszano zawału stropu. Część komór po wyeksploatowaniu bardzo szybko ulegała samoistnemu zawaleniu w okresie kilku do kilkunastu godzin po wyeksploatowaniu ostatnich filarów. Leje nie powstały w tych miejscach gdzie miąższość dolomitów diploporowych była większa aniżeli 15-20 m lub występował kajper o miąższości powyżej 10m. Mniejszą rolę odgrywała obecność spękanych dolomitów kruszonośnych w stropie zasadniczym.

W obszarach gdzie w nadkładzie złoża występowały słabo spękane dolomity diploporowe lub zwarte utwory kajpru to w strefie spękań, powyżej strefy zawału powstawały pustki (Fig. 31A) związane z rozwarstwieniem się górotworu nazywane pustkami Webera (Szpetkowski 1995). W sytuacji gdy górotwór nie podlegał dalszym wpływom eksploatacji to pustki Webera utrzymują się w górotworze przez długi okres czasu. Aktywizacja takich stref może prowadzić do powstania na powierzchni nowych zapadlisk lub struktur nieciągłych. W badanym obszarze po 5 latach od zaprzestania eksploatacji zaobserwowano dwie struktury nieciągłe, powstałe w wyniku aktywizacji osiadań.

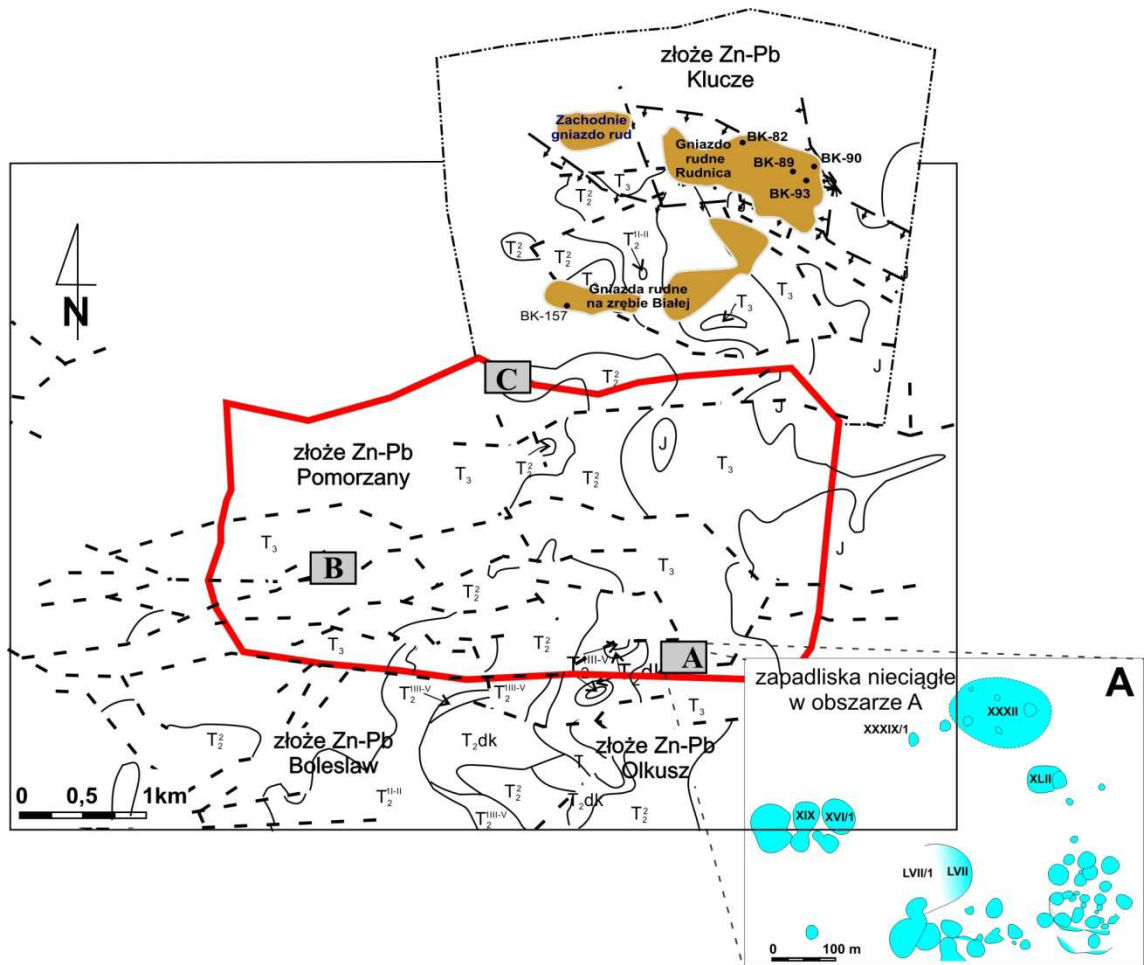


Figura 30 Deformacje nieciągłe w obszarze złoża Pomorzany, rejon badań A (Cabala i inni 2004)

Na szybką stabilizację osiadań duży wpływ ma sytuacja geologiczna. W sytuacji gdy dochodzi do przerwania ciągłości warstw nadkładu tworzy się strefa zawałowa do której przemieszczają się występujące w stropie dolomity kruszonośne, dolomity diploporowe oraz ilasto-węglanowe skały kajpru. Występujące nad nimi luźne piaski czwartorzędu wsypują się do strefy zawałowej, tworząc tym samym naturalną podsadzkę (Fig. 31B).

W tych samych poziomach występują formy krasowe rozwinięte w węglanowych utworach triasu, które w następstwie zawału skał stropowych zostały wypełnione przez brekcje zawałowe. Systemy krasowe występują najczęściej w spągowej części złoża, rozwinięte są horyzontalnie, a ich pionowe rozmiary nie są duże. Kopalne strefy zawałowe związane z pustkami krasowymi nie osiągnęły powierzchni terenu, dlatego nie zaznaczyły się w stropie triasu.

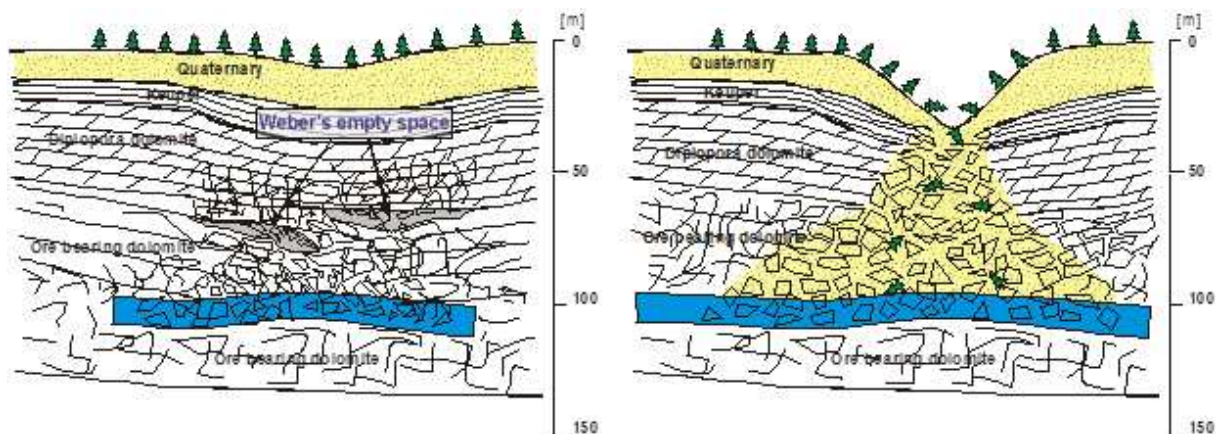


Figura 31 Pustki Webera w strefie zawałowej nad strefą zawałową (A). Deformacje nieciągłe nad złożem rud Zn-Pb (B). Niebieskim kolorem zaznaczono strefę eksploatacji (Cabala i inni 2004).

Płytkie zaleganie złoża i brak możliwości całkowitego wypełnienia pustek poeksploatacyjnych powoduje, że nad wyrobiskami górotwór ulega deformacjom, które na powierzchni odzwierciedlają się w formie niecek osiadań. Dynamikę rozwoju niecek osiadań badano w dwóch rejonach obszaru złoża Pomorzany (Cabala i inni 2004). Eksploatację rud Zn-Pb prowadzono wyłącznie z pełną podsadzką hydrauliczną. Pierwsza warstwa eksploatowana była systemem filarowo komorowym, a 2 lub 3 warstwy wyższe systemami zabierkowymi. Największe odkształcenia powierzchni terenu obserwowano w latach 1986 – 1992. Maksymalne osiadania zaobserwowano nad wyrobiskami o największej sumarycznej wysokości. Wyniosły one 559 mm, co dla 15 m sumarycznej wysokości wyrobiska daje 37,2 mm obniżeń na 1 m wysokości wyrobiska. Dla wyrobisk niższych do 10 metrów sumaryczne osiadania na 1 m dochodziły do 45 mm. Powstałe niecki osiadań są asymetryczne często nieregularne. W punktach pomiarowych zlokalizowanych w sąsiedztwie uskoku w dwóch przypadkach zaobserwowano nagły wzrost szybkości osiadań. Zjawisko to może być związane z budową geologiczną w rejonie uskoku, lub niepełnym podsadzeniem pustek poeksploatacyjnych w tej strefie. Dla eksploatacji z pełną podsadzką przyjmuje się, że jej wpływ na powierzchnię jest niewielki lub go brak.

Powstanie deformacji nieciągłych jest związane głównie z czynnikami górnictwami i geologicznymi. Największy wpływ na rozwój deformacji nieciągłych ma system eksploatacji oraz sposób likwidacji pustek poeksploatacyjnych. W miejscach gdzie grubość utworów kajpru była większa niż 5-8 metrów deformacje nieciągłe nie powstawały.

W sytuacji prowadzenia eksploatacji z podsadzką hydrauliczną deformacje nieciągłe nie powstaną. Ponadto w górotworze, gdzie w nadkładzie występuje odpowiednio gruba warstwa

ilastych utworów triasu to nad wyrobiskami podziemnymi także nie będą się tworzyły deformacje nieciągłe.

