



Lokalizacja stref uskokowych metodą konduktometryczną na terenie GZW

Location of fault zones using ground conductivity method (GCM) in the Upper Silesia Coal Basin

Mgr Sławomir Siwek*)

Treść: Metoda konduktometryczna (GCM) w postaci wielopoziomowego profilowania przy zmiennym ustawieniu dipola anten jest często wykorzystywaną metodą geofizyczną w lokalizacji stref dyslokacji tektonicznych. W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w warunkach przeobrażonego działalnością człowieka górotworu na terenach północnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Miały one na celu rozpoznanie charakterystyki wybranych stref dyslokacji tektonicznych w przypowierzchniowej warstwie podłoża. Praca zawiera opis przeprowadzonych badań oraz analizę uzyskanych wyników w odniesieniu do danych geologiczno-górnictwowych.

Abstract: The ground conductivity method (GCM) in multilevel profile mode with changeable dipole mode is often used in the location of fault zones and examination of their structure. This paper presents the results of measurements carried out in test sites where natural geological conditions are transformed by exploitation (northern part of the Upper Silesia Coal Basin). The aim of the test measurements was to assess the possibilities of the method to identify such elements of fault zone structure as main fault plane and fault zone borders. This result was obtained only in one out of five cases tested.

Słowa kluczowe:

geofizyka stosowana, konduktometria, tektonika, obrazowanie geofizyczne

Key words:

applied geophysics, conductometry, tectonics, geophysical imaging

1. Wprowadzenie

Szczególnym rodzajem zagrożenia powierzchni na terenach objętych głęboką eksploatacją górnictwem są strefy wychodni uskoków na powierzchni. Strefy takie stanowią naturalne bariery ograniczające prowadzoną eksploatację, przez co na przestrzeni lat w ich miejscu dochodzi do nałożenia się wielu zjawisk i procesów mogących powodować reaktywację tych stref. Może się to objawiać przemieszczeniami pionowymi gruntu, powstawaniem szczelin i rozwarć na powierzchni terenu.

Tereny objęte wielowiekową eksploatacją górnictwem, do jakich możemy zaliczyć północną część GZW są bardzo trudnym ośrodkiem do prowadzenia prac geofizycznych. Poza wysoko rozwiniętą urbanizacją terenu, która często ogranicza możliwość optymalnego doboru metody geofizycznej do rozwiązywanego zadania geologicznego, na uzyskiwane rejestracje wpływa również silne przeobrażenie górotworu wskutek dokonanej eksploatacji węglowej i rudnej.

W pracy przedstawiono wyniki badań geofizycznych przeprowadzonych z wykorzystaniem metody konduktometrycznej (GCM) w wariantach profilowania wielopoziomowego z zastosowaniem pionowego VD (ang. *Vertical Dipole*) i poziomego HD (ang. *Horizontal Dipole*) dipola anten. Celem prowadzenia prac była precyzyjna lokalizacja stref dyslokacji

tektonicznych w rejonach ich wychodni na terenach północnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w warunkach obejmujących obecność różnorodnego nadkładu, zmiennym nachyleniu powierzchni uskokowych oraz różnych wysokościach zrzutu uskoków. Precyzyjne określenie lokalizacji polegało na wyznaczeniu granic strefy dyslokacyjnej oraz głównej powierzchni dyslokacji. W ramach realizacji pracy przebadano 6 stref uskokowych przebiegających w utworach karbońskich lub triasowych.

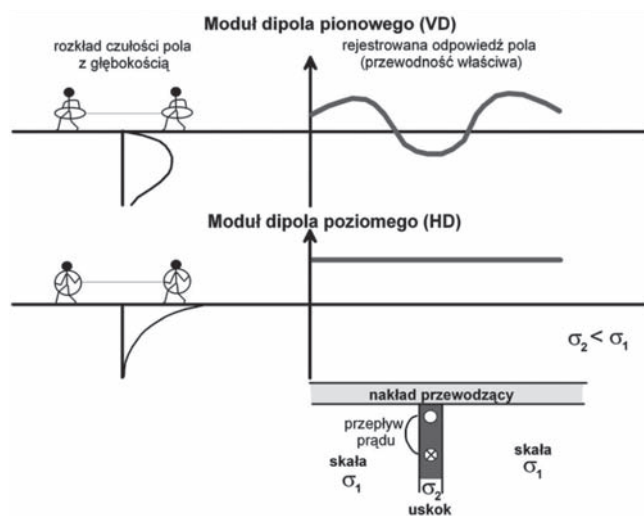
2. Podstawy fizyczne metody konduktometrycznej

Metoda konduktometryczna (GCM) wykorzystuje charakterystykę propagacji pola elektromagnetycznego w ośrodku geologicznym do określenia jego własności elektrycznych. Szczegółowe przedstawienie teorii metody jest przedmiotem wielu publikacji [4, 5, 6, 8], stąd poniżej zasadę działania metody opisano w dużym uproszczeniu.

W metodzie konduktometrycznej (GCM) układ pomiarowy złożony jest z przenośnych anten, nadawczej i odbiorczej, w kształcie cewek. Przepływ prądu elektrycznego o określonej częstotliwości w cewce nadawczej powoduje emisję do podłoża pola magnetycznego zgodnie z zasadą Lorentza (prostopadle do płaszczyzny cewki). Pole to wywołuje na obecnych w podłożu strukturach przewodzących powstanie prądów indukowanych, będących z kolei źródłem wtórnego pola magnetycznego rejestrowanego w cewce odbiorczej ukła-

*) Główny Instytut Górnictwa, Katowice

du pomiarowego. Wzajemna relacja pola wtórnego do pola pierwotnego pozwala na określenie parametru przewodności ośrodka geologicznego. Zasięg głębokościowy metody jest zależny od odległości pomiędzy antenami (nadawczą i odbiorczą) oraz częstotliwości emitowanego sygnału. Dipol pionowy (VD) oznacza poziome ułożenie cewek w trakcie pomiaru, a dipol poziomy (HD) ich pionowe ustawienie. Metoda profilowania konduktometrycznego jest bardzo czuła na zmiany przewodnictwa elektrycznego ośrodka geologicznego i daje odmienne odpowiedzi przy zmianie orientacji dipoli anten, co ilustruje rysunek nr 1.



