

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

OTWÓR WESOŁA PIG 1

Zgodnie z projektem wiercenia otworu Wesoła PIG 1 (Jureczka i in., 2013), badania geofizyki otworowej zaplanowano w celu uzyskania następujących informacji:

- charakterystyki litologicznej ze szczególnym uwzględnieniem pokładów węgla;
- ustalenia właściwości zbiornikowych i petrofizycznych przewierconych skał;
- kontroli stanu zacementowania rur okładzinowych.

Badania geofizyczne wykonano w styczniu 2014 r. po zakończeniu wiercenia sekcji o średnicy $\varnothing 8 \frac{1}{2}$ " i osiągnięciu planowanej głębokości końcowej 1000,00 m. Badania wykonała grupa terenowa przedsiębiorstwa Geofizyka Kraków Sp. z o.o. zestawem firmy Halliburton (Drabik i in., 2014). Pomiar cementomierzem akustycznym wykonano w zarurowanym odcinku odwiertu (od powierzchni do głębokości posadowienia kolumny rur okładzinowych $\square 9 \frac{5}{8}$ " – 154,00 m). Profilowanie sondą gamma wykonano od powierzchni do spągu odwiertu, natomiast pozostałe pomiary – od głębokości buta kolumny rur $\square 9 \frac{5}{8}$ " do głębokości końcowej odwiertu w interwale niezarurowanym. Zestawienie wykonanych pomiarów geofizycznych przedstawiono we wstępie w rozdziale „Cel badań, lokalizacja i parametry techniczne otworów wiertniczych” (tab. 9). Dodatkowo, w czerwcu 2014 r., po wykonaniu intersekcji otworu Wesoła PIG 1 z otworem Wesoła PIG 2H, w trakcie prac rekonstrukcyjnych otworu Wesoła PIG 1 prowadzonych w celu przygotowania testów produkcyjnych, w zarurowanym rurami $\varnothing 7$ " interwale 900–998 m wykonano pomiary geofizyczne mające na celu doprecyzowanie miejsca posadowienia rury z włókna szklanego i przecięcia intersekcyjnego. Wykonano następujące pomiary:

- średnicomierzem wieloramiennym MIT-24,
- profilowanie naturalnego profilowania gamma GR,
- mufolokatorem CCL.

Po uzyskaniu wyników połowych badań geofizycznych wykonanych w otworze Wesoła PIG 1 nastąpił drugi etap przygotowania pomiarów otworowych, którym była ich interpretacja. Pozwoliła ona na sformułowanie podstawowych wniosków dotyczących jakości zacementowania rur

okładzinowych, średnicy otworu oraz właściwości przewierconych serii litologicznych. Proces obróbki danych połowych oraz ich interpretacji przeprowadzono osobno dla badań wykonanych w zarurowanym odcinku 0–154 m, ponieważ ich celem było sprawdzenie jakości zacementowania rur okładzinowych. Oddzielnie potraktowano wyniki pomiarów wykonanych w niezarurowanym odcinku 154–1000 m. Tę grupę wyników zinterpretowano pod kątem określenia litologii, właściwości zbiornikowych i mechanicznych skał oraz przebadania niektórych cech sedymentologicznych. Trzecią grupę pomiarów wykonano i zinterpretowano w celu określenia geometrii odwiertu Wesoła PIG 1 w miejscu przecięcia z otworem Wesoła PIG 2H.

Wyniki pomiarów geofizycznych wykonanych w interwale 154–994 m, opisy rdzeni wiertniczych i próbek okruszowych umożliwiły ocenę składu litologicznego i porowatości programem ULTRA. Zastosowano model mineralogiczny kwarc+piryt+węgiel+zailenie, wykorzystując podstawowe parametry obliczeniowe, wybrane na podstawie odczytów profilowań, danych literaturowych i ustalając ostatecznie wartości na drodze procesów optymalizacyjnych. Zastosowano wartość promieniotwórczości naturalnej dla piaskowców 15 [API], zailenie 125 [API], gęstość ilów w przedziale 2,59–2,65 [g/cm³], czas interwałowy dla ilów w przedziale 82–100 [us/ft] i nieliniową formułę zailenia. Obliczono także przepuszczalność, ale z powodu braku wystarczających ilości danych zastosowano parametry wyznaczone dla utworów karbonu z rejonu Stężycy i model Zawiszy, co spowodowało, że uzyskane wyniki przepuszczalności należy traktować z dużą ostrożnością (fig. 38).