Reaktywacja osiadań nieciągłych zaobserwowana po okresie kilku lat od powstania deformacji jest związana z niepełnym rozwojem strefy zawału, występowaniem pustek Webera i ich późniejszą aktywizacją. Nad pustkami krasowymi rozwiniętymi w okresie mezozoiku powstały strefy zawałowe, których mechanizm jest zbliżony do zawałów generowanych przez górnictwo rud. Masowe występowanie form zawałowych wskazuje na podatność dolomitów środkowego triasu na rozwój tego typu deformacji, ich znaczną kruchość i małą wytrzymałość. Strefy zawałowe mogą niekiedy stanowić miejsca kontaktów hydraulicznych między poziomem wód czwartorzędowych i triasowych. Problem ten jest ważny, ponieważ górotwór triasowy jest dużym podziemnym rezerwuarem dobrej jakości wód.

Deformacje ciągłe mają formy płytkich niecek o niewielkich sumarycznych amplitudach osiadań, które rozwijają się stosunkowo szybko. Wielkość powstałych niecek i dynamika osiadań pozwala stwierdzić, że nie mają one większego wpływu na powierzchnię terenu. Ich oddziaływanie w terenie niezabudowanym jest niezauważalne. Na wzrost dynamiki osiadań dodatkowo może także wpływać intensywny drenaż górotworu triasowego, szczególnie w okresie aktywizacji wpływów.

4.2 Środowisko wodne

Kwestia wpływu na środowisko wodne ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia oceny możliwości eksploatacji złóż w rejonie Zawiercie-Łazy. Prace górnicze prowadzone byłyby w górotworze silnie zawadzionym, w związku z czym konieczne byłoby pompowanie znacznych ilości wód podziemnych i ich zrzut do cieków powierzchniowych. W następstwie wielkoskalowego pompowania wód podziemnych powstaje tzw. lej depresji, czyli przestrzeń, w obrębie której zwierciadło wód podziemnych zostaje obniżone. Największe obniżenie występuje wewnątrz obszaru górniczego, gdzie sięga mniej więcej do maksymalnej głębokości robót wydobywczych. Wraz z odległością od miejsca pompowania zwierciadło podnosi się, aż do momentu kiedy lej nie zaznacza się. Zasięg leja depresji może znacznie przekraczać zasięg samej eksploatacji. Jeżeli warstwa wodonośna, w której prowadzone jest wydobycie nie jest izolowana od góry warstwami nieprzepuszczalnymi (np. skałami ilastymi) to lej depresji sięgnąć może nawet do powierzchni terenu. Zdrenowaniu ulegają płytsze poziomy wodonośne, wody

gruntowe oraz powierzchniowe (cieki, stawy itp.). Zaburzenie lokalnych stosunków wodnych może komplikować nie tylko zaopatrzenie gmin w wodę do celów komunalnych i przemysłowych, ale wpłynąć również na przyrodę ożywioną, czy walory turystyczno-rekreacyjne. Wskutek wahań zwierciadła i intensyfikacji przepływów możliwe są także zmiany chemizmu wód, co potencjalnie wpływać może na zdrowie, jeśli wody wykorzystywane do celów pitnych nie byłyby wcześniej poddawane uzdatnieniu. Podkreślić należy, że podobne leje depresji, choć o mniejszym zasięgu wytwarzają się również wokół wszystkich ujęć podziemnych, nie wyłączając studni komunalnych. Im większy pobór wód, tym większe obniżenie zwierciadła i zasięg takiego leja. W rejonie olkusko-zawierciańskim dochodzi w praktyce do nałożenia się drenażu górniczego i drenażu związanego z bardzo licznymi i intensywnie eksploatowanymi studniami głębinowymi, co skutkuje znacznym wydłużeniem ogólnego leja depresji w kierunku północnym i północno-zachodnim, gdzie obejmuje on między innymi tereny gminy Łazy.

Poniżej przedstawiono ogólne informacje na temat warunków hydrogeologicznych w regionie, doświadczenia związane z działalnością kopalń olkuskich oraz uwagi na temat warunków panujących w rejonie Zawiercia i Łaz i potencjalnych zmian związanych z planowaną eksploatacją.

Hydrogeologiczne warunki eksploatacji rud Zn-Pb

Eksploatacja złóż jest prowadzona w węglanowych skałach triasu będących krasowo-porowym ośrodkiem skalnym, który w znacznej części jest wypełniony wodą. Utwory te w rejonie olkuskim i zawierciańskim stanowią ważną bazą zasobową dobrej jakości wód. W granicach całego subregionu wody podziemne są bilansowane w głównych zbiornikach wód podziemnych (GZWP). W opisywanym rejonie najważniejszym jest GZWP nr 454 Olkusz-Zawiercie, który jest usytuowany między GZWP 327 Lubliniec-Myszków i GZWP 326 Częstochowa E (Fig. 32).

Zbiornik 454 Olkusz-Zawiercie jest zbiornikiem półzakrytym i zamkniętym hydrodynamicznie. Węglanowe skały triasowe tworzą zbiornik wód podziemnych typu porowo-szczelinowo-krasowego (Fig. 33). Leży on w obrębie zlewni Białej i czarnej Przemszy oraz ich dopływów. Układ krążenia wód w znacznej części jest zmieniony antropogenicznie przez drenaż górniczy olkuskich kopalń rud Zn-Pb (Fig. 34). Ponadto eksploatowane są duże ujęcia

studzienne np. Łazy Błędownskie i Klucze. Jednostkowe wydatki są bardzo zmienne od kilku do ponad $550 \text{ m}^3/\text{h}/1\text{mS}^{13}$.

Układ hydrogeologiczny całego rejonu jest ukształtowany przez wielopoziomowy system wodonośny (Fig. 33). Występują poziomy plejstocenie, jurajskie, triasowe, permskie, karbońskie i dewońskie. Słodkie wody podziemne najczęściej występują do głębokości ok. 200-300 m, rzadko spotykane są głębiej (Rózkowski i inni 1997). Wody występujące w utworach dewonu, karbonu, permu oraz niższego dolnego triasu nie mają większego znaczenia użytkowego.

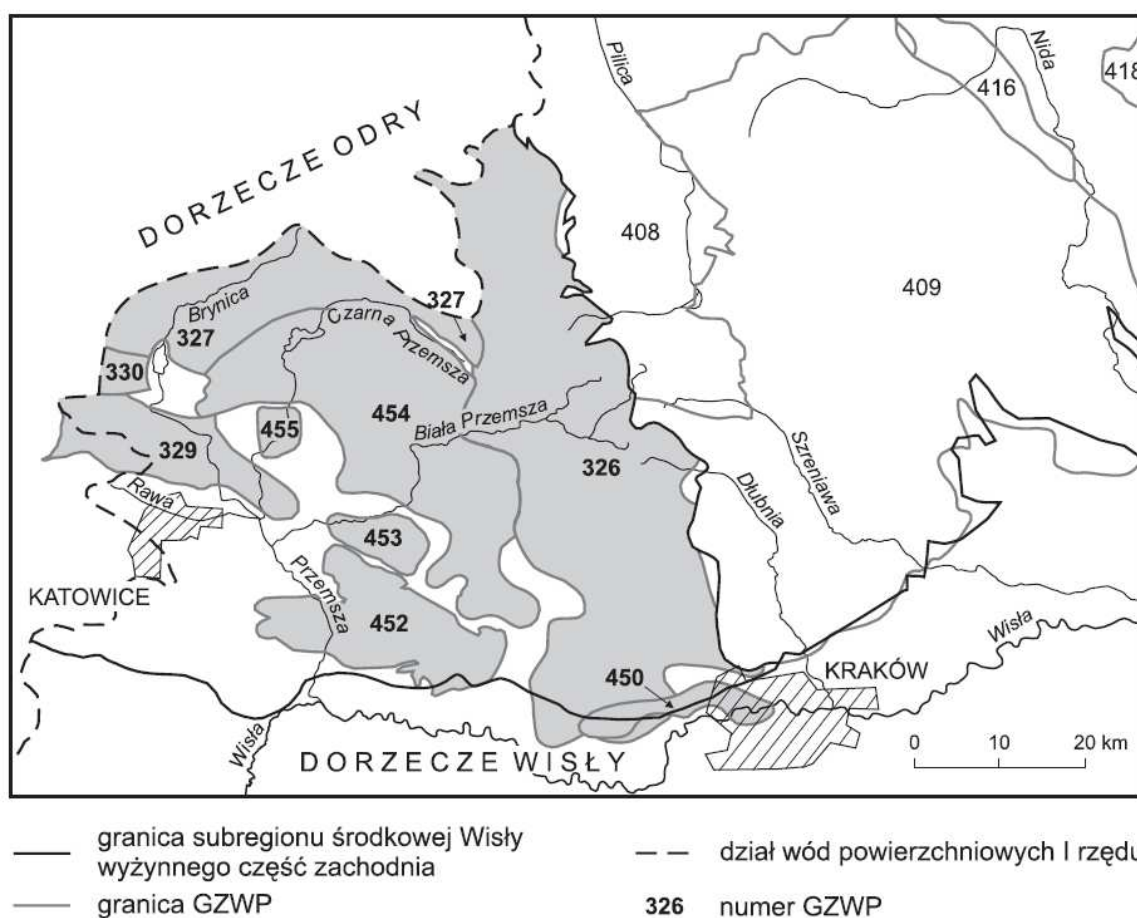


Figura 32 Główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP) wydzielone w subregionie środkowej Wisły, wyżynnym, część zachodnia (Skrzypczyk 2003)

Plejstocen – poziomy wodonośne są związane z piaszczystymi osadami rzecznyymi i polodowcowymi. Występują w dolinach rzek np. Czarnej Przemszy, Białej Przemszy, Przemszy, Chechła i Pilicy. Zwierciadło wód ma charakter swobodny, występuje na głębokości od kilku metrów w dolinach rzek do kilkunastu metrów na wyniesieniach. Lokalnie zwierciadło może być

¹³ **wydatek jednostkowy** - to wydatek studni w m^3/h osiągną przy obniżeniu zwierciadła wody o 1 m.

napięte w następstwie występowania warstw nieprzepuszczalnych glin, np. w dolinach kopalnych.

Jura – piętro wodonośne w zależności od lokalnej budowy geologicznej składa się z poziomów górnej, środkowej i dolnej jury. Poziomy związane z dolną i środkową jurą są słabo poznane. Mają niską wodonośność i nie są wykorzystywane. Poziom górnourajski ulokowany w wapieniach ma zmienne parametry hydrogeologiczne, tworzą je wody szczelinowo-krasowe i wody porowe w przestrzeni skalnej.

