

Inwersyjne obrazowanie oporu w rejonie złoża Zn-Pb Zawiercie źródłem informacji na temat budowy geologicznej

Jerzy Cabała*, Krzysztof Jochymczyk*, Artur Poręba*



J. Cabała



K. Jochymczyk



A. Poręba

Application of electrical resistivity tomography (ERT) in the Zawiercie Zn-Pb ore area as a source of information on the geological structure. *Prz. Geol.* 55: 380–386.

S u m m a r y. The depletion of Zn-Pb ores in developed mining areas and the increase in metal prices have resulted in the need to search for new deposits which have not been exploited yet. A project of drilling new exploratory boreholes should be preceded by an interpretation of archival geological data. To obtain the most valuable information on the geological structure leading to its plausible interpretation, it seems to be purposeful and advisable to apply some geophysical methods that are reasonably cheap in comparison with others. The method of electrical resistivity tomography, which in this research uses two of many measurement

protocols such as Schlumberger array and dipole-dipole array, is particularly useful. Computer interpretation of geophysical results allows a high resolution 2D and 3D geoelectrical model of rock mass to be created. The study was carried out using the multi-electrode Lund Imaging System manufactured by ABEM, Sweden. In order to evaluate the practical application of this method, Zawiercie Zn-Pb ore deposits were chosen as the area used in previous scientific research. Taking into account mineralization in its economic aspect, the deposits occur at relatively shallow depths of 50–120 m. In the investigated region, the Triassic carbonate formation overlays the Devonian rocks. The Keuper low-resistance clay, occurring on the surface, provides a very good electrical contact between an electrode and the soil. This is why there are favourable measurement conditions in this area. The boundaries between the Keuper, Devonian and Triassic formations are clearly noticeable in the resistivity cross-sections obtained. On the basis of the ERT results, it is possible to locate faulting zones as well as karst systems. One of the profiles clearly shows the occurrence of a low-resistance anomaly correlated with Zn-Pb mineralization, which was confirmed by borehole surveys. However, this early stage of the research with the use of the ERT method cannot unequivocally identify the ore body, particularly as it was conditioned by the limited depth of prospecting.

Key words: electrical resistivity tomography, geophysical survey, Zawiercie Zn-Pb ore deposits, Poland

Badania geofizyczne dostarczają istotnych informacji o budowie geologicznej. Szczególnie pomocne w interpretacji danych z otworów wiertniczych są badania geofizyczne 2D i 3D. Zastosowanie nowoczesnej, wysokorozdzielczej aparatury do badań geoelektrycznych i elektromagnetycznych oraz komputerowych metod interpretacji danych umożliwia precyzyjne rozpoznanie niektórych cech fizycznych górotworu. Koszty prac geofizycznych są niskie, a wyniki uzyskuje się szybko — po wykonaniu odpowiednich procedur interpretacyjnych. Decyzje o lokalizacji otworów badawczych, szybów kopalnianych oraz ujęć wody powinny uwzględniać rezultaty tych prac.

Elektrooporowe metody pomiarowe są stosowane do wykrywania złóż rud metali (Represas i in., 2005), struktur tektonicznych i rozróżniania warstw skalnych (Olayinka & Yaramanci, 2000; Baines i in., 2002; Beresnev i in., 2002). Wysoka rozdzielczość nowoczesnej aparatury do badań geoelektrycznych pozwala także na zastosowanie tych metod do identyfikowania skażeń środowiska (Loke, 1999).

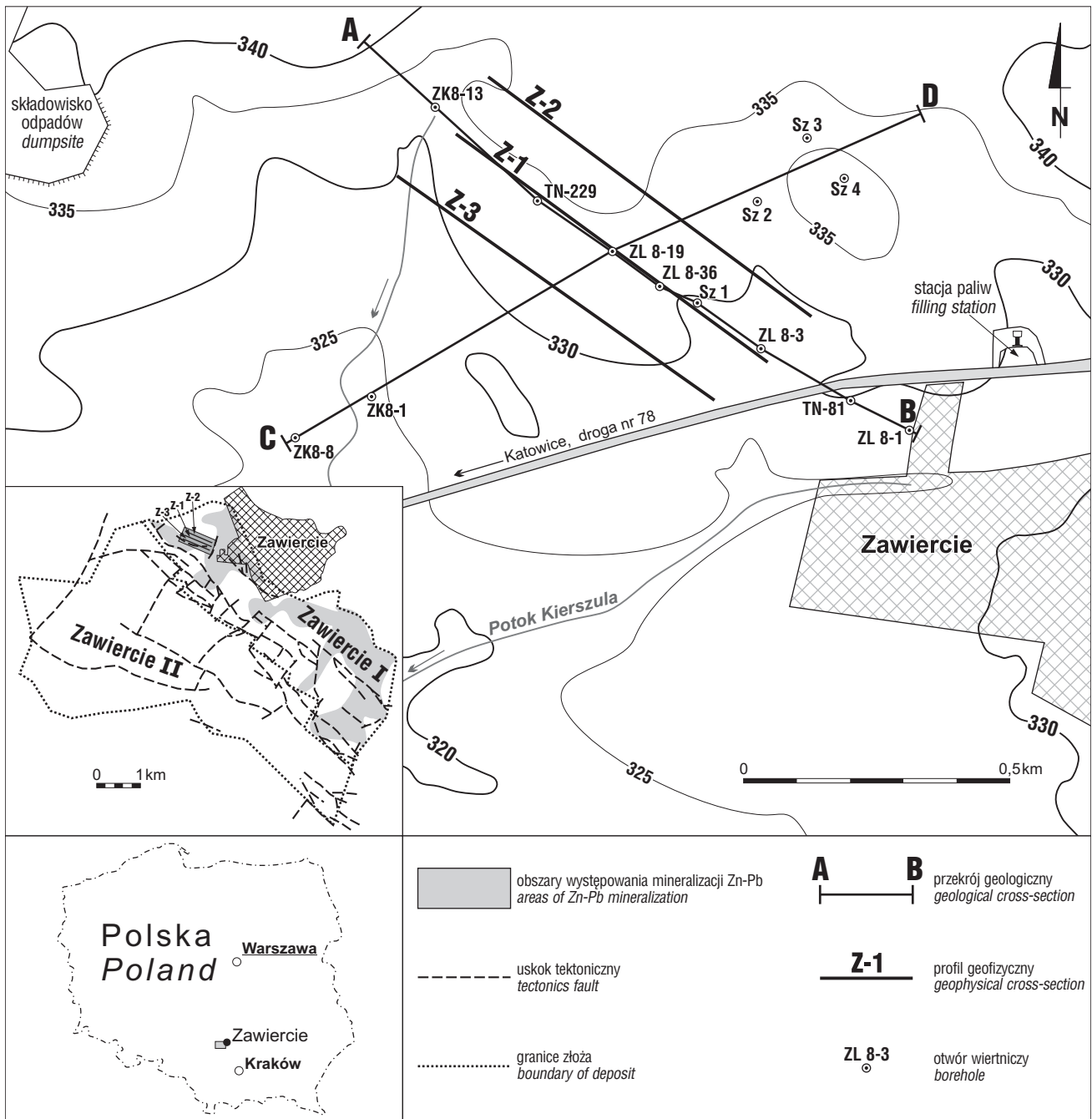
Ważnych informacji o zróżnicowaniu cech fizycznych górotworu dostarczają badania oparte na metodach inwersyjnego obrazowania oporu (IOO). Badania IOO mogą być użyteczne w rozpoznawaniu cech górotworu w obszarach