Przeprowadzona interpretacja wyników profilowań wskazała, że w odcinku 154–1000 m utwory karbonu są zbudowane z naprzemianległych serii piaskowców, mułowców i ilowców z niewielką zawartością pirytu oraz wkładkami i pokładami węgla. Piaskowce posiadają dobre właściwości zbiornikowe charakteryzujące się wartościami porowatości do 24%, wartości przepuszczalności osiągają 50 mD. Właściwości kolektorskie serii mułowcowo-ilastych są słabsze – porowatość osiąga wartości kilku procent (do ok. 10%), przepuszczalność nie przekracza 1 mD.

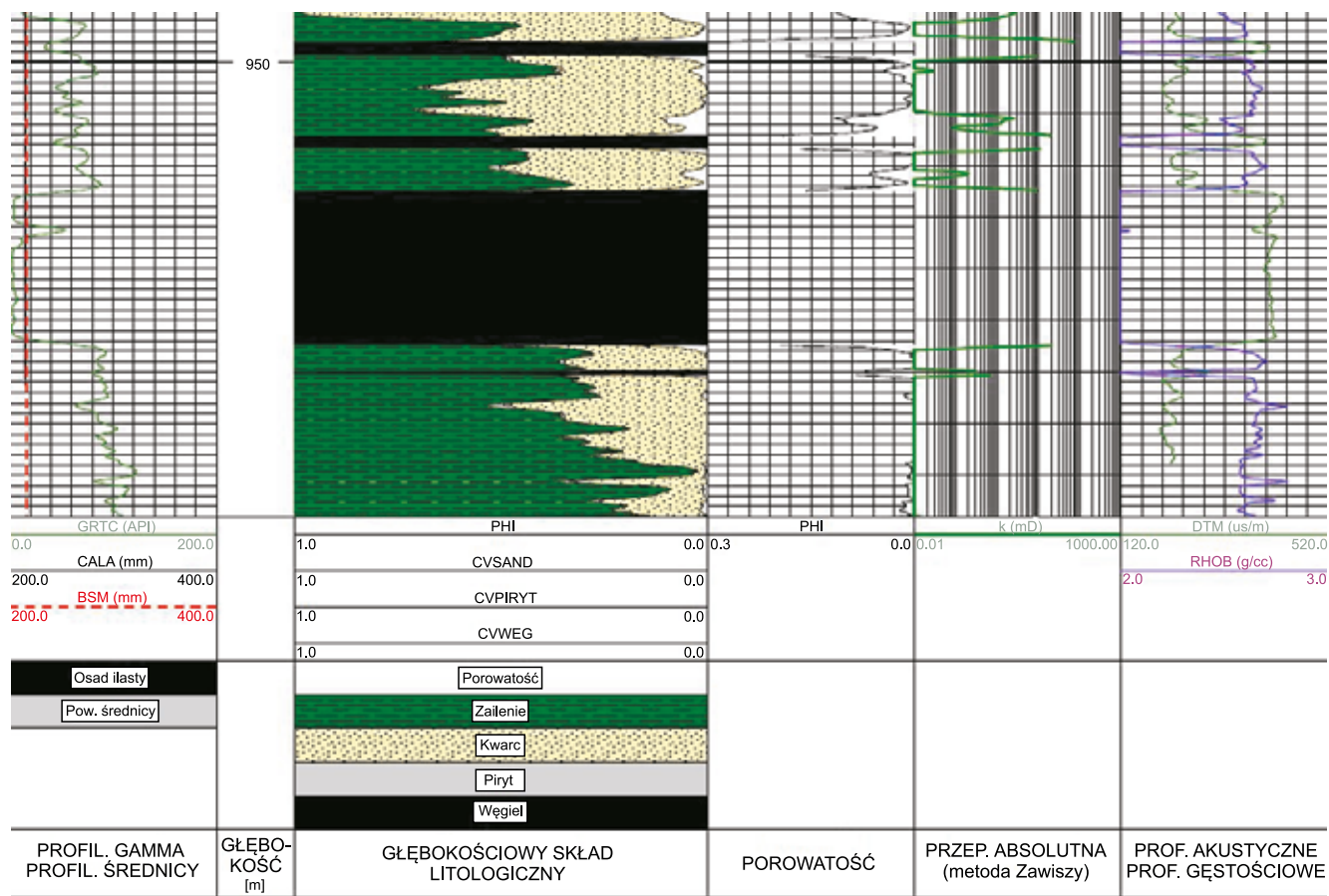


Fig. 38. Przykład interpretacji programem ULTRA w spągowej części otworu

Z powodu braku stosownych danych, do analizy przepuszczalności zastosowano wzory Zawiszy, przy parametrach wyznaczonych dla utworów karbonu rejonu Stężycy. GRTC – profilowanie gamma bezuranowe [API], CALA – profilowanie średnicy [mm], BSM – średnica nominalna [mm], PHI – porowatość, CVSAND, CVPIRYT – skumulowana objętość porowatości i poszczególnych składników mineralnych, k – przepuszczalność absolutna [mD]

Lithology and saturation of bottom part of the well interpreted using ULTRA software

The permeability estimation was done using the Zawisza formula due to the lack of proper data from site. The estimation was based on data from Carboniferous interval of Stężycza gas field. GRTC – gamma ray without Uranium [API], CALA – caliper [mm], BSM – diameter nominal [mm], PHI – porosity, CVSAND, CVPIRYT – cumulative volume of porosity and specific mineral components, k – total porosity [mD]