Rys. 1. Odpowiedź dla metody przewodności gruntu (przewodność pozorna, σ_a) ponad uskokiem. Zasięg głębokości zmienia się z orientacją anten [3]

Fig. 1. Response of ground conductivity method over (apparent conductivity, σ_a) fault. The depth penetration changes along with coil orientation [3]

W przyjętym przez McNeilla modelu jednorodnego górotworu o przewodności σ_1 z obecną pionową niskoprzewodzącą strukturą uskoku σ_2 (gdzie $\sigma_1 > \sigma_2$), przy pionowym ułożeniu dipola anten (VD) aparatura konduktometryczna wykazuje wysoką czułość na obecność takiej struktury. Jest to powodem zarejestrowania anomalii w obrazie danych, której maksymalna amplituda przypada bezpośrednio ponad tą pionową strukturą. Dla poziomego ułożenia dipola anten (HD) aparatura nie wykazuje takiej czułości, dając dokładny pomiar przewodności w otoczeniu tej struktury. Charakter uzyskiwanych danych przy pionowym ułożeniu dipola (VD) jest więc bardzo użyteczny przy badaniu górotworu pod kątem obecności pionowych lub prawie pionowych zaburzeń w jego budowie do jakich zalicza się uskoki.

Należy zaznaczyć, iż przyjęty przez McNeilla model jest bardzo uproszczony. Jako równoważny możnaby było zastosować np. model z pionowym kontrastem oporności. Niemniej model McNeilla jest tutaj przytoczony i stanowi punkt odniesienia dla uzyskiwanych wyników, ponieważ stał się inspiracją do przeprowadzenia niniejszych badań. W celu dalszej analizy konieczne będzie stworzenie modeli o parametrach odpowiadających warunkom górotworu na terenie GZW.

Pomiary konduktometryczne dla potrzeb realizacji pracy badawczej wykonano aparaturą konduktometryczną EM34 – 3XL produkcji kanadyjskiej firmy Geonics Ltd..

Każdorazowo w pierwszej kolejności wyznaczano linię profilową o kierunku prostopadłym lub prawie prostopadłym do przebiegu danego uskoku. Na linii ustalano punkt przecięcia uskoku określony na podstawie materiałów archiwalnych

kopali. Od tego punktu odmierzano po 100 m w obydwu kierunkach wzdłuż linii profilowej, przez co długość każdego profilu wynosiła 200 m. Obserwowane na wykresach różnice w długości rejestracji dla kolejnych rozstawów wzdłuż profilu wynikają z konieczności dostosowywania profilu do istniejących warunków terenowych oraz faktu, iż punktowemu pomiarowi odpowiada punkt środkowy rozstawu anten. Przykładowo pomiar przy rozstawie VD/HD10 wymagał ustawienia anteny odbiorczej na -5 metrów (5 m przed 0 profilu), a anteny nadawczej na 5 mb profilu. Dla rozstawu 40 m odległości te wynosiły -20 i +20 m, co w niektórych przypadkach powodowało konieczność przesuwania początku lub końca profilu. Pomiary wykonywano kolejno dla każdego rozstawu anten i ułożenia dipoli, tj. HD10, VD10, HD20, VD20, HD40 i VD40. Pozwoliło to na uzyskanie danych z 4 poziomów głębokościowych: ok. 7,5 m (HD10), ok. 15 m (VD10 i HD20), ok. 30 m (VD20 i HD40) oraz ok. 60 m (VD40) ponieważ w metodzie GCM efektywna głębokość penetracji wynosi około 0,75 i 1,5 raza odległości między cewkami dla poziomego (HD) i pionowego dipola (VD) [8]. Pomiary wykonano poprzez przejście wzdłuż profilu przy zadanym taktowaniu sygnału (7ms) w ten sposób, iż w jednym kierunku wykonywano pomiar przy poziomym (HD) ustawieniu dipoli i wracając wykonywano pomiar przy pionowym (VD) ustawieniu dipoli dla danego rozstawu anten. Wykonanie w takim trybie badań pozwoliło na pokrycie profilu na poziomie 4 odczytów na mb profilu (średnio odczyt co 25 cm). Pomiary terenowe przeprowadzone zostały w okresie maj i wrzesień 2012 r.

3. Strefy uskokowe wytypowane do badań

Aby możliwe było przeprowadzenie pomiarów konduktometrycznych na terenach GZW konieczne było określenie kryteriów, jakie powinny zostać spełnione w rejonie strefy uskokowej. Strefa uskokowa jest rozumiana jako pas *mniejszej lub bardziej szerokiej strefy* w otoczeniu powierzchni uskokowej *wypełnionej produktami mechanicznego kruszenia skal lub pociętej przez podrzędne uskoki* [1]. Przy ich określaniu wykorzystano zalecenia producenta aparatury oraz doświadczenia własne ze stosowania metody konduktometrycznej w warunkach GZW. Przy doborze stref uskokowych zastosowano następujące kryteria:

1. Dostępność terenu – w miejscu wychodni uskoku na stropie utworów, w których występuje, brak jest powierzchniowej zabudowy terenu (budynki, wiaty, ogrodzenia, itp.) oraz podziemnej i naziemnej infrastruktury technicznej. Brak jest również naturalnych przeszkód terenowych w postaci cieków, wysokich skarp, gęstych zarośli, a więc przeszkód utrudniających swobodne wykonanie pomiaru (przejścia z aparaturą). Dostępność terenu istotna jest z uwagi na bardzo wysoką czułość aparatury konduktometrycznej na wymienione obiekty, a przede wszystkim na powstające od nich zaburzenia w propagacji fali elektromagnetycznej w ośrodku geologicznym, co znacząco pogarsza uzyskiwane dane i uniemożliwia ich poprawną interpretację.
2. Miąższość nadkładu – z uwagi na możliwości prospekcyjne zastosowanej aparatury konduktometrycznej przyjęto, że maksymalna miąższość utworów nadkładu ponad strefą uskokową nie może przekraczać 20 m, tak aby wykonane pomiary zapewniały penetrację falami elektromagnetycznymi strefy uskokowej, przy co najmniej trzech ustawieniach aparatury konduktometrycznej, tj. HD40 (do ok. 30 m p.p.t.), VD20 (do ok. 30 m p.p.t.) i VD40 (do ok. 60 m p.p.t.).
3. Wysokość zrztu uskoku – przyjęto, że minimalna wartość zrztu uskoku powinna wynosić co najmniej 10 – 15 me-

trów. Większy zrzut powoduje, iż na tej samej głębokości mogą znajdować się utwory o odmiennych własnościach elektrycznych. Dla małych zrzutów penetracja falami elektromagnetycznymi odbywa się w tych samych utworach, co zmniejsza szanse prawidłowego określenia szerokości strefy uskokowej.

4. Kąt upadu powierzchni uskokowej – powinien wynosić więcej niż 50° – przez co punkt maksymalnej amplitudy anomalii rejestrowanej na krzywej przewodności będzie odpowiadał bezpośrednio punktowi przecięcia powierzchni uskokowej [3].

Na podstawie takich kryteriów oraz w oparciu o dostępne w Laboratorium Geofizyki Inżynierskiej GIG materiały archiwalne z kopalni do badań wytypowano 4 uskoki w utworach karbonu oraz 2 w utworach triasowych, których charakterystykę zbiorczą przedstawiono w tabeli nr 1.

4. Wyniki badań metodą konduktometryczną i ich analiza

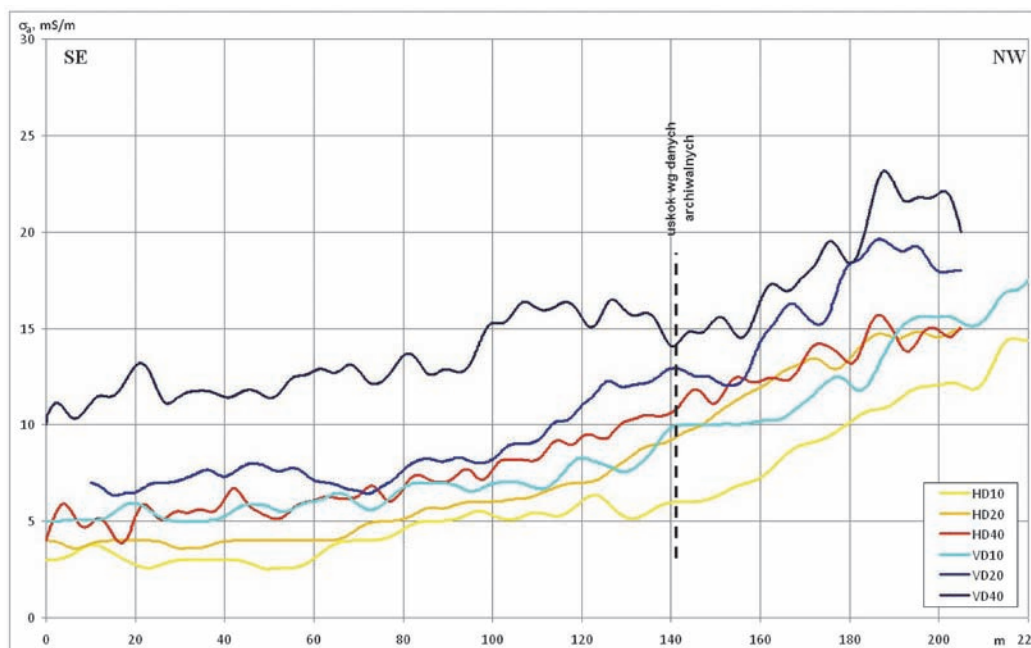
W wyniku pomiarów na każdym z uskoków uzyskano zbiory danych w postaci krzywych pozornej przewodności elektrycznej podłoża, σ dla każdej z zastosowanych konfiguracji anten, tj. HD10, HD20, HD40, VD10, VD20 i VD40.

Krzywe uzyskane z pomiarów w rejonie **uskoku III** w Rudzie Śląskiej, za wyjątkiem krzywej dla najgłębszego rozstawu VD40, mają bardzo podobny przebieg (rys. 2).

Generalnie można wydzielić na nich dwie strefy. W strefie pierwszej od 0 do ok. 70 mb profilu górotwór charakteryzuje się wartościami pozornej przewodności elektrycznej podłoża na stałym poziomie 4 – 5 mS/m. Natomiast od ok. 70 mb profilu do 220 mb rejestrowane wartości przewodności stopniowo wzrastają, osiągając na końcu profilu poziom ok. 15 mS/m. Stały wzrost przewodności w drugiej strefie świadczy o stopniowej zmianie parametrów elektrycznych górotworu. Najprawdopodobniej trend ten związany jest z faktem, iż od 0 do ok. 60 mb profilu na utworach karbonu zalega niewielka pokrywa osadów czwartorzędowych, a następnie utwory karbonu wychodzą na powierzchnię. Obserwowany zatem wzrost przewodności ośrodka najprawdopodobniej wynika ze zmian budowy penetrowanego podłoża bez zaznaczającej się strefy uskokowej III. Na krzywych zarejestrowanych dla pionowego ułożenia dipola anten (VD) nie można wyznaczyć powierzchni uskokowej w sposób, jaki przedstawiony jest w modelu McNeilla. Szczeliny uskokowej III są najprawdopodobniej zakolmatowane, a do tego materiał je wypełniający nie różni się własnościami elektrycznymi od otaczających go przeobrażonych w strefie uskokowej utworów. Na rysunku 3 wyróżnia się krzywa dla rozstawu VD40 o szacowanej głębokości penetracji do ok. 60 m, której wartości są blisko dwukrotnie wyższe niż dla pozostałych krzywych, co można tłumaczyć obecnością w głębszym podłożu bardziej zwiezłych skał lub ich lokalnym zawadnieniem.