Trias – piętra wodonośne występują w wapieniu muszlowym i recie. Poziomy są rozdzielone przez margliste utwory warstw gogolińskich, zdolomityzowane, pocięte uskoki, dzięki czemu wody obu poziomów często są połączone. Zasobność tego poziomu jest duża i zmienna, wydajności pojedynczych studni są mocno zróżnicowane od kilku do 200 m³/h (Kowalczyk 2003). W niektórych obszarach rejonu olkusko-zawierciańskiego warstwy wodonośne mają miąższość do 200-250 m. W rejonie olkuskim utwory wodonośne triasu niekiedy występują na powierzchni lub bezpośrednio pod przepuszczalnymi utworami plejstocenu i jury, z tego powodu wody podziemne mogą być zanieczyszczone z powierzchni (Fig. 33).

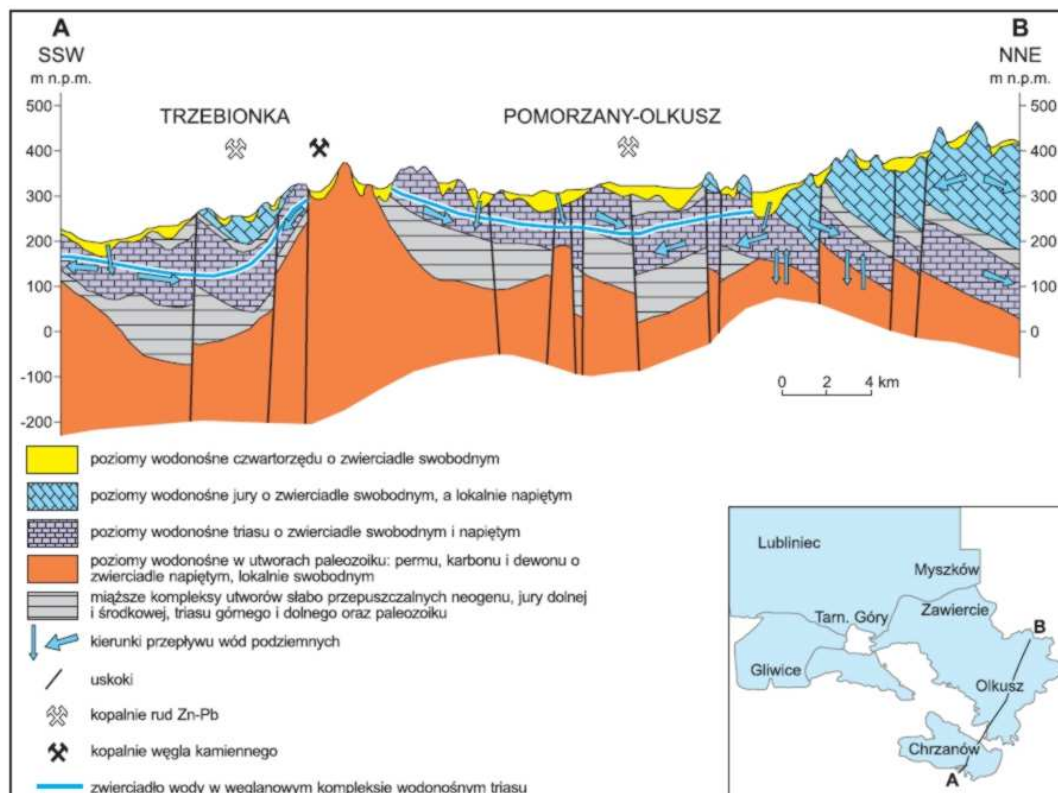


Figura 33 Schematyczny przekrój hydrogeologiczny przez chrzanowski i olkuski rejon rudny (Kowalczyk 2003)

W rejonie zawierciańskim praktycznie cały kompleks węglanowych utworów wodonośnych triasu jest dobrze izolowany od stropu przez nieprzepuszczalne osady kajpru, dlatego zanieczyszczanie wód podziemnych przez migrację wód z powierzchni nie jest możliwe. Na bardzo niską podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia zwraca uwagę A. Witkowski (2001).

Podziemne górnictwo rud w rejonie Bytomia, Olkusza i Chrzanowa zmieniło warunki podziemnego przepływu wód, udroźniło górotwór. Lokalnie na warunki przepływu wpływają także duże ujęcia wód podziemnych. Utwory triasowego piętra wodonośnego od lat 60. XX wieku są drenowane wyrobiskami kopalń rud Zn-Pb ze względu na konieczność odwodnienia złóż i umożliwienia eksploatacji. Maksymalna ilość wody pochodzącej z drenażu górniczego jest równa 5-6 m³/s (Adamczyk, Motyka 2000). W wyniku drenażu górniczego wokół kopalń wytworzył się rozległy lej depresji (Adamczyk 1990). Obszar leja depresji w olkuskim rejonie rudnym ma powierzchnię ok. 680 km² (Sawicki 2000), jest on połączony z lejami depresji wytworzonymi przez ujęcia wód w Łazach Błędowskich i Kluczach (Fig. 34). Od zamknięcia kopalni Bolesław w latach 80., a następnie rejonu Olkusz w 2001 r. drenaż górniczy systematycznie zmniejsza się. Sumaryczne dopływy do wyrobisk kopalni wynoszą w ostatnich latach około 260 – 280 m³/min. (15.6 – 16.8 tys. m³/h lub 374.4 – 403.2 tys. m³/dobę). Maksymalne dopływy wód do wyrobisk kopalni Pomorzany dochodzą do 260 m³/min, co czyni tę kopalnię jedną z najbardziej zawodzionych na świecie.

Kopalnie rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim drenują około 410 000 m³/d, w rejonie chrzanowskim drenaż w wynosi około 48 000 m³/d, a w rejonie bytomskim ok. 45 000 m³/d. Obniżenie zwierciadła wód podziemnych wywołane poborem wód przez ujęcia studzienne oraz drenaż górniczy spowodowało zmiany w układzie hydrogeologicznym. Niektóre ciekły powierzchniowe (np. Biała i Czarna Przemsza) lokalnie zmieniły charakter z drenującego na infiltrujący. W efekcie zmniejszyły się przepływy wód. W obszarze objętym zasięgiem wpływu odwadniania oluskich kopalń rud źródła wód zanikły, a ciekły powierzchniowe tracą wodę, która infiltruje do podłoża. Największe obszary degradacji występują w niecce bytomskiej (Kropka 1996) oraz w rejonie Olkusza i Chrzanowa (Motyka, Witkowski 1999, 2002; Witkowski, Kowalczyk 2000; Czop i inni 2003).

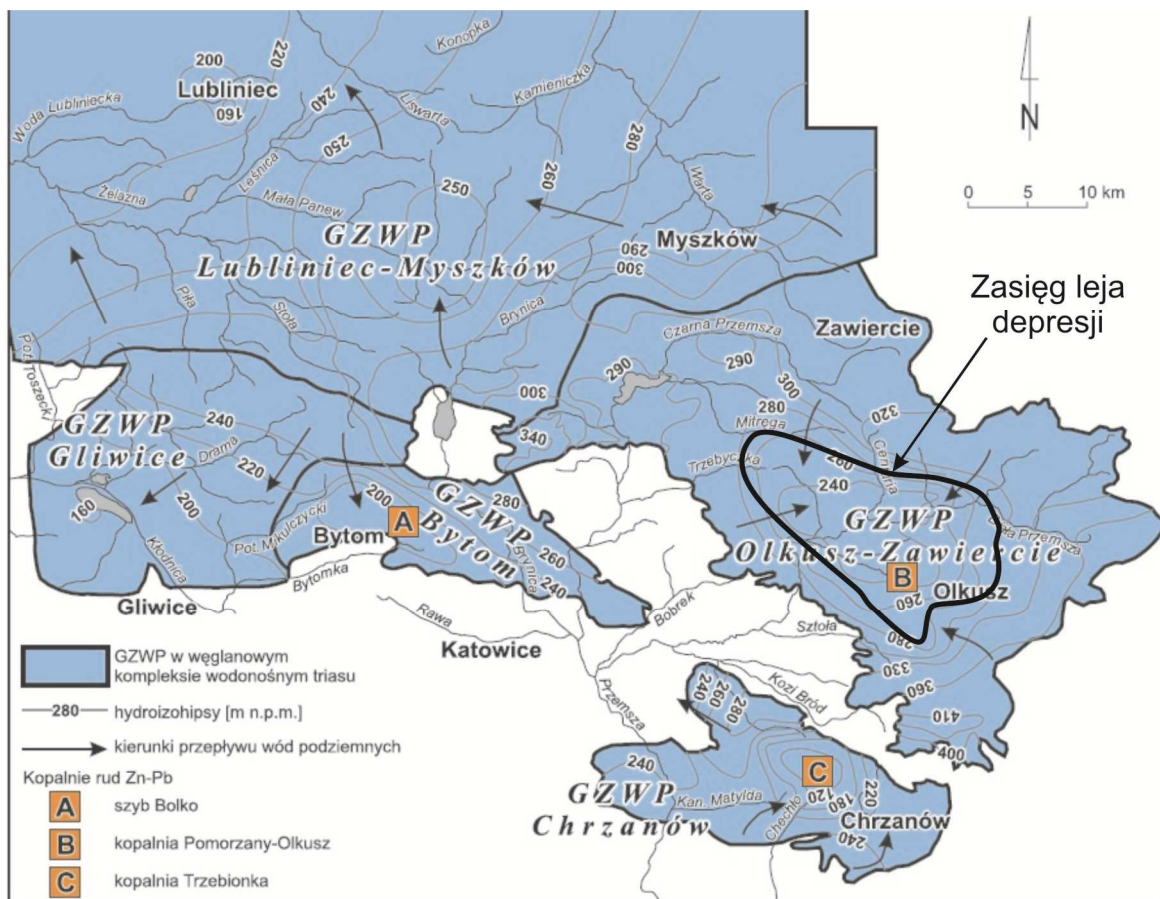


Figura 34 Mapa hydrodynamiczna węglanowego kompleksu wodonośnego triasu śląsko-krakowskiego (wg Rózkowski, Chmura (red.) 1996, zmienione przez Kowalczyk 2003)

Chemizm i jakość wód

W środowiskach wzbogaconych w siarczki metali poziom koncentracji metali w wodach zależy od wielu procesów i reakcji na granicy woda/osad w szczególności takich jak: strącanie-rozpuszczanie, współstrącanie, adsorpcja-resorpcja oraz wymiana jonowa (Blowes, Jambor 1990). Zdolność migracji metali zależy od bilansu wodnego. Wody w rejonie olkuskim cechują się wysokimi zawartościami jonów Ca^{2+} (do 239 mg/l) i Mg^{2+} (114 mg/l) (Lis, Pasieczna 1999). Ich alkalizacja jest korzystna ponieważ sprzyja wiązaniu jonów metali i ogranicza ich mobilność. Pomimo tego wody niektórych cieków w obszarach zanieczyszczonych przez górnictwo i hutnictwo rud należy zaliczyć do wód pozaklasowych (Dz.U. 116, p 503. 1991) ze względu na zawartości Pb, Cd i Zn. Aktywność geochemiczna siarczków wpływa na wysokie zawartości jonów SO_4^{2-} (do 890 mg/l) w ciekach powierzchniowych rejonu Bukowna (Lis, Pasieczna 1999). Wysokie zawartości siarczanów dochodzące do 1200 mg/l stwierdzono także w wodach kopalni Bolesław (Motyka, Witkowski 1999) oraz Pomorzany (Czop i inni 2006). Wody podziemne

występujące w sąsiedztwie składowisk zawierają 3000-4000 mg/l SO_4^{2-} , 5-14 mg/l Zn, 2-3 mg/l Mn, 0.7-10 mg/l Fe (Adamczyk i inni 2000).