płytkiego zalegania stektonizowanych i skrasowiałych skał triasu i dewonu. Szczególnie precyzyjna interpretacja budowy geologicznej powinna zostać wykonana w rejonach występowania złóż rud metali i surowców mineralnych. W rejonie śląsko-krakowskim takim miejscem są obszary płytkiego zalegania złóż rud Zn-Pb.

Duża zmienność mineralizacji i skomplikowana budowa tektoniczna powodują, że nawet gęsta sieć otworów poszukiwawczych nie jest wystarczająca, żeby prawidłowo zinterpretować budowę geologiczną i ocenić wartość złoża. Wyczerpujące się zasoby udostępnionych górniczo rud Zn-Pb oraz wysokie ceny metali skłaniają do analizowania budowy geologicznej w nowych, dotychczas nie-eksploatowanych obszarach złożowych. Wobec braku środków na wiercenia badania geologiczne ograniczają się często do reinterpretacji danych archiwalnych. Szczególnie interesujące pod tym względem są obszary złóż rud Zn-Pb: Zawiercie I, Klucze (zrąb Białej), Gołuchowice i Krzykawa.

Pierwszy etap rozpoznania geofizycznego polegał na weryfikacji wyników badań IOO poprzez ich korelację z danymi geologicznymi uzyskanymi z prac wiertniczych. Prace zostały przeprowadzone w obszarze udokumentowanego złoża rud Zn-Pb, które jest bardzo dobrze poznane dzięki otworom wiertniczym. Profile geofizyczne wyznaczono w rejonie płytkiego występowania utworów dewonu w zachodniej części złoża Zawiercie I (Jochymczyk i in., 2006) — ryc. 1. Celem wykonanych prac było przetestowanie metod inwersyjnego obrazowania oporu jako na-

*Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200, Sosnowiec; cabala@us.edu.pl, jochym@wnoz.us.edu.pl, aporeba@wnoz.us.edu.pl



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań w rejonie złoża Zawiercie I
 Fig. 1. Location area of investigation in Zawiercie I ore deposits

rzędzia służącego lepszej interpretacji danych uzyskanych z otworów wiertniczych.

Zastosowanie metod geoelektrycznych

Metody geoelektryczne są wykorzystywane do rozpoznania budowy geologicznej w obszarach złożowych (Represas i in., 2005). Zaletą tych metod jest możliwość uzyskania przestrzennego obrazu budowy geologicznej oraz nieinwazyjność badań. Suzuki i in. (2000) wykorzystali obrazowanie oporu do lokalizacji aktywnych uskoków znajdujących się pod grubym nadkładem skał czwartorzędowych. Zastosowanie zaawansowanych algorytmów inwersyjnych pozwala na zobrazowanie w przekrojach geoelektrycznych stref uskokowych (Olayinka &

Yaramanci, 2000). Porównanie danych geologicznych i geoelektrycznych wykazało przydatność obrazowania oporu do rozpoznania struktur geologicznych w takich strefach.

Metody geoelektryczne można również wykorzystać do rozdzielania warstw stratygraficznych różniących się oporem właściwym. Baines i in. (2002) oraz Beresnev i in. (2002) zastosowali obrazowanie oporu do określenia położenia płytko zalegających złóż piasku i żwiru, charakteryzujących się zarówno niskim, jak i wysokim oporem w stosunku do otaczających skał. Wykazali także możliwość wykrycia metodami geoelektrycznymi wysokooporowych złóż występujących w niskooporowym otoczeniu. Batayneh (2001) porównał wyniki obrazowania oporu z badań

wykonywanych za pomocą różnych układów pomiarowych i rozstawów elektrod. Zróżnicowanie odległości między elektrodami pozwala na dokładniejsze określenie zasięgu występowania siarczkowych żył rudnych. Najlepsze wyniki identyfikacji mineralizacji kruszcowej uzyskano, gdy użyto układu pomiarowego Schlumbergera (*Half Schlumberger*). Układ pomiarowy Wennera pozwolił jedynie na wstępne rozpoznanie ciał rudnych oraz wyznaczenie ich przybliżonych konturów (Batayneh, 2001). W Polsce nie stosowano do tej pory inwersyjnego obrazowania oporu do poznania budowy geologicznej w obszarach występowania złóż Zn-Pb.