Tabela 1. Charakterystyka podstawowych parametrów wybranych do badań stref uskokowych
Table 1. Characteristics of basic parameters selected for fault zone studies

L.p.	Nazwa uskoku	Lokalizacja	Mięszość utworów nadkładu, m	Zrzut uskoku m	Kąt upadu [°]
1	III	Ruda Śląska	0	20-30	65 – 83°
2	Środkowy	Katowice	2,5-5	45 – 50	63°
3	Arkona	Katowice	6	15 – 20	ok. 65°
4	Jakub	Katowice	14	40 – 80	ok. 67°
5	Radzionkowski	Piekary Śląskie	0	do 20	75°
6	Brzeziński	Brzeziny Śląskie	ok. 10-15	30 – 40	70°-85°



Rys. 2. Wyniki pomiarów konduktometrycznych w rejonie uskoku III w Rudzie Śląskiej
Fig. 2. Results of conductivity measurements in the area of III Fault in Ruda Śląska

Uzyskane w rejonie uskoku *III* wyniki badań konduktometrycznych nie pozwalają na określenie przypuszczalnych granic przeobrażenia skał w związku z obecnością uskoku *III* oraz lokalizacji powierzchni uskoku.

Pomiary konduktometryczne w rejonie **uskoku środkowego** (rys. 3) obejmowały utwory karbonu pod niewielką (2.5 – 5m) warstwą osadów czwartorzędowych. Uskok *środkowy* na mapach górniczych przedstawiany jest jako zespół 2 lub 3 płaszczyzn ścięcia skał karbońskich, których sumaryczny zrzut wynosi ok. 40 – 50 m. W obrazie danych przy prawidłowym wyprowadzeniu płaszczyzn uskoku na powierzchnię powinny się one zaznaczać w ok. 75 i 175 mb profilu (rys. 3).

W trakcie pomiaru na odcinku od 20 do 100 mb rejestrowano silne zaburzenie pola elektromagnetycznego. Przeprowadzone dodatkowo rozpoznanie terenu wykazało, iż prostopadłe do profilu (w ok. 45 – 55 mb profilu) przebiega nasyp (niewidoczny w miejscu pomiaru). Analiza map górniczych oraz aktualnej mapy powierzchni terenu nie wskazały na obecność w tym miejscu jakichkolwiek obiektów. Natomiast analiza archiwalnych map topograficznych z okresu przed 1900 r. i międzywojennego wykazała, iż w miejscu tym przebiegała linia kolejowa. Rejestrowane zaburzenie wywołane jest zatem najprawdopodobniej obecnością w nasypie elementów konstrukcyjnych linii kolejowej, wywołujących silne zaburzenie emitowanego pola elektromagnetycznego (szczególnie elementów metalowych). Obserwowane spadki wartości przewodności elektrycznej powodują, iż aparatura przestaje rejestrować. Wynika to z faktu, iż dla niskich wartości przewodności błąd zera składowej urojonej staje się znaczący i aparatura nie rejestruje dokładnie przewodności ośrodka o wysokim oporze [2]. Obecność powyższej anomalii powoduje niejednoznaczność interpretacji znacznej części krzywych i brak możliwości prawidłowego wyznaczenia strefy uskoku *środkowego*. Poza obszarem wpływu ww. obiektu, krzywe dla poziomego ułożenia dipola (HD) nie wykazują dużej zmienności i oscylują na wszystkich rozstawach wokół wartości 17 – 20 mS/m. Na żadnej z krzywych przy pionowym ułożeniu dipola anten

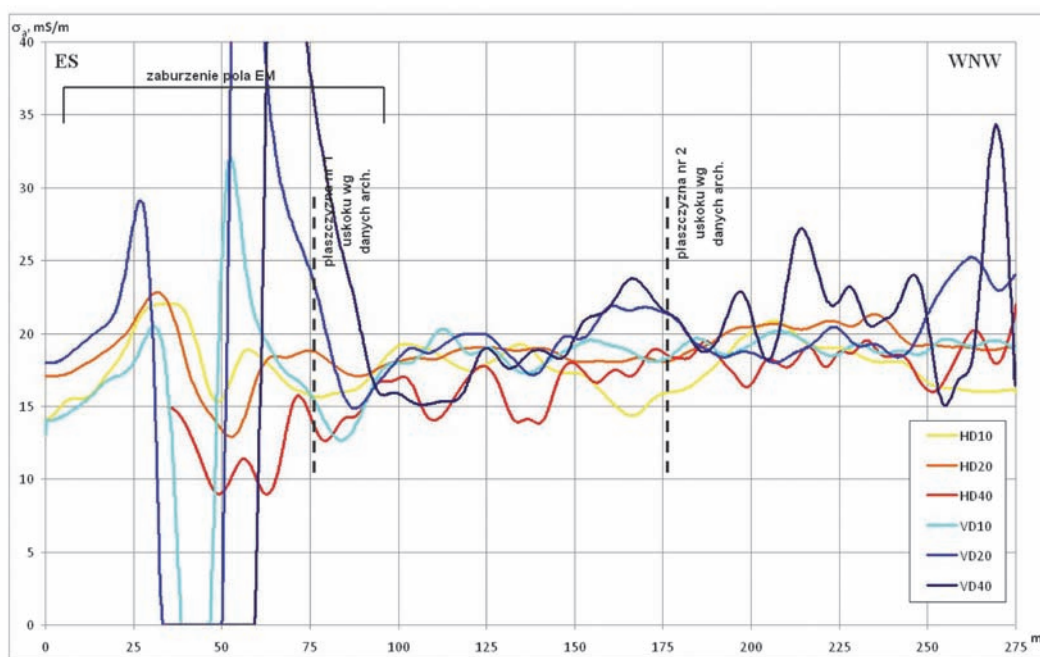
(VD) nie zaznacza się strefa o charakterze wskazującym na obecność stromozapadającej struktury o obniżonej lub podwyższonej względem otoczenia przewodności elektrycznej (zgodnie z modelem McNeilla). Na krzywych VD20 i VD40 od ok. 140 metra do końca profilu obserwuje się niewielkie wzrosty i spadki rejestrowanych wartości przewodności elektrycznej. Zmiany te mogą świadczyć albo o silnym, blokowym spękaniu głębszego podłoża w tym rejonie albo o błędzie pomiarowym związanym z niedotrzymaniem właściwej symetrii układu pomiarowego.