W okresach o niskiej wilgotności dochodzi do silnej immobilizacji cynku związanej z krystalizacją wodorotlenków (Zn(OH)_2) i węglanów (ZnCO_3). W warunkach podwyższonej wilgotności zwiększa się aktywność geochemiczna minerałów metalonośnych występujących w glebach i odpadach (Peltier i inni 2003). Dochodzi wtedy do utlenienia siarczków, w wyniku którego do roztworów glebowych mogą być transferowane jony siarczanowe i niektóre metale (Wong i inni 1998; Cabała 2005). Eksploatacja płytko zalegających rud metali w warunkach znacznego zawodnienia złoża przyspiesza rozwój procesów wietrzenia minerałów kruszcowych i współwystępujących z nimi węglanów (Cabała 2001).

Utlenienie siarczków Zn-Pb-Fe i rozpuszczanie węglanów prowadzi do wzbogacenia wód strefy aeracji w jony Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} i SO_4^{2-} . Warunki i sekwencja krystalizacji uwodnionych minerałów siarczanowych najpełniej zostały opisane w złożach bogatych w siarczki żelaza (piryty), a także siarczki Cu, Zn, Pb. Rozwój procesów utlenienia siarczków prowadzi do wielkoskalowego kwaśnego drenażu wód kopalnianych (AMD *acid mine drainage*), wpływającego na zmiany stanu środowiska naturalnego w rejonach eksploatacji lub składowania siarczków metali (Alpers i inni 1994; Sracek i inni 2004; Cabała 2005). Siarczany oraz jony metali ługowane ze strefy złożowej przenikają do wód kopalnianych intensywnie drenowanych w trakcie eksploatacji (Fig. 35). Koncentracje siarczanów w wodach z kopalni Pomorzany osiągają zawartości do 300mg/dm³ (Rózkowski i inni 1997).

Siarczany masowo powstają w wyrobiskach kopalnianych bezpośrednio po rozcięciu i odwodnieniu złoża. Siarczany budują różnorodne formy naciekowe typu stalaktytów, stalagmitów i polew. Formy naciekowe zbudowane z siarczanów magnezowych znane są z utworów krasowych, gdzie są opisywane jako „włosy solne”, „kwiaty epsomitowe” (Fig. 18), przezroczyste nacieki epsomitowe (Cabała, Bzowska 2008). Występowanie nietrwałych siarczanów w strukturze których występują takie metale jak: Zn, Fe, Pb, K, Mg, może być dobrym indykatorem migracji metali ciężkich na terenach objętych działalnością górnictwem. Rozpoznanie występowania i składu mineralnego nacieków siarczanowych pozwala pośrednio ocenić skalę rozwoju kwaśnego drenażu kopalnianego wód (AMD) w szczelinowo-krasowym górotworze. Długotrwały drenaż wód przez górnictwo i ujęcia podziemne spowodował znaczące zmiany składu chemicznego i jakości wód. Zwiększyły się zawartości stężeń siarczanów, wapnia, magnezu, żelaza i manganu, wzrosła twardość wody (Fig. 35). Znaczący wpływ na zmiany chemizmu mają także inne, niezwiązane z górnictwem rud Zn-Pb zanieczyszczenia przemysłowe i komunalne.

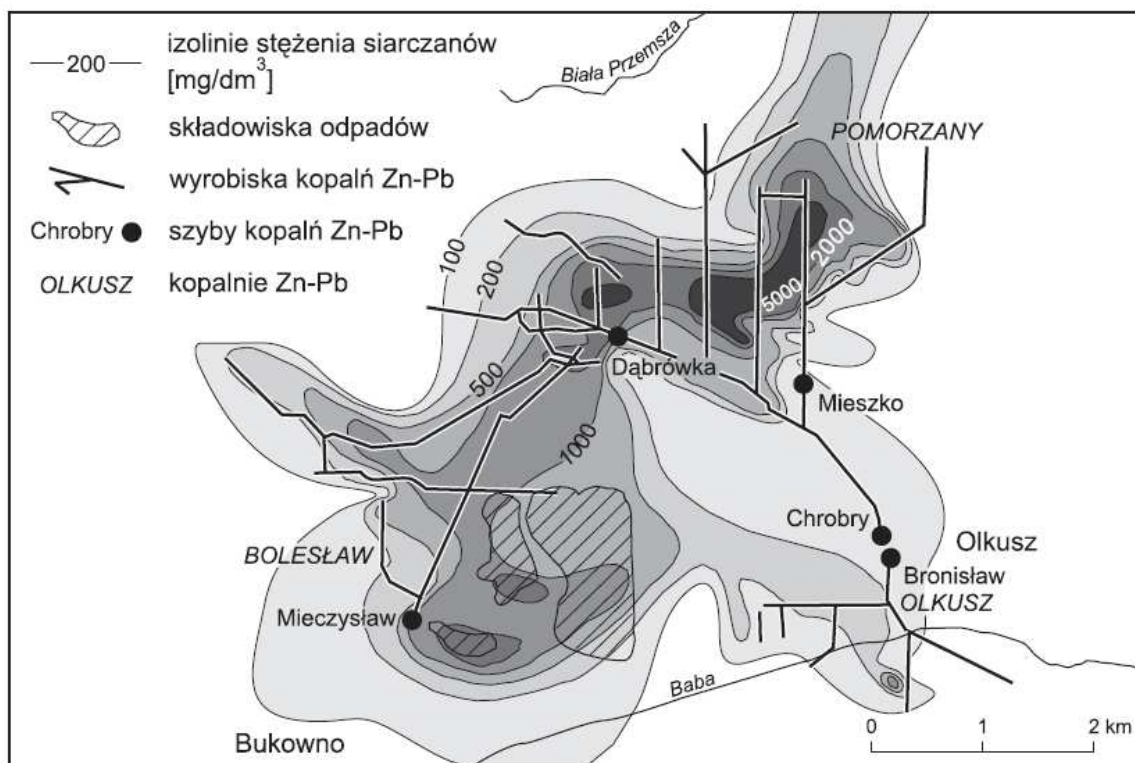


Figura 35 Stężenia siarczanów w wodach podziemnych węglanowego kompleksu wodonośnego triasu w rejonie Olkusza (Motyka, Witkowski 1999)

Wody pochodzące z niektórych części obszaru górniczego kopalni Olkusz-Pomorzany są zanieczyszczone jonami cynku i ołowiu oraz związkami lignosulfonowymi. Są to związki pochodzące z odpadów Papierni w Kluczach. Odpady te przez okres kilkunastu lat były deponowane w piaskach czwartorzędowych w rejonie Klucz. W sytuacji kiedy zasięg leja depresji objął strefę gdzie ciekłe odpady zawierające związki lignosulfonowe były zdeponowane w piaskach czwartorzędowych oraz górotworze triasowym to migrowały one w kierunku wymuszonym przez drenaż górniczy olkuskich kopalń. W rejonie olkuskim wody pokopalniane rzucane do cieków powierzchniowych zawierają jony: siarczanowe, cynku, ołowiu i żelaza, a także mogą zawierać związki lignosulfonowe. Około 20-35 m³/min. wód kopalnianych jest wykorzystywane do celów technologicznych przez ZGH Bolesław.

Likwidacja górnictwa rud cynku i ołowiu w rejonie olkuskim z uwagi na naturalne procesy utleniania minerałów siarczkowych i generowania bardzo dobrze rozpuszczalnych minerałów siarczanowych spowoduje gwałtowne pogorszenie jakości wód podziemnych z piętra triasowego na znacznej części leja depresji kopalni Olkusz-Pomorzany. Po zakończeniu eksploatacji rud, która może nastąpić w okresie od 2016 do 2020 roku kopalnia zaprzestanie pompowania wód podziemnych, dlatego w czasie kilku lub kilkunastu lat nastąpi stopniowe wypełnienie podziemnych wyrobisk wodami pochodzącymi z triasowego podziemnego zbiornika wód.

W wyniku rozpuszczania minerałów siarczanowych wody podziemne dopływające do kopalni oraz zatapiające centralną część leja depresji będą zawierać ponadnormatywne zawartości siarczanów oraz niektórych pierwiastków śladowych. Strefa zanieczyszczonych wód podziemnych będzie przemieszczać się generalnie w kierunku zachodnim do rzeki Przemszy.

Zaopatrzenie Olkusza w wodę

Wody kopalniane stanowią główne źródło zaopatrzenia mieszkańców Olkusza w wodę pitną i przemysłową. Średnie roczne zapotrzebowanie na wodę PWiK w Olkuszu w ostatnich latach wynosi około 5 mln m³ (13,7 tys. m³/d = 571 m³/h = 9,5 m³/min.). Jedyne niewielka część wód kopalnianych (ok. 5–15 m³/min) była odbierana przez przedsiębiorstwo wodociągowe, pozostała część jest zrzucana do rzeki Sztoły (ok. 90m³/min). Zaopatrzenie w wodę pitną mieszkańców rejonu olkuskiego w około 94% opiera się na wodzie kopalnianej pochodzącej z odwadniania kopalni „Olkusz- Pomorzany”, jedynie ok. 6% wody pochodzi z ujęć lokalnych, należących do PWiK w Olkuszu. Maksymalna wydajność Stacji Uzdatniania Wody PWiK w Olkuszu wynosi 21,6 tys. m³/d.