Należy pamiętać, że wartości porowatości i przepuszczalności utworów silikoklastycznych na granicach z warstwami węgla są zawyżone, ponieważ parametry fizyczne mierzone przez sondy pomiarowe są wypadkową parametrów obu ośrodków. Interpretacja pomiarów umożliwiła także identyfikację pokładów węgla, określono ich grubości oraz zdefiniowano 107 pokładów i warstw węglowych. Wydzielone na odcinku bezrdzeniowym pokłady węgla posłużyły także do korekty profilu ustalonego na podstawie próbek okruchowych.

Wyniki pomiarów skanera elektrycznego XRMI, po zaaplikowaniu poprawek i przetworzeniu programem IMAGE pakietu Petrosite, przy wykorzystaniu algorytmów AUTODIP, umożliwiły wyliczenie parametrów zapadania warstw. Równocześnie wysokorozdzielczy obraz ścian otworu pozwolił na identyfikację warstw i szczelin, określenie ich upadu, a także wydobywanie szczegółów sedymentologicznych. Od głębokości 145 do ok. 508 m wyinterpretowane

kąty upadu warstw z reguły nie przekraczają 10°. Rejestrowane wyższe kąty upadu, są najprawdopodobniej związane z przekątnym warstwowaniem piaskowców lub bardzo nielicznymi szczelinami, jak w interwale 180–181 m (fig. 39). Kierunek upadu warstw jest zmienny. Od głębokości ok. 508 do 566 m obraz ze skanera wskazuje zanik laminacji i występowanie skał pozbawionych cech strukturalnych lub skał o charakterze brekcji (fig. 40), co może świadczyć o występowaniu w tym interwale zaburzeń tektonicznych. Od głębokości 566 do 585 m obraz wyraźnie wskazuje występowanie utworów warstwowych, a kąt upadu zmienia się od kilku do 20°.

W interwale 585–897 m upady nie przekraczają 10° i widoczne jest niskokątowe warstwowanie równoległe (fig. 41). Kierunek zapadania jest zmienny. Widać również podgięcia warstw związane z obecnością większych izolowanych klastów manifestujących się wysokooporowym zapisem na krzywych oraz charakterystycznym obrazem przetworzonym (fig. 42).