Uzyskane w rejonie uskoku *środkowego* wyniki badań są zaburzone i nie pozwalają na wydzielenie w ich obrazie strefy uskoku. Poza opisanym obiektem, może być to efektem silnej defragmentacji skał karbońskich wskutek dokonanej eksploatacji, na co mogą wskazywać zaobserwowane w drugiej części profilu wahania wartości przewodności rejestrowanych dla głębszych rozstawów (VD20 i VD40).

Badania strefy **uskoku arkona** (rys. 4) zostały wykonane w bardzo podobnych warunkach geologiczno-górnicych jak przy uskoku *środkowym*, przy czym większa jest miąższość utworów czwartorzędowych ponad utworami karbonu (minimum 6 m). Na wszystkich zarejestrowanych krzywych od 0 do ok. 60 mb zaznacza się wpływ znajdującego się na początku profilu słupa sieci niskiego napięcia zasilającego położony nieco dalej na południe budynek mieszkalny. W tym obszarze krzywe nie nadają się do interpretacji (rys. 4).

Poza obszarem zaburzenia krzywe otrzymane z pomiaru przy poziomej orientacji dipola anten (HD) nie pozwalają na jednoznaczne wyznaczenie strefy, którą można by identyfikować z uskokiem *arkona*.

Zgodnie z materiałami archiwalnymi profil zlokalizowany jest w ten sposób, iż jego początek to skrzydło zrzucone uskoku, a koniec skrzydło zawieszono. Na wszystkich krzywych w interpretowalnym zakresie, a więc od ok. 60 mb do końca profilu wartości przewodności pozornej oscylują wokół 18 – 22 mS/m. Obserwowane na krzywych HD10, HD20 i VD10 wzrosty przewodności ok. 120 mb profilu należy identyfikować jako zaburzenie związane z trudnością zachowania właściwej symetrii układu w czasie wykonywania pomiaru wywołanej



Rys. 3. Wyniki pomiarów konduktometrycznych w rejonie uskoku środkowego w Katowicach
Fig. 3 Results of conductivity measurements in the area of Środkowy Fault in Katowice

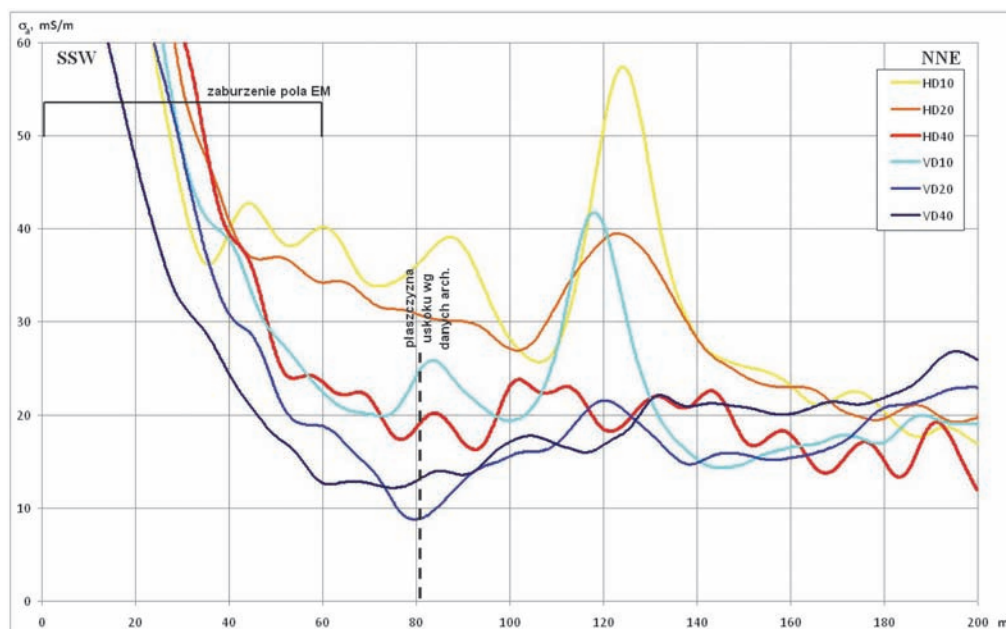


Fig. 4. Wyniki pomiarów konduktometrycznych w rejonie uskoku arkona w Katowicach

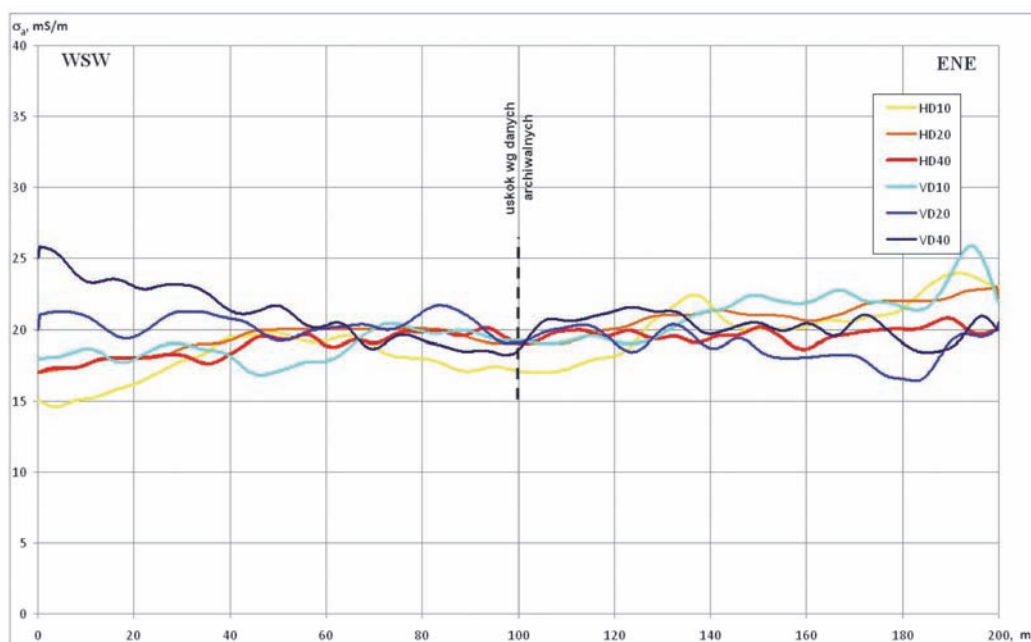
Fig. 4. Results of conductivity measurements in the area of Arkona Fault in Katowice