Uwagi na temat warunków wodnych w rejonie Zawiercia i Łaz

W rejonie Zawiercia i Łaz zasobność górotworu triasowego w wodę jest duża. Podziemny zbiornik ma podobnie jak w rejonie olkuskim charakter szczelinowo-krasowo-porowy. Rozpoczęcie eksploatacji na głębokości ok. 100 do 120 m poniżej powierzchni terenu będzie wiązało się z odwodnieniem tych części górotworu w których zaprojektowane zostaną wyrobiska podziemne. W rejonie złoża Zawiercie I głębokość eksploatacji będzie zbliżona do tej na jakiej jest prowadzona eksploatacja w złożu Pomorzany. Zatem intensywność drenażu również może mieć podobną dynamikę. Na różnice w dynamice dopływu wód może mieć wpływ fakt że w tym rejonie nie była dotychczas prowadzona podziemna eksploatacja i nie miało miejsca obniżenie zwierciadła wód związane na przykład z historycznym wydobywaniem. W rejonie olkuskim historyczne wydobywanie już od kilku wieków zaburzało stosunki wodne, dodatkowo podziemne sztolnie grawitacyjnie odwadniały fragmenty złóż. Tego typu sytuacja nie występuje w rejonie zawierciańskim. Jedyne lokalnie leje depresji (obniżenie zwierciadła) mogą być związane z podziemnymi, studziennymi ujęciami wód.

W pierwszych okresach prowadzenia podziemnej eksploatacji wielkość dopływów wód, które będą pompowane na powierzchnię może być znaczna, co wpłynie na koszty prowadzenia eksploatacji. Określenie wielkości spodziewany dopływów, a także prognozowanie zmian

w środowisku wodnym wymaga wykonania odpowiednich modelowań oraz rozpoznania cech fizycznych górotworu mających znaczenie dla przepływu wód.

Potencjalny wpływ górnictwa podziemnego na wody powierzchniowe i czwartorzędowe w rejonie Zawiercia i Łaz jest mocno minimalizowany dzięki występowaniu miąższego i ciągłego kompleksu ilastych utworów kajpru. Utwory te dobrze izolują poziomy wodonośne w skałach triasowych od wód występujących w skałach jurajskich i czwartorzędowych. Tak dobrej izolacji nie ma w rejonie olkuskim, co skutkowało częściowym zdrenowaniem wód powierzchniowych.

4.3 Powietrze

W wyniku opadu pyłów przemysłowych, rocznie do europejskich gleb deponowane jest średnio 217 g cynku i 34 g ołowiu na hektar powierzchni (Nicholson i inni 2003). Czynnikiem decydującym o wielkości emisji jest sąsiedztwo emiterów np. hut, elektrowni, cementowni oraz klimat, a szczególnie rozkład i siła wiatrów. Największe ładunki Zn, Pb i Cd są transferowane do gleb w rejonach kopalń, zakładów wzbogacania rud oraz hut Zn-Pb.

W opadzie wokół hut Zn-Pb przeważa Zn ($22.2 \text{ mg m}^{-2} \text{ dzień}^{-1}$), Pb ($18.8 \text{ mg m}^{-2} \text{ dzień}^{-1}$), najmniej jest Fe ($12.2 \text{ mg m}^{-2} \text{ dzień}^{-1}$) (Van Alphen 1999). Bardzo wysoka jest także emisja kadmu, do gleb południowej Polski (rejon hut Zn-Pb) dostarczane jest około $60\text{-}70 \text{ mg m}^{-2} \text{ Cd}$. W glebach europejskich zawartość ołowiu w okresie 30 lat drugiej połowy XX wieku wzrosła średnio o 1.8 mg kg^{-1} , a kadmu o 0.12 mg kg^{-1} (Rautengarten i inni 1995). Najwyższa emisja lotnych związków siarki, węgla oraz metali ciężkich do atmosfery miała miejsce w okresie od lat sześćdziesiątych do końca lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Wywarła ona znaczący wpływ na roślinność, badania dendrologiczne M. Danek (2007) wykazały, że wpływ hutnictwa rud Zn-Pb zaznaczył się w odległości do 8 do 10 kilometrów na NE od Bukowna. W pyłach opadowych z rejonu Olkusza obecne są także fazy pochodzące z wysokiej emisji przemysłowej z obszaru GOP (Jablonska i inni 2003).

4.4 Gleby

W rejonie śląsko-krakowskim w sąsiedztwie współczesnych i historycznych miejsc wydobywania i hutnictwa rud Zn-Pb środowisko przyrodnicze, a w szczególności gleba jest mocno zanieczyszczona metalonośnymi fazami zawierającymi w swoim składzie: Zn, Pb, Fe, Mn, Cd, Tl, As, Sb (Cabala i inni 2011; Trafas i inni 1990). Wysoki poziom zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi jest związany z:

- eoliczną redepozycją minerałów Zn-Pb-Fe z nadpoziomowych składowisk odpadów poflotacyjnych i pohutniczych,
- emisją przez hutę cynku pyłów bogatych w metale ciężkie,
- historycznym górnictwem i przeróbką rud w wyniku której na powierzchni zostały zdeponowane odpady wzbogacone w Zn, Pb, Cd, Tl i inne metale,
- budową geologiczną i erozją płytko zalegających rudonośnych utworów triasu,
- wysoką emisją pyłów przemysłowych z Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego.

Zanieczyszczenie gleby w największej części jest związane z przenoszeniem przez wiatr ze składowisk do gleb minerałów zawierających metale. W rejonie olkuskim, w szczególności glebach na terenach sąsiadujących ze składowiskami licznie występują minerały bogate w Zn, Pb i Fe (Cabala, Teper 2007). Siarczki występują w formie polimineralnych agregatów będących relikdami hipergenicnej dezintegracji większych skupień kruszców. Minerały ilaste oraz tlenki żelaza pełnią rolę spoiwa, dzięki któremu ziarna węglanów, siarczków i siarczanów tworzą konglomeraty na ziarnach kwarcu lub korzeniach roślin.

W próbkach pochodzących z powierzchniowej warstwy gleby z minerałów kruszczowych najczęściej występują siarczki żelaza. Przewaga minerałów żelaza wynika z faktu, że wśród kruszców w odpadach także dominują markasyt i piryt (Cabala i inni 2004). Ziarna markasytu i pirytu osiągają wielkości od kilku do 200 μm , w przeważającej części mieszczą się w klasie ziarnowej od 5 do 20 μm . Siarczki cynku w glebie rejonu olkuskiego występują w formie pojedynczych ziaren o wielkości od kilku do 20 μm . Stwierdzano je głównie w konglomeratach polimineralnych w asocjacji z glinokrzemianami, tlenkami żelaza oraz dolomitem i kwarcem. Powierzchnie ziaren uległy częściowemu utlenieniu i korozji. Na utlenionych powierzchniach siarczków cynku występują cienkie powłoki siarczanów żelaza. Małe ziarna siarczków cynku o wielkościach 1-2 μm są często całkowicie pokryte siarczanami lub tlenkami żelaza, które chronią je przed dalszym wpływem procesów utlenienia. W powierzchniowej warstwie gleby najrzadziej spośród kruszców Zn-Pb-Fe stwierdzano galenę. Jej ziarna osiągały rozmiary do 70 μm i miały charakter wieloziarnistych skupień. Niewielka ilość galeny w glebach jest związana z jej wysokim ciężarem właściwym, utrudniającym transport eoliczny oraz grawitacyjną separacją tego minerału w stawach poflotacyjnych (Cabala i inni 2004). Drobnodziarniste agregaty metalonośnych minerałów, które zostały przeniesione do gleb ze składowisk poflotacyjnych, kominów huty lub innych bogatych w minerały z Zn, Pb, Fe, Mn odpadów np. pogórnich, pohutniczych są dobrze widoczne na korzeniach roślin w preparatach mikroskopowych (Fig. 36). W największym stopniu zanieczyszczone są wierzchnie warstwy gleby, często kilka lub kilkanaście centymetrów głębiej poziom zanieczyszczenia jest znacznie niższy.