Metody i rejon badań

Prace geologiczne. Rozpoznanie geologiczne obszaru złoża rud Zn-Pb Zawiercie I i II zostało wykonane na podstawie danych z otworów wiertniczych wykonanych w kilku okresach dokumentowania złoża (lata 1956–1989). Pierwszy etap prac prowadzonych przez Państwowy Instytut Geologiczny zakończył się w 1968 r. sporządzeniem dokumentacji geologicznej w kategorii C₂. Dalsze prace prowadziło Przedsiębiorstwo Geologiczne w Krakowie. W 1975 r. opracowano dokumentację złoża w kategorii C₁. W latach osiemdziesiątych dodatkowo odwiercono 107 otworów w sieci (100–150 m i 200–240 m) pozwalającej na znacznie lepszą penetrację złoża. Wielkość zasobów i jakość rud uzasadniały rozpoczęcie wstępnych prac nad zaprojektowaniem kopalni. W latach osiemdziesiątych w Przedsiębiorstwie Poszukiwań Geofizycznych podjęto próby zbadania ciał rudnych metodami geoelektrycznymi (polaryzacji wzbudzonej). Po roku 1989 w obszarze złoża nie prowadzono wiertniczych prac rozpoznawczych. Podsumowanie wyników prac wiertniczych i badań laboratoryjnych przedstawiono w opracowaniu z 1994 r. wykonanym przez Przedsiębiorstwo Geologiczne w Krakowie (Kurek, 1994).

Prace geofizyczne. Geofizyczne profile pomiarowe zostały zlokalizowane w zachodniej części złoża Zawiercie I (ryc. 1). Badania IOO wykonano w 3 równoległych profilach pomiarowych długości 600 m (ryc. 1). Odległość między profilami wynosiła 100 m. W badaniach wykorzystano aparaturę wieloelektrodową *LUND Imaging System* z miernikiem *SAS-4000* oraz selektorem *ES464* szwedzkiej firmy *ABEM*. System umożliwia szybkie i wysokorozdzielcze rozpoznanie geoelektryczne górotworu.

Układ pomiarowy każdego profilu składał się z 61 elektrod rozstawionych w profilu pomiarowym w dziesięciometrowych odstępach. Wykorzystano protokoły pomiarowe w układach Schlumbergera, Wennera i dipol-dipol. Dane pomiarowe przetwarzano za pomocą programu *Res2Dinv*, korzystającego z zaawansowanych algorytmów inwersyjnych. Inwersja 2D odbywa się poprzez rozwiązanie zadania prostego dla przyjętego modelu opornościowego ośrodka. Dopasowanie do modelu początkowego uzyskuje się w procesie *n*-iteracji. W rejonie złoża Zn-Pb Zawiercie I odpowiedni model ośrodka wyznaczono po czterech albo pięciu iteracjach. Algorytm rozwiązania wykorzystywał inwersję w opcji *robust*, umożliwiającą wyznaczenie wyraźnych granic mierzonych parametrów.

Płytkie zaleganie niskooporowych, ilastych utworów kajpru stwarza wyjątkowo korzystne warunki pomiarowe, pozwalające na uzyskanie prądu w przedziale od 100 do 500 mA, nawet przy dużych rozstawach elektrod.

Prace geodezyjne. Lokalizacja profili geofizycznych została wykonana metodami GPS odbiornikiem *Gpsmap 60 CS*. W celu lokalizacji otworów wiertniczych wykonano transformację współrzędnych otworów z układu „1965” na układ WGS 84. Pomiary terenowe GPS pozwoliły na precyzyjne wyznaczenie linii profili geofizycznych pokrywających się z otworami wiertniczymi.

Geologia rejonu badań

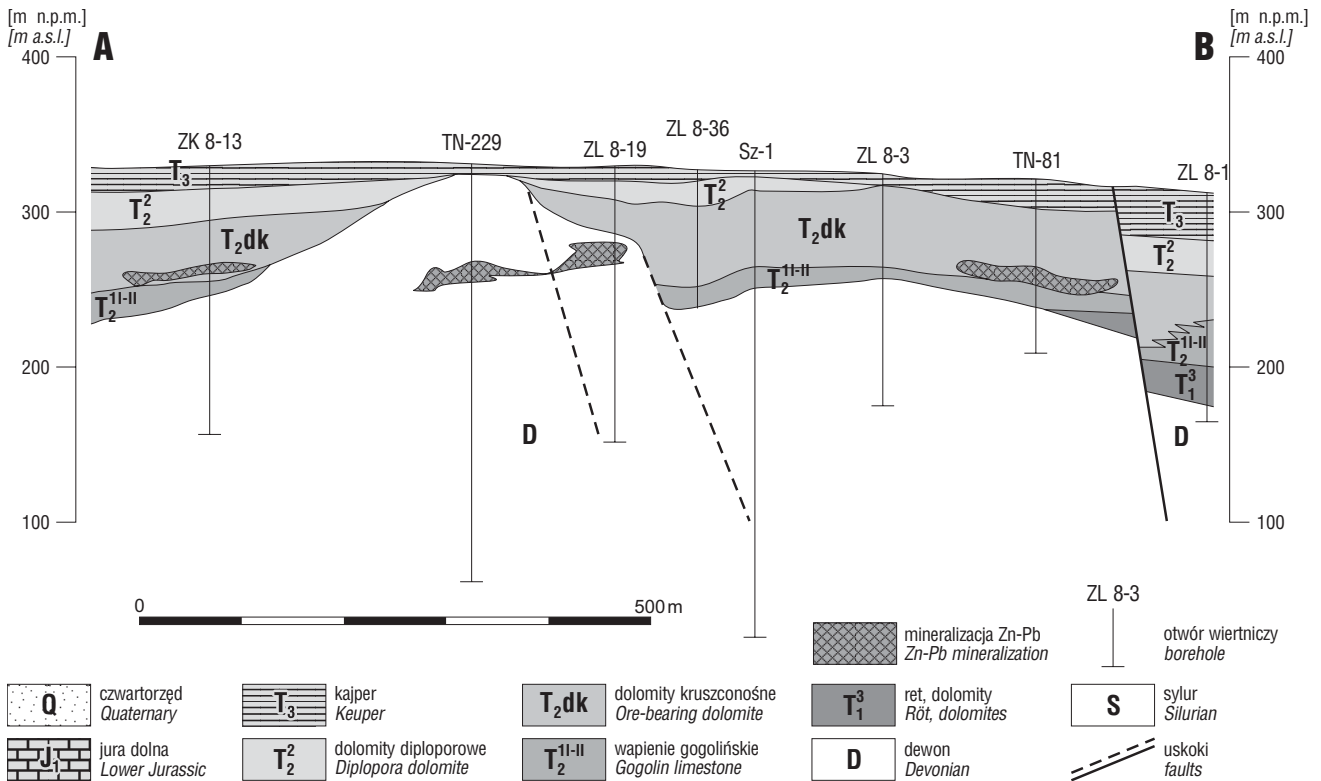
Obszar złoża Zawiercie leży w sąsiedztwie strefy rozłamowej Kraków-Lubliniec (KLFZ) rozwiniętej na kontakcie bloku górnośląskiego i małopolskiego (Żaba, 1996; Buła i in., 1997). Długi okres aktywności tektonicznej we wspomnianej strefie decydował o geometrii i rozwoju sieci uskokuwej w obszarze obejmującym złożę Zawiercie (Cabała & Teper, 1990; Żaba, 1996; Cabała, 2002). Późnokarbońska aktywność KLFZ zaznaczyła się dodatnimi ruchami pionowymi w strefie brzeżnej bloku górnośląskiego (Żaba, 1996; Cabała, 1996). W paleoreliefie triasu uwydatniły się elewacje zbudowane z utworów dewonu i syluru. W epikontynentalnym zbiorniku na skłonach dewońskich wyniesień zostały zdeponowane osady węglanowe triasu. Późnomezozoiczna aktywność tektoniczna KLFZ zapisała się systemem uskokuw normalnych i odwróconych oraz strukturami typu rowów, zrębów i półzrębów.