łukiem drogi, na której wykonywano pomiar. Wpływ ten udało się zniwelować przy pomiarze dla pozostałych ustawień układu pomiarowego. Uzyskane wyniki świadczą zatem o tym, iż w obrębie strefy uskokowej nie zachodzi zmiana parametrów elektrycznych utworów w niej występujących.

Uzyskane w rejonie uskoku *arkona* wyniki badań nie pozwalają na określenie granic przeobrażenia skał w związku z obecnością uskoku *arkona*.

Ostatnim badanym uskokiem w obrębie utworów karbonu jest **uskok jakub**. W miejscu wykonania pomiaru ponad karbonem zalega warstwa ok. 14 – 15 m utworów czwartorzędowych. Znaczna miąższość utworów nadkładu powoduje, że strefa uskoku powinna zaznaczać się jedynie

dla trzech ustawień aparatury konduktometrycznej, zapewniających penetrację falami elektromagnetycznymi głębiej niż 15 m p.p.t., tj. VD20 (do ok. 30 m), HD40 (do ok. 30 m) i VD40 (do ok. 60 m). Nie potwierdza się to w uzyskanych krzywych (rys. 5), które na całej długości profilu mają dość równy przebieg na poziomie około 20 mS/m. Jedynie na krzywych HD10 i VD40 obserwuje się pewne zmiany. Na krzywej HD10 (żółta linia) zaznacza się łagodne obniżenie rejestrowanych wartości w rejonie archiwalnej lokalizacji uskoku. Obniżenie to z uwagi na niski zasięg głębokości penetracji (do ok. 7.5 m) można wiązać z lokalną zmianą w budowie utworów czwartorzędowych lub na przykład mniejszym ich zawodnieniem.



Rys. 5. Wyniki pomiarów konduktometrycznych w rejonie uskoku jakub w Katowicach

Fig. 5. Results of conductivity measurements in the area of Jakub Fault in Katowice

Natomiast na krzywej z najgłębszego rozstawu VD40 (ciemnoniebieska linia) można zauważyć, iż następuje stopniowe obniżanie się przewodności od ok. 25 mS/m na początku profilu do 17 mS/m, ok. 100 mb, następnie na odcinku od 100 do 105 mb następuje szybki wzrost przewodności pozornej do poziomu ok. 20–21 mS/m i dalej utrzymywanie się takiego poziomu do końca profilu. Niemniej trudno taką charakterystykę korelować z obecnością uskoku w odniesieniu do wyjściowego modelu McNeilla.

Uzyskane wyniki nie pozwoliły na wyznaczenie strefy uskoku *jakub*. Na krzywych nie rejestruje się zmian przewodności elektrycznej mogących mieć związek z badaną strefą. Może to wynikać z faktu, że kontrasty elektryczne pomiędzy skałami karbońskimi w skrzydle wiszącym, zrzuconym oraz strefie uskoku są za małe lub są niewidoczne wskutek silnej defragmentacji skał karbońskich od dokonanej eksploatacji. Prawidłowe wyznaczenie strefy uskoku *jakub* metodami opierającymi się na badaniu własności elektrycznych skał może być bardzo problematyczne.

Kolejnym badanym uskokiem jest **uskok radzionkowski** w Piekarach Śląskich, który w zakresie penetracji fal elektromagnetycznych przebiega w utworach triasowych. W miejscu poprowadzenia profilu nie obserwuje się udziału utworów czwartorzędowych lub mają one znikomą miąższość i wypełniają jedynie lokalne wymycia erozyjne. Zgodnie z danymi archiwalnymi uskok *radzionkowski* zrzuca utwory triasu o ok. 20 m na wschód w miejscu poprowadzonej linii przerywanej. Układ taki nie odzwierciedla się w uzyskanych danych (rys. 6).

Na krzywych dla poziomego ułożenia dipola anten (HD) nie można wydzielić strefy, którą można by identyfikować ze strefą uskoku *radzionkowskiego*. Krzywe głębszych rozstawów, tj. HD20 i HD40 mają regularny przebieg na poziomie analogicznie ok. 7 i 9 mS/m. Na krzywej dla najplytszego rozstawu od ok. 25 mb do 60 mb profilu obserwuje się strefę podwyższonej przewodności pozornej, którą nie sposób identyfikować ze strefą uskoku, a jedynie może świadczyć o lokalnej, niewielkiej zmianie w podłożu,