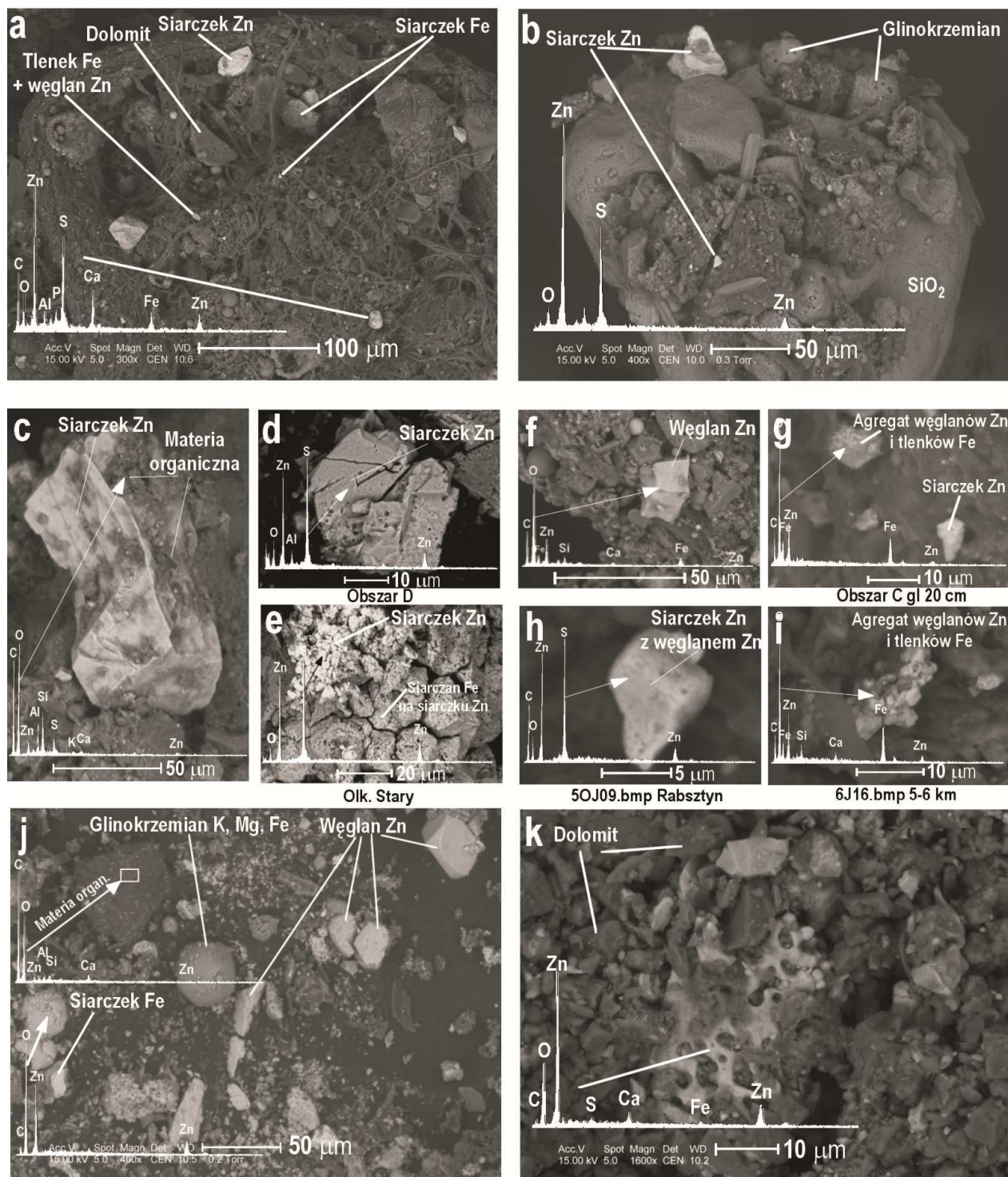


Figura 36 Minerale cynku na korzeniach roślin terenów zanieczyszczonych przez górnictwo i hutnictwo Zn-Pb w rejonie olkuskim; **a** - korzeń Kostrzewy owczej, **b** - ryzosfera niezidentyfikowanej rośliny, **c** - korzeń Fiołka trójbarwnego, **d** - ryzosfera niezidentyfikowanej rośliny **e** – ryzosfera Goździka kartuzka, **f** - korzeń Rzeżusznika piaskowego, **g** - korzeń Trzcinnika piaskowego, **h** - ryzosfera niezidentyfikowanej rośliny, **i** - ryzosfera Lepnicy rozdętej, **j** - ryzosfera niezidentyfikowanej rośliny, **k** - ryzosfera niezidentyfikowanej rośliny (Cabała 2009).

Flora na terenach górnictwa rud Zn-Pb

Na terenach występowania i eksploatacji złóż rud Zn-Pb powstają ekosystemy o ciekawych walorach przyrodniczych i krajobrazowych. Są zasiedlane przez rzadkie gatunki roślin, dlatego niekiedy uzyskują status terenów chronionych lub użytków ekologicznych (Wierzbicka, Rostański 2002). W Europie miejsca takie są znane z rejonów eksploatacji rud Zn-Pb w Belgii (Lock i inni 2003), Irlandii (Milton i inni 2002), Wielkiej Brytanii (Smith 1979), Francji (Dahmani-Muller i inni 2000). Występowanie i wegetacja roślin będących metalofitami jest uwarunkowana obecnością metali ciężkich, dlatego tereny dawnej eksploatacji rud i składowania odpadów pełnią ważną rolę w zachowaniu ich bioróżnorodności gatunkowej (Smith 1979).

W Polsce rośliny przystosowane do wzrostu w warunkach wysokich zawartości metali ciężkich (Zn, Pb, Fe, Cd, Tl) w glebach występują w rejonie śląsko-krakowskim na obszarach objętych mineralizacją Zn-Pb-Fe (Fig. 37) (Grodzińska, Szarek-Łukaszewska 2002; Jędrzejczyk-Korycińska 2006). Szczególnie interesujący pod tym względem jest obszar płytkiego zalegania złóż między Bolesławiem, Bukownem i Olkuszem (Cabała 2001).

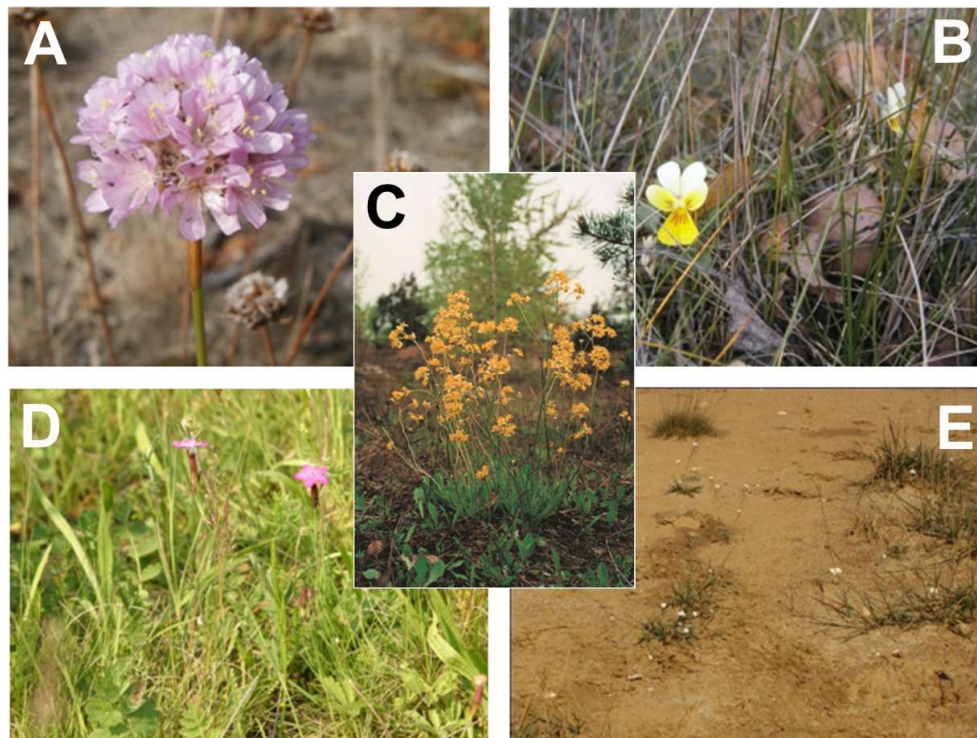


Figura 37 Rośliny występujące na terenach pogalmanowych w rejonie olkuskim. **A** - Zawciąg pospolity (Fot. J. Cabała) **B** - Fiołek trójbarwny (Fot. J. Cabała) **C** - Pleszczotka górską, **D** - Goździk kartuzek, (Fot. E. Teper) **E** - Rzeżusznik piaskowy (Fot. J. Cabała).

W okresie ostatnich kilku milionów lat procesy wietrzenia siarczków Zn-Pb-Fe doprowadziły do powstania naturalnej aureoli rozproszenia metali w glebach oraz produktach wietrzenia skał triasowych (Cabała 2001). Istotny wpływ na zanieczyszczenie gleb metalami wywarła także wielowiekowa eksploatacja srebra, ołowiu i cynku (Cabała, Sutkowska 2006, Cabała 2009). Dawne hałdy oraz obszary przekształcone przez działalność górnictw są zasiedlane przez rośliny kserotermiczne, dzięki czemu powstają murawy o interesującym, zróżnicowanym i nie spotykanym nigdzie w Polsce składzie gatunkowym. Wśród wielu roślin charakterystyczne są: fiołki trójbarwne, zawciągi, rzodkiewniki, goździk kartuzek, pleszczotka górską, rzeżusznik piaskowy (Fig. 37a.,.,e) oraz wiele gatunków traw i innych roślin naczyniowych (Cabała 2011, 2012, Fig. 38).

Mikro i makrofauna zasiedlająca biotopy na terenach zanieczyszczonych przez górnictwo rud Zn-Pb charakteryzuje się wysokim poziomem koncentracji Zn, Pb, Cd i Tl. Wiąże się on z biologiczną aktywizacją metali oraz ich dalszą koncentracją w kolejnych ogniwach łańcuchów troficznych.



Figura 38 Przelot pospolity porastający skarpy składowisk poflotacyjnych w Olkuszu (Fot. J. Cabała)