W budowie geologicznej obszaru złożowego można wyróżnić trzy piętra strukturalne. Najstarsze piętro jest zbudowane z mocno sfałdowanych i zaburzonych tektonicznie skał staropaleozoicznych poprzecinanych kwaśnymi intruzjami. W rejonie złoża Zawiercie to piętro wyznaczają utwory ordowiku i syluru. Do ordowiku zostały zaliczone zmetamorfizowane kontaktowo skały węglanowe oraz metamułowce. Do syluru są zaliczane płytko występujące, słabo zmetamorfizowane mułowce, ilowce i piaskowce.

Piętro młodopaleozoiczne tworzą słabo zaburzone utwory dewonu i karbonu. Piaskowcowe i zlepieńcowate osady dewonu dolnego niezgodnie zalegają na starszym podłożu. Wyższe ogniwa dewonu są zbudowane z wapieni i dolomitów. W obszarach elewacji dewon często jest reprezentowany przez dolomity krystaliczne, zbite, spękane i kawerniste, niekiedy okruszcowane. Przypominają one epigenetyczne, triasowe dolomity kruszczośne. Utwory te są mocno zmienione w wyniku rozwoju tektoniki oraz procesów wietrzenia i krasowienia (Cabała, 2002). Kawermy krasowe mają rozmiary do kilku metrów, występują w interwałach objętych wtórną dolomityzacją. Paleosystemy krasowe są wypełnione przez okruszcowane siarczkami brekcje zawałowe (Cabała, 1990).

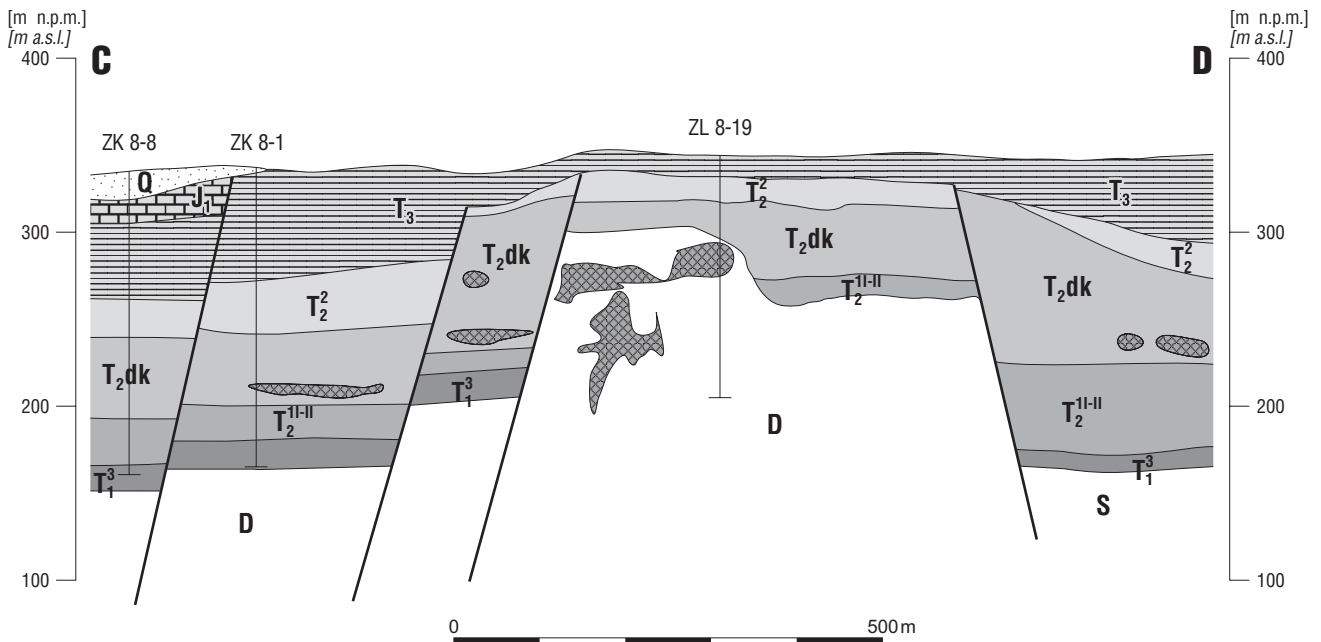
Karbon dolny wykształcony w facjach węglanowych został stwierdzony w rdzeniach wiertniczych w południowej części złoża.