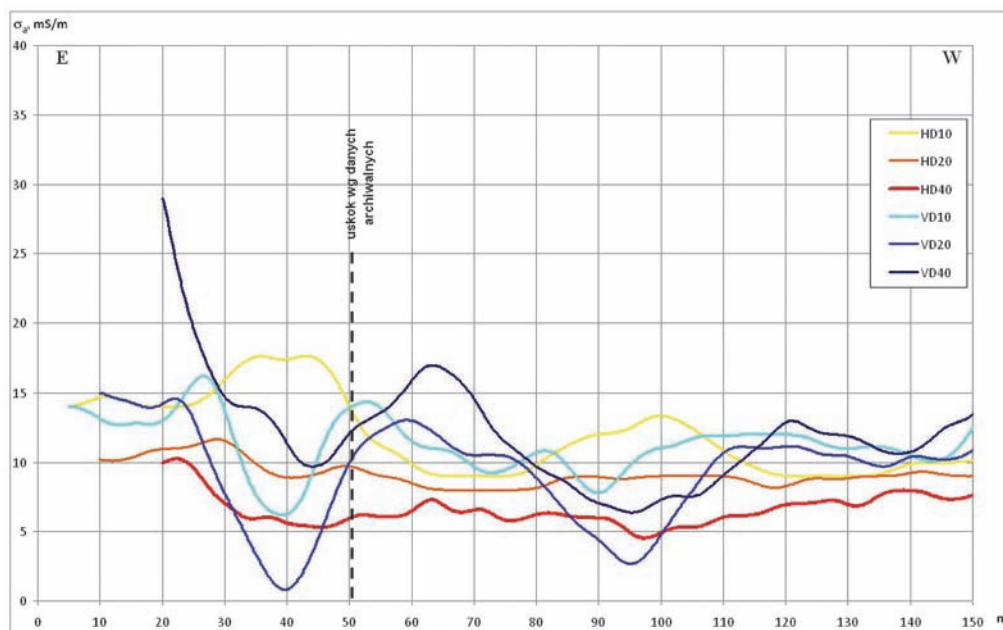
np. o obecności soczewki utworów czwartorzędowych na utworach triasowych.

Na krzywych uzyskanych z pomiarów przy pionowym ułożeniu dipola (VD) zaznaczają się dwie strefy obniżenia poziomu pozornej przewodności elektrycznej podłoża od ok. 20 do 50 mb profilu i od 80 do ok. 120 mb. Miejsca te z uwagi na charakter zbliżony do modelu McNeilla można by identyfikować z obecnością w podłożu stromo zapadających struktur. Najprawdopodobniej mamy tu do czynienia z obecnością pionowych lub prawie pionowych szczelin związanych z blokowym spękaniem triasowych dolomitów wskutek głębszej eksploatacji węglowej. Na podstawie położenia punktów maksymalnych amplitud tych anomalii można określić kierunek zapadania tych struktur jako zachodni (przeciwny do kierunku zapadania uskoku *radzionkowskiego*). Podobne szczeliny obserwowane były w wykopach na etapie budowy autostrady A1. Na krzywej dla VD40 w jej początkowym odcinku od 0 do ok. 25 mb zaznacza się spadek wartości przewodności pozornej od ok. 29 mS/m do ok. 15 mS/m. Spadek ten należy traktować jako zakłócenie od znajdującego się za wschodnim końcem profilu, metalowym ogrodzeniem terenu węzła „Piekary”.

Uzyskane w rejonie uskoku *radzionkowskiego* wyniki badań nie pozwalają na określenie przypuszczalnych granic strefy przeobrażenia skał w związku z obecnością uskoku, natomiast wskazują, iż utwory triasowe (dolomity) nie zachowują ciągłości warstw i charakteryzują się blokowym spękanem wskutek głębokiej eksploatacji węglowej.

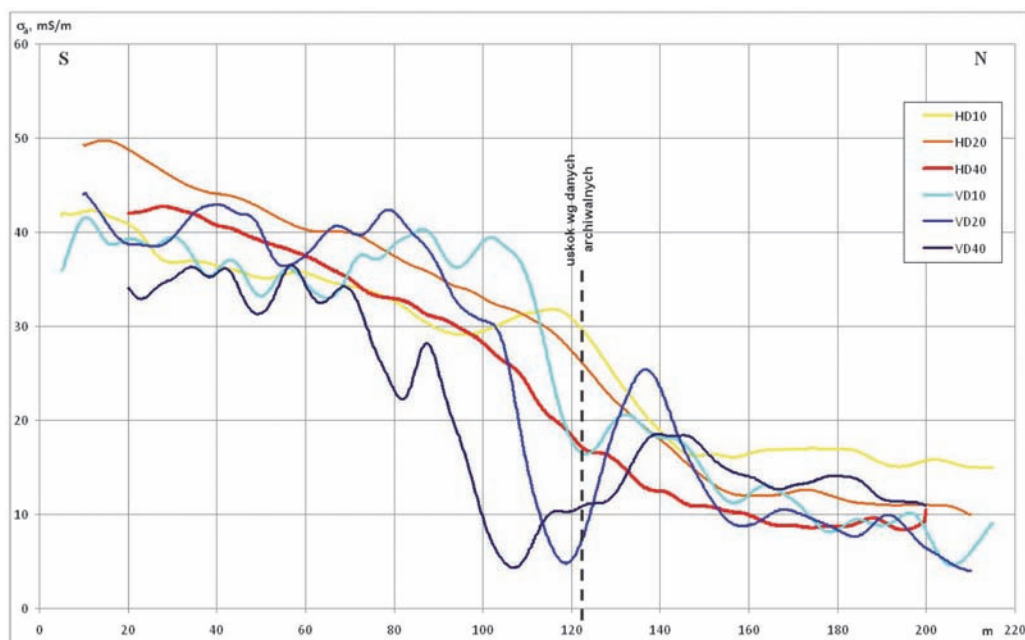
Najciekawszych wyników dostarczyły pomiary konduktometryczne przeprowadzone w rejonie **uskoku brzezińskiego**, przebiegającego w utworach triasu pokrytych 10–12-metrową warstwą utworów czwartorzędowych. Szczegółowa analiza uzyskanych w tej lokalizacji wyników jest przedmiotem odrębnej publikacji [7].

Uzyskane krzywe pomiarowe pozwalają na precyzyjne określenie strefy uskoku *brzezińskiego* oraz głównej płaszczyny uskoku (rys. 7).