5. Literatura

- Adamczyk A. F. 1990. Wpływ górnictwa cynku i ołowiu w rejonie olkuskim na wody podziemne i powierzchniowe. *Zesz. Nauk. AGH*, **1368**, *Sozol. Sozotech.*, **32**: 41–56.
- Adamczyk Z., Motyka J. 2000. Rozwój dopływów wody do kopalń rud cynku i ołowiu w rejonie Olkusza. *Prz. Geol.*, **48**, 2: 171–175.
- Adamczyk Z., Motyka J., Witkowski A.J. 2000. Impact of Zn-Pb ore mining on groundwater quality in the Olkusz region. In: Proc. of the 7th IMWA Congress, Katowice-Ustroń, Poland: 27-37.
- Alper G. 1998. Mittelalterliche Blei-/ Silberverhüttung beim Johanneser Kurhaus- Clausthal-Zellerfeld (*Harz*), *Nachrichten aus Niedersachsen Urgeschichte* 67: 87–134.
- Assmann P. 1944. Die Stratigraphie der oberschlesischen Trias. II Teil; Der Muschelkalk. *Abh. Reichsanst. Bodenforsch. N. F. H.* Wien.
- Barrera-Godinez J.A., i inni 2000. The galvanic treatment of lead-zinc residues for marketable iron product recovery. In: Dutrizac J.E., et al., editors. Lead zinc 2000. Warrendale: TMS: 763-78.
- Bauerek A., Cabala J., Smieja-Król B. 2009. Mineralogical alterations and their implication for contamination of rain water runoff from Zn-Pb flotation wastes of Mississippi Valley Type ores (Southern Poland). *Polish Journal of Environmental Study* 18 (5): 781-788.
- Blowes D.W., Jambor J.L. 1990. The pore-water geochemistry and the mineralogy of the vadose zone of sulfide tailings, Waite Amulet, Quebec, Canada. *Appl. Geochem.* 5: 327-346.
- Bukowy S. 1974. Monoklina śląsko-krakowska i zapadlisko górnośląskie. W: Budowa geologiczna Polski t. IV: Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne.
- Bula, Z., Jachowicz M.&, Żaba J. 1997. Principal characteristics of the Upper Silesian Block and Malopolska Block border zone (southern Poland). *Geol. Mag.* 134 (5): 669-677. Cambridge University Press.
- Cabala J. 2000. Prospects for Zn-Pb ore mining in Poland with regard to ore quality in discovered deposits. In: *Mine Planning and Equipment Selection 2000*. Balkema. Rotterdam: 177-182.
- Cabala J. 2001. Development of oxidation in Zn-Pb deposits in Olkusz area. In: *Mineral Deposits at the Beginning of the 21st century*. Balkema Lisse: 121-124.
- Cabala J., Teper L., Rutkowski T. 2004. Rockmass deformations caused by Zinc and Lead ores mining in the Olkusz region (Southern Poland). *Acta Geodyn. Geomater.* Vol. 1, No. 1 Formerly Acta Montana Prague (133): 47-58.
- Cabala J., Smieja-Król B., Jablonska M., Chrost L. 2013. Mineral components in a peat deposit - looking for signs of early mining and smelting activities in Silesia - Cracow region (Southern Poland). *Environmental Earth Sciences* 69 (8) 2559-2568.
- Cabala J., Teper L. 2007. Metalliferous constituents of rhizosphere soils contaminated by Zn-Pb mining in southern Poland. *Water, Air, & Soil Pollution* 178, 1-4: 351-362.
- Cabała J. 1990. Występowanie okruszczenia Zn-Pb w rejonie wypiętrzonych utworów paleozoicznych na SW od Zawiercia, *Zesz. Nauk. Polit. Śląsk.*, 190: 211-224.
- Cabała J. 1993. Wpływ czynników epigenetyczno-wietrzeniowych na charakter mineralizacji cynkowo-ołowiowej w rejonie olkusko-zawierciańskim. Praca dokt. Arch. WNoZ UŚI. Katowice.
- Cabała J. 1996. Koncentracje pierwiastków śladowych w rudach Zn-Pb i możliwość przechodzenia ich do odpadów. *Prace Nauk GIG Seria nr 13*: 17-32.
- Cabała J. 1996. Występowanie cerusytu i stopień utlenienia siarczków ołowiu w rudach Zn-Pb rejonu olkusko-zawierciańskiego. *Zesz. Nauk. Polit. Śląsk. Górnictwo z. 230 Nr 1343*: 223-242.
- Cabała J. 1998. Uwagi o zmienności niektórych parametrów rud Zn-Pb występujących w perspektywnych obszarach złożowych rejonu olkuskiego. W: *Wykorzystanie zasobów złóż kopalni użytecznych pt. Wpływ zmian modelu gospodarczego na gospodarkę zasobami złóż* nr 33. PAN, MOŚZNIŁ, AGH. Kraków: 181-188.
- Cabała J. 1998. Zmienność zawartości krzemionki i minerałów ilastych w rudach cynkowo ołowiowych rejonu olkusko-zawierciańskiego. *Prace Naukowe GIG nr 24*. W "Problemy geologii w ekologii i górnictwie podziemnym". Katowice: 121-130.
- Cabała J. 2000. Jakość oraz wtórne zmiany chemizmu rud Zn-Pb w olkuskim rejonie złożowym. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, Wyd. PAN. t. 6, z. 1: 117-141.
- Cabała J. 2001. Złoże cynku i ołowiu Klucze: budowa oraz uwarunkowania eksploatacji rud. *Materiały XXI Terenowej Szkoły Geologów UŚ*. Lewin Kłodzki: 5-9.
- Cabała J. 2002. Geological structure and physical features of rock mass in Zawiercie Zn-Pb ore region. *Publ. of Inst. Geoph. Pol. Ac. Sci. Monographic Volume M-24 (340)* : 195-203.
- Cabała J. 2005. Kwaśny drenaż odpadów poflotacyjnych rud Zn-Pb; zmiany składu mineralnego w strefach ryzosferowych rozwiniętych na składowiskach. *Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej* 1690, s. Górnictwo z. 267: 63-70.
- Cabała J. 2009. Metale ciężkie w środowisku glebowym olkuskiego rejonu eksploatacji rud Zn-Pb. *Prace Naukowe UŚ* 2729.

- Cabała J. 2011. Metalofity – nowe możliwości górnictwa XXI wieku. W: Przyroda terenów pogórnich. Wyd. CK Bolesław. s. 55-72.
- Cabała J. 2012. Tereny eksploatacji rud metali – szczególna nisza ekologiczna. W: Nakonieczny M. Migula P. (Red.) Problemy środowiska i jego ochrony nr 20: 173-189. CSCS Uniwersytet Śląski
- Cabała J., Badera J. 2014. Metale ciężkie w Polsce: geologia, mineralogia, geochemia i historia wydobywania. W: Wierzbicka M. (Red.) Ekotoksykologia: rośliny, gleby, metale. Wyd. UW Warszawa.
- Cabała J., Bzowska G. 2008. Sulphates speleothem from Pomorzany Zn-Pb ore mine (Southern Poland). *Kras i Speleologia* 12 (XXI) 59-76.
- Cabała J., Jochymczyk K., Poręba A. 2007. Inwersyjne obrazowanie oporu w rejonie złoża Zn-Pb Zawiercie źródłem informacji na temat budowy geologicznej. *Przegląd Geologiczny* 10, v. 55: 880-886.
- Cabała J., Konstantynowicz E. 1999. Charakterystyka śląsko-krakowskich złóż cynku i ołowiu oraz perspektywy eksploatacji tych rud. W: *"Perspektywy geologii złożowej i ekonomicznej w Polsce: Prace Naukowe UŚ nr 1809: 76-98.*
- Cabała J., Rahmonov O., Jablonska M., Teper E. 2011. Soil algal colonization and its ecological role in an environment polluted by past Zn-Pb mining and smelting activity. *Water, Air, & Soil Pollution* 215 (1-4): 339-348.
- Cabała J., Sutkowska K. 2006. Wpływ dawnej eksploatacji i przeróbki rud Zn-Pb na skład mineralny gleb industrialnych, rejon Olkusza i Jaworzna. *Prace Nauk. Inst. Górn. Polit. Wroc.* 117. *Studia i Materiały* 32: 13-22.
- Cabała J., Teper L. 1990. Testowanie przesuwczego charakteru NE granicy GZW na podstawie badań strukturalnych w rejonie Zawiercia, W: *"Postęp Nauk. I Techn. w Geologii Górniczej Węgla Kam.", III, Prace GIG, ser. dod.,: 96-108.*
- Chrastný V., Vaněk A., Teper L., Cabała J., Procházka J., Pechar L., Drahotka P., Penížek V., Komárek M., Novák M. 2012. Geochemical position of Pb, Zn and Cd in soils near the Olkusz mine/smelter, South Poland: effects of land use, type of contamination and distance from pollution source. *Environmental Monitoring and Assessment*. 184:2517–2536.
- Czop M., Motyka J., Syposz-Luczak B. 2006. Evaluation of the long-term sulphate release from dewatered Zn-Pb ore bearing Triassic rocks in the Olkusz district (S Poland). *Geochimica Cosmochimica Acta* 70, 18, Suppl. Aug – Sept. pp. 123.
- Czop M., Motyka J., Szuwarzyński M. 2003. Charakterystyka jakości wód ze źródeł triasowych w rejonie chrzanowskim. W: *Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 11, cz. 2: 111–114. Gdańsk.
- Dahmani-Muller H., Van Oort F., Gelie B., Balabane M. 2000. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter. *Environmental Pollution*, 109: 231–238.
- Danek M. 2007. The Influence of Industry on Scots Pine Stands in the Southeastern Part of the Silesia-Krakow Upland (Poland) on the Basis of Dendrochronological Analysis. *Water Air Soil Pollut.* 185 (1-4): 265-277.
- Gałkiewicz T. 1983. Prawidłowości wykształcenia śląsko-krakowskich złóż cynkowo-ołowiowych. *Prace Geol.*, nr 125, Wyd. Geol. W-wa.
- Gansdorfer T. 1996. Projekt koncepcyjny optymalnego wykorzystania zagospodarowanej i niezagospodarowanej bazy zasobowej rud Zn i Pb rejonu olkuskiego z uwzględnieniem zakończenia eksploatacji w poszczególnych kopalniach, v. I and II, BIPROMET S.A., Katowice (niepubl.).
- Gordon R.B., Graedel T.E., Bertram M. Fuse K., Lifset R., Rechberger H., Spataro S. 2003. The characterization of technological zinc cycles. *Resources, Conservation and Recycling* 39: 107-135.
- Grodzińska K., Szarek-Łukaszewska G. 2002. Hałdy cynkowo-ołowiowe w okolicach Olkusza — przeszłość, teraźniejszość i przyszłość. *Kosmos. Problemy nauk biologicznych*, 51, 255, 127-138.
- Harańczyk C., 1965. Geochemia kruszców śląsko-krakowskich złóż rud cynku i ołowiu, *Prace Geol.* PAN. Kraków, nr 5, s.111.
- Heijlen W, Muchez PH, Banks DA, Schneider J, Kucha H, Keppens E. 2003. Carbonate-hosted Zn Pb deposits in Upper Silesia, Poland: origin and evolution of mineralizing fluids and constraints on genetic models. *Economic Geology*, 98, 911–932.
- Jablonska M., Janeczka J., Rietmeijer F.J.M. 2003. Seasonal changes in the mineral compositions of tropospheric dust in the industrial region of Upper Silesia, Poland. *Mineralogical Magazine*, v.67, (6): 1231-1241.
- Jamroz T., Rączka E. 1999. Johann Christian Ruberg: twórca technologii produkcji cynku na ziemiach polskich. Katowice SITH.
- Janusz W., Jarosz A. 1976. Nieciągłe deformacje powierzchni wywołane płytka podziemną eksploatacją górnictwem. In: *Proc. Symp. Budownictwo na terenach górniczych o dużych deformacjach powierzchni*, Polish Acad. Sci., Komisja Ochrony Terenów Górniczych, Katowice.
- Jarosz A. 1975. Model powstawania deformacji nieciągłych, Polish Acad. Sci., Komisja Górniczo-Geodezyjna, Kraków, *Geodezja* 20, 65-82.
- Jędrzejczyk-Korycińska, M. 2006. Floristic diversity in calamine areas of the Silesia-Cracow Monocline, *Biodiv. Res. Conserv.*, 3-4, 340-343.