Piętro permo-mezozoiczne jest zbudowane z lądowych zlepieńców dolnego permu, morskich osadów triasu oraz lądowych utworów jury dolnej. W obszarze złoża rozprze-



Ryc. 2. Przekrój geologiczny A-B w obszarze złoża Zawiercie I (lokalizacja ryc. 1)

Fig. 2. Geological cross-section A-B in the Zawiercie I ore deposits (for location see Fig. 1)

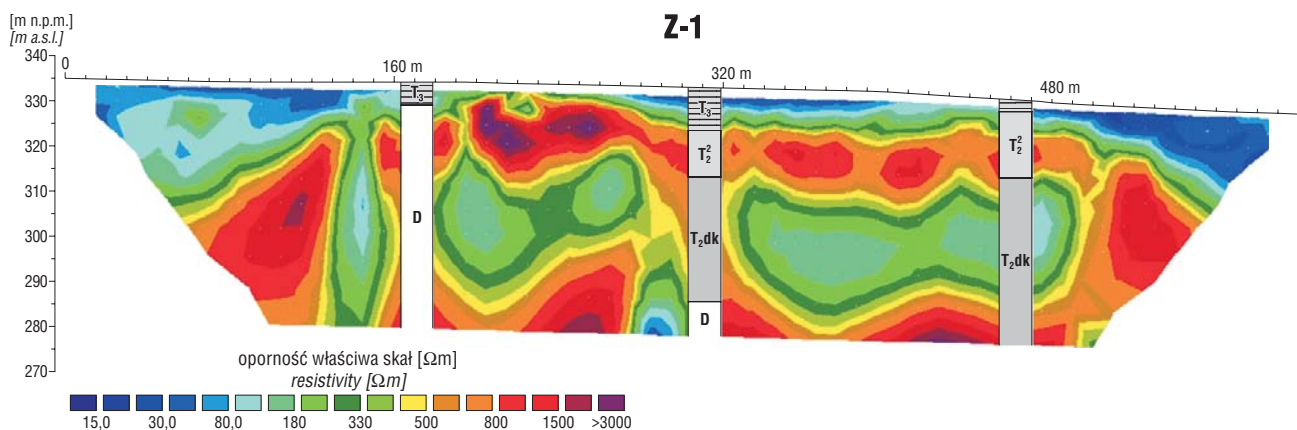


Ryc. 3. Przekrój geologiczny C-D w obszarze złoża Zawiercie I (lokalizacja na ryc. 1, objaśnienia na ryc. 2)

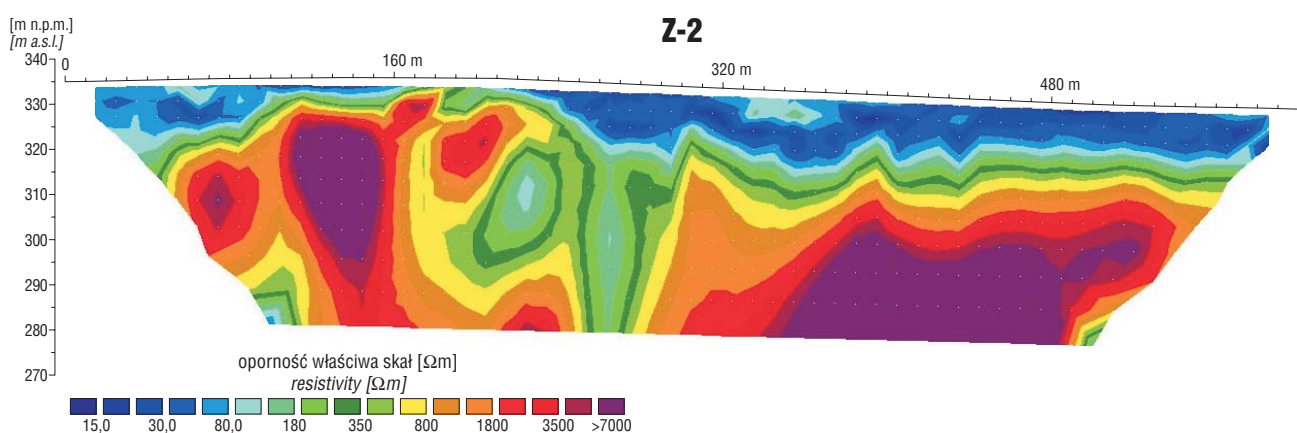
Fig. 3. Geological cross-section C-D in the Zawiercie I ore deposits (for location see Fig. 1, explanation in Fig. 2)

strzenie utworów permu jest niewielkie, lokalnie wypełniają one zagłębienia w paleozoicznym podłożu. Na urozmaiconej, erozyjnej powierzchni paleozoiku zalegają platformowe osady triasu. W obszarach wyniesień paleozoicznych są to epigenetyczne dolomity kruszczońskie, dolomity diploporowe i ilaste osady kajpru (ryc. 2). W obniżeniach tektonicznych sekwencja osadów triasu jest pełniejsza (ryc. 3).