Rys. 6. Wyniki pomiarów konduktometrycznych w rejonie uskoku radzionkowskiego w Piekarach Śląskich

Fig. 6. Results of conductivity measurements in the area of Radzionkowski Fault in Piekary Śląskie



Rys. 7. Wyniki pomiarów konduktometrycznych w rejonie uskoku brzezińskiego w Brzezinach Śląskich

Fig. 7. Results of conductivity measurements in the area of Brzeziński Fault in Brzeziny Śląskie

Krzywe uzyskane z pomiarów przy poziomym ustawieniu dipola anten pozwalają na wydzielenie strefy uskoku. Strefa uskoku *brzezińskiego* zaznacza się na krzywych dla poziomego dipola anten (HD) jako obszar zmiany przewodności elektrycznej od ok. 75 do ok. 160 mb profilu, gdzie z poziomu ok. 40 – 50 mS/m obserwowanego w skrzydle zrzucanym maleje do poziomu ok. 10 – 17 mS/m (zależnie od rozstawu), charakteryzującego utwory w skrzydle wiszącym. Dokładniejszych danych do zobrażenia strefy uskoku *brzezińskiego* dostarczają pomiary przeprowadzone przy pionowym ułożeniu dipola. Podobnie jak przy poziomym ułożeniu dipola anten (HD) na krzywych uzyskanych przy pionowym dipolu anten (VD) utwory w skrzydle zrzucanym, charakteryzują się wyższą przewodnością niż w skrzydle wiszącym. W obrębie wyznaczonej wcześniej prawdopodobnej strefy uskoku na każdej krzywej obserwowane są spadki wartości przewodności, podobnie jak to ma miejsce w modelu McNeilla. Jedyną różnicą względem modelu jest fakt, iż rejestrowane wartości przewodności elektrycznej charakteryzujące skrzydło zrzucane i wiszące są inne. Na krzywej dla VD10 punkt maksimum amplitudy anomalii, który można wiązać z obecnością wąskiej, stromej struktury, pokrywa się z przeniesioną z map archiwalnych lokalizacją płaszczyzny uskoku. Na kolejnych krzywych minimum przesuwa się w kierunku południowym – w stronę skrzydła zrzucanego – zgodnie z kierunkiem zapadania płaszczyzny uskoku podanym na archiwalnych mapach kopalnianych.

Uzyskane w rejonie uskoku *brzezińskiego* wyniki badań pozwalają na określenie przybliżonych granic przeobrażenia skał w związku z obecnością uskoku. Dodatkowo, możliwe jest wyznaczenie za pomocą wyników uzyskanych na krzywych VD, miejsc prawdopodobnego położenia stromej struktury w obrębie podłoża. Obserwowane przesunięcia minimów anomalii na kolejnych rozstawach pozwala na określenie kierunku zapadania tej struktury oraz jej nachylenia.

5. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych prac wskazują, że na obraz strefy uskoku w zbiorach danych konduktometrycznych duży wpływ ma przeobrażenie struktury warstw geologicznych wpływami eksploatacji górniczej.

Pomimo wybrania poligonów zapewniających optymalne środowisko do przeprowadzenia badań metodą konduktometryczną (która z uwagi na charakterystykę emitowanego pola elektromagnetycznego pozwala na precyzyjne lokalizowanie stromo zapadających struktur), uzyskane w trakcie prac wyniki okazały się satysfakcjonujące w zaledwie jednym przypadku. Duży wpływ na uzyskane wyniki ma rodzaj badanego podłoża. Dużo więcej informacji uzyskano z prac przeprowadzonych na strefach uskokuwowych przebiegających w utworach triasowych (dolomity). W rejonie uskoku *brzezińskiego* możliwe było określenie szerokości strefy przeobrażenia skał w jego rejonie oraz możliwe wydaje się określenie, na podstawie punktów maksymalnych amplitud anomalii zarejestrowanych na krzywych uzyskanych przy pionowym ułożeniu dipola anten (VD), przebiegu głównej płaszczyzny uskoku. Uzyskane w rejonie uskoku *radzionkowskiego* wyniki badań nie pozwalają na określenie przypuszczalnych granic strefy przeobrażenia skał w związku z obecnością uskoku, natomiast wskazują iż utwory triasowe (dolomity) nie zachowują ciągłości warstw i charakteryzują się blokowym spękanem wskutek głębokiej eksploatacji węglowej.

Prace przeprowadzone w ośrodku geologicznym zbudowanym z utworów karbońskich o różnej miąższości czwartorzędowego nadkładu, nie pozwoliły na rozwiązanie postawionego zadania. Przyczyn takiego stanu rzeczy można upatrywać w małych kontrastach elektrycznych w obrębie utworów karbońskich oraz ich silnego przeobrażenia wskutek dokonanej eksploatacji górniczej.

Literatura

1. *Jaroszewski W.*: Tektonika uskoków i fałdów. Wyd. 2, Wydawnictwa Geologiczne Warszawa 1980
 2. *McNeill J.D.*: Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers 1980, Technical Note TN-6, Geonics Limited, Mississauga, Ontario.
 3. *McNeill J.D.*: The Application of Electromagnetic Techniques to Environmental Geophysics Surveys, w: Ground Conductivity Meters for Environmental Site Evaluation, Geonics Limited, Mississauga, Ontario 1997.
 4. *Mussett A.E., Khan M.A.*: Looking into the earth 2000, Cambridge University Press, s. 210÷232.
 5. *Parasnis D.S.*: Principles of Applied Geophysics 1986, Chapman and Hall, London, New York, s. 182÷249.
 6. *Reynolds J.M.*: An Introduction to Applied and Environmental Geophysics 1997, John Wiley & Sons, Chichester, s. 555÷680.
 7. *Siwek S.*: Zastosowanie metody konduktometrycznej do rozpoznania strefy uskoku brzezińskiego w zlikwidowanym obszarze górnym Rozalia 2014, „Przeгляд Górnicy” 2014, nr 1, s. 31÷37.
 8. *Sharma P.V.*: Environmental and Engineering Geophysics 1997, Cambridge University Press, s. 265÷296.
-
-