- Jochymczyk K., Cabala J., Poreba A. 2006. Application of resistivity imaging to recognition of geological structure in the area of shallow Zn-Pb ore bodies (Preliminary study). *Acta Geodyn. Geomater.* V. 3, No 3: 131-138.
- Kowalczyk A. 2003. Formowanie się zasobów wód podziemnych w utworach węglanowych triasu śląsko-krakowskiego w warunkach antropopresji. *Pr. Nauk. UŚł.* 2152.
- Kowalczyk A. 2005. Wpływ urbanizacji i przemysłu na przekształcenia warunków hydrogeologicznych triasu śląsko-krakowskiego. W: *Hydrogeologia obszarów zurbanizowanych i uprzemysłowionych*, t. 2. 30 lat hydrogeologii w Uniwersytecie Śląskim (red. A. Kowalczyk, A. Rózkowski). *Pr. Wydz. Nauk o Ziemi UŚł.*, 37: 81–96.
- Kropka J. 1996. Drogi krążenia, zasoby i zagospodarowanie wód podziemnych w triasowym zbiorniku Bytom w warunkach aktywnej działalności górnictwa. *Prz. Geol.*, 44, 8: 845–849.
- Kurek S. 1988. Prawdopodobieństwo występowania mineralizacji Zn-Pb w utworach młodszego paleozoiku NE obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Prz. Geol.* nr 7, s. 396-401.
- Kurek S. 1993. Problems of modeling of Zn-Pb ores of the Mississippi Valley-type in the sediments of Younger Paleozoic. *Kwart. Geol.* 37, p. 147-155.
- Leach D.L., Viets J.G., Kozłowski A., Kibitlewski S. 1996. Geology, geochemistry, and genesis of the Silesia-Cracow zinc-lead district, southern Poland: Society of Economic Geologists Special Publication 4, : 171–181.
- Lis J., Pasieczna A. 1999. Szczegółowa mapa geochemiczna Górnego Śląska 1:25000. Promocyjny arkusz Sławków. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- Lock K., Janssens F., Janssen C.R. 2003. Effects of metal contamination on the activity and diversity of springtails in an ancient Pb-Zn mining area at Plombiers, Belgium. *European Journal of Soil Biology*, 39: 25–29.
- Meier G. 2001. Altbergbau in Deutschland, Umfange – Probleme – Bearbeitung, Published in: Conference vol. 1. Altbergbaukolloquium, Freiberg 2001, pp. 5–17.
- Merrington G., Alloway B.J. 1994. The transfer and fate of Cd, Cu and Zn from two historic metalliferous mine sites in the UK. *Appl Geochem* 9: 677-687.
- Mikulski S., Strzelska-Smakowska B., Retman W. 2013. The perspective and prognostic areas of zinc and lead ores in the Upper Silesia Zn-Pb Ore District. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 29 (2): 173-191.
- Mochacka K., Sass-Gustkiewicz M. 1982. Złoże rud cynku i ołowiu kopalni Pomorzany (rejon śląsko-krakowski). *Geologia*, t. 8, z.1, s.45-58.
- Molenda D. 1963. Górnictwo kruszcowe na terenie złóż śląsko-krakowskich do połowy XVI wieku. PAN. Wrocław – Warszawa – Kraków.
- Molenda D. 1984. Der polnische Bleibergbau und seine Bedeutung für den europäischen Bleimarkt vom 12. bis 17. Jahrhundert. *Der Anschnitt Beih* 2: 187-198.
- Motyka J., Witkowski A.J. 1999. Sulphates in groundwater of the karst-fractured Triassic aquifers in areas of intensive mining drainage (the Olkusz and the Bytom regions). W: *Mine, Water & Environment* (red. R.F. Rubio), vol.1: 189–195. IMWA Inter. Congress. Sevilla.
- Motyka J., Witkowski A.J. 2002. Groundwater contamination in the area of Zn–Pb ore mines situated in the southern part of the Olkusz–Zawiercie Triassic aquifer (Poland). W: *Uranium in the aquatic environment: 1029–1036*. Springer-Verlag. Berlin.
- Motyka J., Witkowski A. J. 1999. Sulphates in Groundwater of the Karst-Fractured Triassic Aquifers in Areas of intensive Mining Drainage (the Olkusz and the Bytom Regions). – In: Fernández Rubio, R.: *Mine, Water & Environment*, IMWA Congress: 189-195.
- Nicholson F., Smith S.R., Alloway B.J. and Chambers B.J. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the Total Environment*, 311: 205-220.
- Peltier E.F., Webb S. M., Gaillard J-F. 2003. Zinc and lead sequestration in an impacted wetland system. *Advances in Environmental Research* 8: 103–112.
- Piekarski K. 1994. Ocena wyników poszukiwań złóż rud polimetalicznych w utworach staropaleozoicznych obszaru Zawiercia. *Prz. Geol.*, vol. 42, nr 8. s. 615-620.
- Popiołek E. 1990. Zasady ochrony terenów górniczych w warunkach olkuskiego zagłębia rud Zn-Pb, *Acad. of Mining and Metallurgy, Kraków, Sozologia i Sozotechnika* 32, 77-97.
- Przeniosło S. 1974. Cynk i ołów w utworach węglanowych triasu rejonu zawierciańskiego. *Biul. Inst. Geol.*, 278: 115–186.
- Rautengarten A. M., Schnoor J. L., Anderberg S., Olendrzynski K., Stigliani W. M. 1995. Soil sensitivity due to acid and heavy metal deposition in East Central Europe. *Water, Air & Soil Pollut.* v. 82 nr 2: 737-742.
- Rogoż S. 1990. Dodatek nr 3 do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Zawiercie” w kat.C2. Obszar „Zawiercie II” w kat.C2 i poza kat.C2 (zasoby szacunkowe). *Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- Rogoż S. i inni 1975a. Dodatek nr 2 rozliczeniowy do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu „Zawiercie” w kat. C2. *Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- Rogoż S., Szebeszczyk T., Czyżewska H. 1975b. Dokumentacja geologiczna złoża rud cynku i ołowiu „Zawiercie I” w kat. C1. *Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.*

- Rozmus D. 2009. Próba rekonstrukcji procesu wytopu srebra w XI i XII wieku (na przykładzie osady produkcyjnej w Dąbrowie – Górniczej – Łośniu)[W:] *Archaeologia Historica Polona* 18, Toruń: 45 – 55.
- Rózkowski A., Chmura A. (red) 1996. Mapa zwykłych wód podziemnych GZW i jego obrzeżenia w skali 1:100 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- Rózkowski A., Chmura A., Siemiński A. (ed.) 1997. Użytkowe wody podziemne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jego obrzeżenia. Prace PIG CLIX Warszawa.
- Sass-Gustkiewicz, M., Socha, J. 1982. Inicjalne formy krasowe w złożu rud cynku i ołowiu rejonu olkuskiego, *Acad. of Mining and Metallurgy, Kraków, Geologia* 8, 4, 59-70.
- Sawicki J. 2000. Zmiany naturalnej infiltracji opadów do warstw wodonośnych pod wpływem głębokiego, górniczego drenażu. Wyd. Pol. Wrocław. Wrocław.
- Siedlecki S. 1948. Zagadnienia stratygrafii morskich utworów triasu śląsko-krakowskiego. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, t.18, nr 2, s.191-243.
- Skrzypczyk L. 2003. Mapa głównych zbiorników wód podziemnych, 1:500 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- Smith R.F. 1979. The occurrence and need for conservation of metallophytes on mine wastes in Europe. *Environmental Geochemistry and Health* 1 (4): 131-147.
- 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 kopalni użytecznych*. PAN, MOŚZNiL, AGH, Kraków s. 165-174.
- Sracek O., Choquette M., Gelinas P., Lefabvre R., Nicholson R.V. 2004. Geochemical characterization of acid mine drainage from a waste rock pile, Mine Doyon, Quebec, Canada. *Cont. Hydrol.* 69, 45-71.
- Szpetkowski S. 1995. Prognozowanie wpływów eksploatacji złóż pokładowych na górotwór i powierzchnię terenu, Śląskie Wyd. Techn., Katowice.
- Szuwarzyński, M. 1996. Ore bodies in the Silesia-Cracow Zn-Pb ore district, Poland: *Prace Instytutu Geologicznego*, v. 154, p. 9–24.
- Śliwiński S. 1961. Warstwy olkuskie. *Rudy Metale*, r. 6, nr 12.
- Trafas M, Gruszczyński S, Gruszczyńska J. Zawodny Z. 1990. Zmiany własności gleb wywołane wpływami przemysłu w rejonie olkuskim. *Zeszyty Naukowe AGH. Sozologia i Sozotechnika* z. 32, 1368: 143-161.
- Van Alphen M. 1999. Atmospheric heavy metal deposition plumes adjacent to a primary lead-zinc smelter. *The Science of the Total Environment* 236: 119-134.
- Vaněk, Aleš, Vladislav Chrastný, Leslaw Teper, Jerzy Cabala, Vít Penížek and Michael Komárek. 2011. Distribution of thallium and accompanying metals in tree rings of Scots pine (*Pinus sylvestris L.*) from a smelter-affected area. *Journal of Geochemical Exploration* 108: 73-80.
- Verner J.F., Ramsey M.H., Helios-Rybicka E., Jędrzejczyk B. 1996. Heavy metal contamination of soils around a Pb-Zn smelter in Bukowno, Poland. *Applied Geochemistry*, 11: 11–16.
- Viets J.G., Leach D.L., Lichte F.E., Hopkins R.T., Gent C.A., Powell J.W. 1996: Paragenetic and minor-and trace-element studies of Mississippi Valley-type ore deposits of the Silesian-Cracow district, Poland. *Prace Inst. Geol.*, 154, p. 51-71.
- Vrabetz E., Ślusarek M. 1993. Proekologiczna technologia wzbogacania rudy Zn-Pb ze złoża Zawiercie. *Rudy Metale*. R. 38, nr 6 s. 151-155
- Wielgomas L. 1970. Dodatek do dokumentacji geologicznej złoża rud cynku i ołowiu w rejonie „Zawiercie” Rejon „Zawiercie Północ” w kat. C2. *Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- Wierzbicka M., Rostański A. 2002. Microevolutionary changes in ecotypes of calamine waste heap vegetation near Olkusz, Poland: a review. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 44: 7–19.
- Witkowski A.J. i inni 2001. Podatność na zanieczyszczenie i jakość wód podziemnych krasowo-szczelinowych zbiorników w obszarach intensywnego drenażu (na przykładzie GZWP Olkusz–Zawiercie i Chrzanów). *Arch. UŚI. Sosnowiec*.
- Wong J.W.C., Ip C.M., Wong M.H. 1998. Acid-forming capacity of lead-zinc mine tailings and its implications for mine rehabilitation. *Environmental Geochemistry and Health*, 20: 149-155.
- Wyczółkowski J. 1978. Osady triasu dolnego i środkowego W: Pawłowska J. (red.): *Poszukiwanie rud cynku i ołowiu na obszarze śląsko-krakowskim. Prace I.G. LXXXIII*: 79-104.
- 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.*, 19. Wyd. Geol. W-wa.