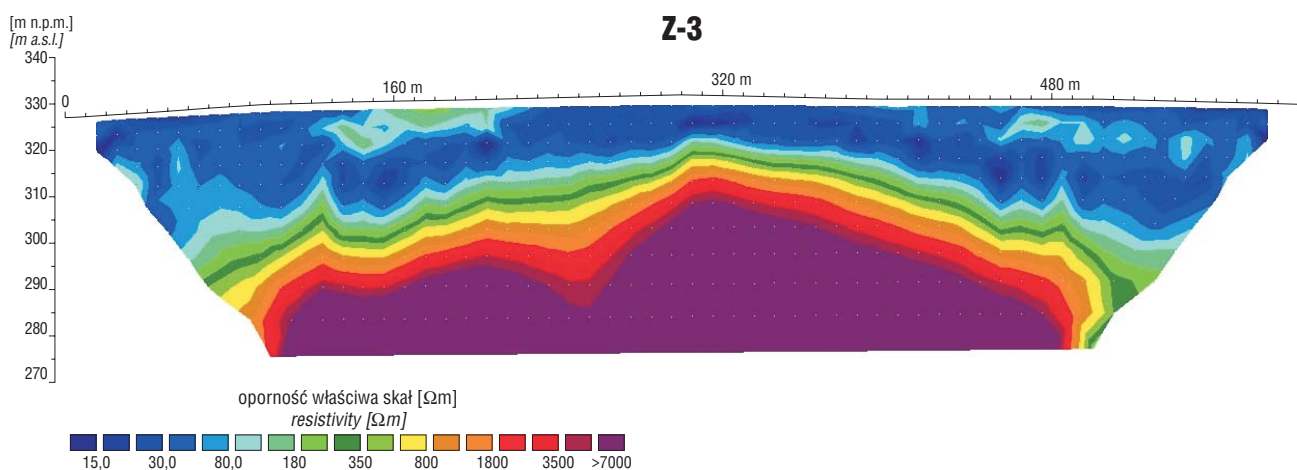
W spągu triasu występują kilkumetrowej miąższości piaskowce i ilowce, które na podstawie cech litologicznych można zaliczyć do pstręgo piaskowca. Najlepiej udokumentowana jest pozycja stratygraficzna dolomityczno-marglistych, morskich utworów retu (Wyczółkowski, 1978). Ich miąższość waha się od 30 do 50 m (Cabała, 1990). Pierwotnie wapień muszlowy był zbudowany z utworów wapienno-marglistych o miąższości do 100 m. Dol-



Ryc. 4. Przekrój geoelektryczny Z-1 w obszarze złoża Zawiercie I (lokalizacja na ryc. 1, objaśnienia na ryc. 2)
Fig. 4. Geoelectrical cross-section Z-1 in the Zawiercie I ore deposits (for location see Fig. 1, explanation in Fig. 2)



Ryc. 5. Przekrój geoelektryczny Z-2 w obszarze złoża Zawiercie I (lokalizacja na ryc. 1)
Fig. 5. Geoelectrical cross-section Z-2 in the Zawiercie I ore deposits (for location see Fig. 1)



Rys. 6. Przekrój geoelektryczny Z-3 w obszarze złoża Zawiercie I (lokalizacja na ryc. 1)
Fig. 6. Geoelectrical cross-section Z-3 in the Zawiercie I ore deposits (for location see Fig. 1)

na część to wapienie gogolińskie, wyżej leżą wapienie warstw karchowickich, terebratulowych i górażdzańskich (Aleksandrowicz, 1972; Wyczółkowski, 1978). Znaczna część wapiennych utworów środkowego triasu została zastąpiona przez epigenetyczne dolomity kruszczońskie w wyniku rozwoju procesów dolomityzacji.

Środkowa część wapienia muszlowego jest wykształcona jako dolomity dipoporowe. W górnej części środkowego triasu lokalnie zachowały się dolomityczne warstwy tarnowickie. Na erozyjnej powierzchni triasu oraz dewonu niezgodnie zalegają ilaste osady kajpru. W rowach tektonicznych kajper osiąga do 100 m miąższości, natomiast

w obszarach zrębów, obejmujących także dewońskie elewacje, jego miąższość jest zredukowana do kilku metrów.

Najmłodszymi utworami mezozoicznymi w obszarze złoża są piaszczysto-ilaste osady jury dolnej, które występują w obniżeniach tektonicznych i leżą niezgodnie na różnych ogniwach górnego triasu. Utwory czwartorzędu wypełniają dolinki rzeczne oraz obniżenia terenu. Są to aluwialne lub deluwialne osady ilaste i piaszczyste.

Złoże rud Zn-Pb Zawiercie

Złoże Zawiercie I podobnie jak inne złoża w obszarze śląsko-krakowskim jest zaliczane do typu *Mississippi Valley* (MVT) (Kurek, 1993; Szuwarzyński, 1996; Heijlen i in., 2003). Geologiczno-górnice warunki występowania złóż rud Zn-Pb w rejonie Zawiercia są słabo poznane, ponieważ nie prowadzono eksploatacji w tym rejonie. Mineralizacja występuje nie tylko w triasie, okruszcowanie jest związane także z utworami dewonu (ryc. 2 i 3). Mineralizację w dewonie stwierdzano w otworach wiertniczych zlokalizowanych między Olkuszem, Siewierzem i Zawierciem (Śliwiński, 1964; Kurek, 1988).

W złożach śląsko-krakowskich przeważająca część mineralizacji bilansowej występuje w triasie. Stopień rozpoznania mineralizacji MVT w paleozoiku jest znacznie słabszy niż w pokrywowych utworach mezozoicznych. W początkowych okresach dokumentowania złóż nie uwzględniano możliwości występowania mineralizacji w dewonie, dlatego po przewierceniu triasu najczęściej nie kontynuowano rozpoznania. Dotychczas nie prowadzono eksploatacji złoża Zn-Pb w górotworze dewońskim. Z tego względu trudne jest określenie warunków górniczych i wartości przemysłowej gniazd rud występujących w dewonie. Okruszcowane utwory dewońskie zalegają płytko, na podobnych poziomach hipsograficznych jak utwory triasu (ryc. 2). Ciała rudne najczęściej lokują się w przypowierzchniowych strefach elewacji dewońskich (Kurek, 1988), mają skomplikowaną geometrię, często ich rozmiały pionowe są większe niż poziome. Nie mają typowej budowy złóż śląsko-krakowskich (Kurek, 1993). Widoczny jest ich związek ze strefami epigenetycznej dolomityzacji rozwiniętymi wzdłuż systemów krasowych, stref tektonicznych i makroporowatych.

Jakość rud występujących w złożu Zawiercie I jest często lepsza niż w obecnie eksploatowanych złożach Pomorzany i Trzebieńka. Średnie zawartości cynku w bilansowych rudach wynoszą ok. 6%, ołowiu ok. 2,5%, a zawartości żelaza są niskie — ok. 2,7%. Ciała rudne osiągają miąższości do 13 m, średnio ok. 4 m (Kurek, 1994). Udział minerałów siarczkowych Zn-Pb-Fe w rudzie jest znaczny i średnio wynosi 15,8% wagowych, a minerałów utlenionych 3,92% (Cabała, 2000).

Wyniki badań geofizycznych

Opór elektryczny skał zmienia się w bardzo szerokich granicach i zależy od wielu czynników, z których najważniejsze to: skład mineralny skał, obecność przestrzeni porowych oraz ich wypełnienie. Zmiany oporu skał określone w profilach 2D zostały skorelowane z danymi geologicznymi zamieszczonymi w profilach otworów wiertniczych (ryc. 4).

Dla każdego profilu geofizycznego wykonano dwa przekroje geoelektryczne — dla układu Schlumbergera oraz dipolowego. Układ dipolowy jest bardziej czuły na zmiany oporu w kierunku horyzontalnym (Rudzki, 2002). Interpretację wyników oparto głównie na badaniach w układzie dipolowym. Przekroje geoelektryczne Z-1, Z-2, Z-3 (ryc. 4, 5, 6) przedstawiają rozkład oporu w rejonie wypiętrzonych utworów dewonu. Wartości oporu właściwego skał wahają się w granicach od kilkunastu do kilku tysięcy omometrów.

Rozkład wartości oporu skał zobrazowany na profilu Z-1 (ryc. 4) i Z-2 (ryc. 5) nie wskazuje na istnienie wyraźnej budowy warstwowej. Jedynie ilaste utwory kajpru oraz rezydualne zwietrzliny wapieni dewońskich mają opór niższy od 80 Ω m i wykazują warstwowe ułożenie. Niskooporowa warstwa związana z utworami ilastymi ma miąższość 2–5 m w obszarach elewacji dewońskich i ponad 20 m na ich skłonie.

Na przekrojach bardzo wyraźnie zaznacza się relief wapienno-dolomitycznych elewacji dewońskich, wartości oporu przekraczają 300 Ω m. W obrębie węglanowych utworów dewonu i triasu występują horyzontalnie ułożone strefy nisko- i wysokooporowe, których obecność może być związana ze zróżnicowanym zawodnieniem spękanego i skawernowanego ośrodka skalnego. Strefy te w zależności od zawodnienia mogą być wysoko- bądź niskooporowe w stosunku do tła. Na 150 metrze profilu Z-1 oraz 270 metrze profilu Z-2 dobrze widoczne są prawie pionowe, niskooporowe strefy rozdzielające bloki wysokooporowe (ryc. 4 i 5). Z rozpoznania geologicznego wynika, że obraz ten jest skutkiem istnienia zawodnionych stref uskokowych. Na 290 metrze profilu Z-1 (ryc. 4) od głębokości ok. 50 m wyraźnie zaznacza się strefa niskooporowa. Jej występowanie może być związane z bilansową mineralizacją siarczkową udokumentowaną w otworze wiertniczym ZL 8-19 (ryc. 3).

Inny model geoelektryczny uzyskano w profilu Z-3 (ryc. 6). Widać w nim czytelną strefowość pionową, co znajduje uzasadnienie w budowie geologicznej. Profil ten został wykonany w skrzydle zrzuconym uskoku obcinającego dewońskie wypiętrzenie (ryc. 1). Rozkład oporności wskazuje, że miąższość utworów ilastych kajpru przekracza 20 m i rośnie na skłonie elewacji. Strefa wysokooporowa (ryc. 6) jest związana ze skałami węglanowymi o stosunkowo jednorodnej budowie. Utwory występujące w skrzydle zrzuconym uskoku są słabiej spękanie i skawernowane. Izolacja od powierzchni przez nieprzepuszczalne utwory ilaste zmniejsza stopień zawodnienia ośrodka skalnego, co wpływa na zwiększenie oporu.

Wnioski

W zastosowanych warunkach pomiarowych uzyskano prospekcję pomiarów geofizycznych do głębokości 50 m. Płytkie zaleganie węglanowych utworów dewonu i triasu oraz mały opór warstw przypowierzchniowych pozwoliły na uzyskanie wiarygodnych wyników. Geoelektryczny model ośrodka skalnego jest zgodny z budową geologiczną zinterpretowaną na podstawie danych z otworów wiertniczych. Wyniki badań w układzie Schlumbergera oraz dipolowym są do siebie bardzo zbliżone. Na obrazach oporu właściwego szczególnie dobrze jest widoczna granica

pomiędzy ilastymi osadami kajpru oraz dolomitami dewońskimi i triasowymi. W triasowym i dewońskim górotworze trudno wydzielić pakiety skał o zbliżonej oporności, które mogłyby odpowiadać określonym jednostkom litostratigraficznym. Skały triasu i dewonu wykształcone jako różne typy dolomitów i wapieni z mineralizacją siarczkową mają podobny opór właściwy, a na lokalne zmiany tego parametru duży wpływ mają: porowatość, szczelino-watość, stopień wypełnienia porów wodą oraz skład mineralny. Na przekrojach elektrooporowych wyróżniają się miejsca, które mogą być interpretowane jako strefy uskokowe lub pogrzebane systemy krasowe. Zaburzona przez tektonikę, kras i erozję budowa geologiczna znajduje odzwierciedlenie w skomplikowanym rozkładzie oporności (ryc. 4 i 5). Brak uskoku i horyzontalny układ warstw zostały potwierdzone przez warstwowy rozkład wielkości oporu skał (ryc. 6).

Wyraźna anomalia niskooporowa widoczna w dolnej części profilu Z-1 może być związana z mineralizacją siarczkową, udokumentowaną w otworze ZL 8-19. Głębokość i morfologia stropu dewonu oraz występowanie stref uskokowych mogą być bardzo dokładnie określone na podstawie wyników badań geofizycznych skorelowanych z danymi geologicznymi. Analiza przekrojów geofizycznych, a w szczególności ich szersza interpretacja w obrazach 3D, pozwoli na uzyskanie wielu dodatkowych informacji, które zwiększą stopień geologicznego rozpoznania górotworu. Już na podstawie wstępnych badań inwersyjnego obrazowania oporu jest możliwe określenie kątów nachylenia uskoku, szerokości stref uskokowych oraz miąższości pokryw zwietrzelinowych.

Stwierdzenie występowania niskooporowych anomalii korelujących się z bilansowymi ciałami rudnymi uzasadnia celowość prowadzenia dalszych badań geofizycznych nad płytko zalegającymi złożami rud Zn-Pb. Zastosowanie dłuższych profili pomiarowych w następnych etapach badań zwiększy głębokość prospekcji geofizycznej, co powinno umożliwić zlokalizowanie płytko zalegających gniazd rud Zn-Pb. Projektowane są profile prostopadłe do głównej strefy uskoku dzielącej obszar złoża Zawiercie I i II (ryc. 1) oraz badania z wykorzystaniem metod polaryzacji wzbudzonej. Zadaniem planowanych badań jest przetestowanie metod geoelektrycznych jako narzędzia wstępnego rozpoznania płytko zalegających ciał rudnych, określenia przebiegu stref uskoku oraz morfologii stropu utworów paleozoicznych.

Literatura

ALEKSANDROWICZ S.W. 1972 — Stratygrafia dolomitów kruszczo-nośnych w okolicy Zawiercia. *Rudy Metale*, 17, 2: 58–60.
 BAINES D., SMITH D.G., FROESE D.G., BAUMAN P. & NIMECK G. 2002 — Electrical resistivity ground imaging (ERGI): a new tool for mapping the lithology and geometry of channel-belts and valley-fills. *Sedimentology*, 49: 441–449.
 BATAYNEH A.T. 2001 — Resistivity imaging for near-surface resistive dyke using two dimensional DC resistivity techniques. *J. Appl. Geophys.*, 48: 25–32.

BERESNEV I.A., HRUBY C.E. & DAVIS C.A. 2002 — The use of multi-electrode resistivity imaging in gravel prospecting. *J. Appl. Geophys.*, 49: 245–254.
 BUŁA 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.
 CABALA J. 1990 — Występowanie okruszczenia Zn-Pb w rejonie wypiętrzonych utworów paleozoicznych na SW od Zawiercia. *Zesz. Nauk. PŚI*, 190: 211–224.
 CABALA J. 1996 — Active mode of tectonic deformation of Silesian-Cracovian Zn-Pb ore mine area. *Tectonophisic of Mining Areas. Pr. Nauk. UŚI*, 1602: 65–78.
 CABALA J. 2000 — Jakość oraz wtórne zmiany chemizmu rud Zn-Pb w olkuskim rejonie złożowym. *Gosp. Sur. Miner.*, t. 6 (1): 117–141.
 CABALA J. 2002 — Geological structure and physical features of rock mass in Zawiercie Zn-Pb ore region. *Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sc.*, M 24 (340): 195–203.
 CABALA J. & TEPPER L. 1990 — Testowanie przesuwczego charakteru NE granicy GZW na podstawie badań strukturalnych w rejonie Zawiercia. [W:] III Konferencja nt. Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego. GIG, Katowice: 96–108.
 HEIJLEN W., MUCHEZ P.H., BANKS D.A., 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. *Econ. Geol.*, 98: 911–932.
 JOCHYM CZYK K., CABALA J. & POREBA A. 2006 — Application of resistivity imaging to recognition of geological structure in the area of shallow Zn-Pb ore bodies. *Acta Geodyn. Geometr.*, 3 (143): 131–138.
 KUREK S. 1988 — Prawidłowości występowania mineralizacji Zn-Pb w utworach młodszego paleozoiku NE obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Prz. Geol.*, 7: 396–400.
 KUREK S. 1993 — Problems of modeling of Zn-Pb ores of the Mississippi Valley-type in the sediments of Younger Paleozoic. *Kwart. Geol.*, 37: 147–155.
 KUREK S. (red.) 1994 — Dodatek nr 4 do dokumentacji geologicznej złoża rud Zn-Pb Zawiercie. Obszar Zawiercie Wschód w kat. C-1. (niepubl.). MOŚNIŁ, Przedsiębiorstwo Geologiczne SA, Kraków.
 LOKE M.H. 1999 — Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys. www.geoelectrical.com.
 OLAYINKA A.I. & YARAMANCI U. 2000 — Use of block inversion in the 2-D interpretation of apparent resistivity data and its comparison with smooth inversion. *J. Appl. Geophys.*, 45: 63–81.
 REPRESAS P., MONTEIRO SANTOS F., MATEUS A., FIGUEIRAS J., BARROSO M., MARTINS R., NOLASCO DA SILVA M., OLIVEIRA V. & MATOS J.X. 2005 — A case study of two and three-dimensional inversion of dipole-dipole data: the Enfermarias Zn-Pb (Ag, Sb, Au) prospect (Moura, Portugal). *Near Surface Geophysics*, 3(1): 21–31.
 RUDZKI M. 2002 — Zastosowanie metody tomografii elektrooporowej do wykrywania podziemnych obiektów antropogenicznych. *Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sc.*, M 25: 195–210.
 SUZUKI K., TODA S., KUSUNOKI K., FUJIMITSU J., MOGI T. & JOMORI A. 2000 — Case studies of electrical and electromagnetic methods to mapping active faults beneath the thick quaternary. *Eng. Geol.*, 56: 29–45.
 SZUWARZYŃSKI M. 1996 — Ore bodies in the Silesia-Cracow Zn-Pb ore district, Poland. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 154: 9–24.
 ŚLIWIŃSKI S. 1964 — Przejawy mineralizacji kruszcowej w utworach dewońskich i triasowych obszaru siewierskiego. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 34, 1-2: 151–190.
 WYCZÓŁKOWSKI J. 1978 — Osady triasu dolnego i środkowego. [W:] Pawłowska J. (red.) Poszukiwanie rud cynku i ołowiu na obszarze śląsko-krakowskim. *Pr. Inst. Geol.*, 83: 79–104.
 ŻABA J. 1996 — Późnokarbońska aktywność przesuwcza strefy granicznej bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Prz. Geol.*, 2: 173–180.

Praca wpłynęła do redakcji 13.4.2007 r.
 Akceptacja do druku 17.7.2007 r.