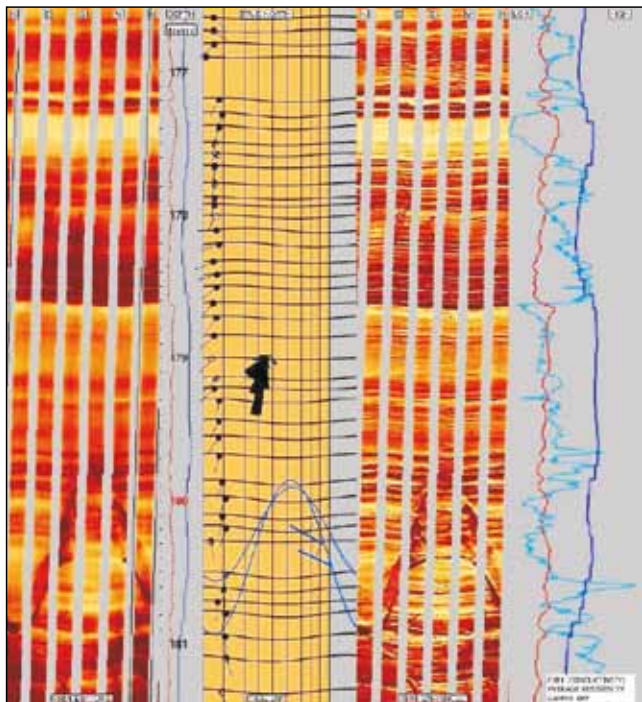


Fig. 39. Laminacja niskokątowa widoczna na obrazie uzyskanym skanerem elektrycznym

Low angle beddings example visible on electric scanner data

Spękania i szczeliny występują z różną gęstością, ich nagromadzenia można zaobserwować w interwale ok. 315–346 m, jak również w dolnej części odwiertu, szczególnie od głębokości ok. 820 m do spodu otworu. Przeważają

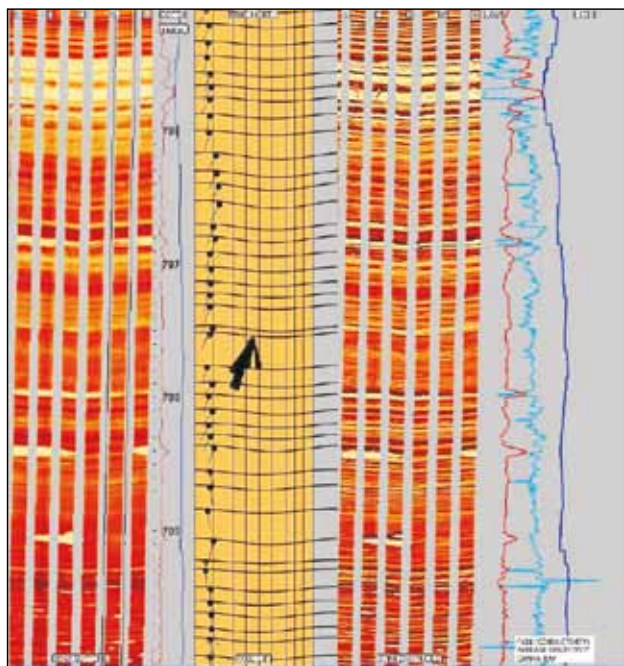


Fig. 41. Przykład obrazu warstwowania równoległego niskokątowego

Low angle beddings example visible on electric scanner data

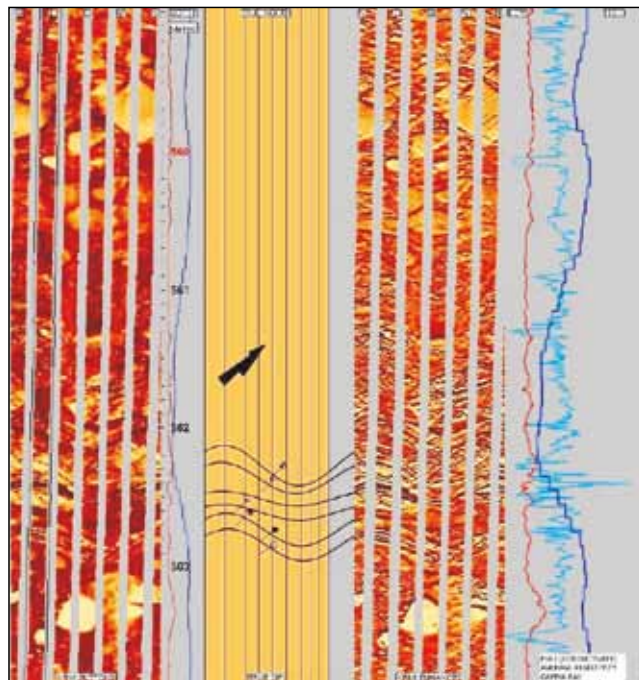


Fig. 40. Przykład brekcji w utworach klastycznych karbonu widoczny na obrazie uzyskanym skanerem elektrycznym

The breccia example in carboniferous clastics, visible on XRFMI processed data

szczeliny wysokokątowe o różnym azymucie (fig. 43, 44). Na podstawie profilowania średnicy odwiertu można

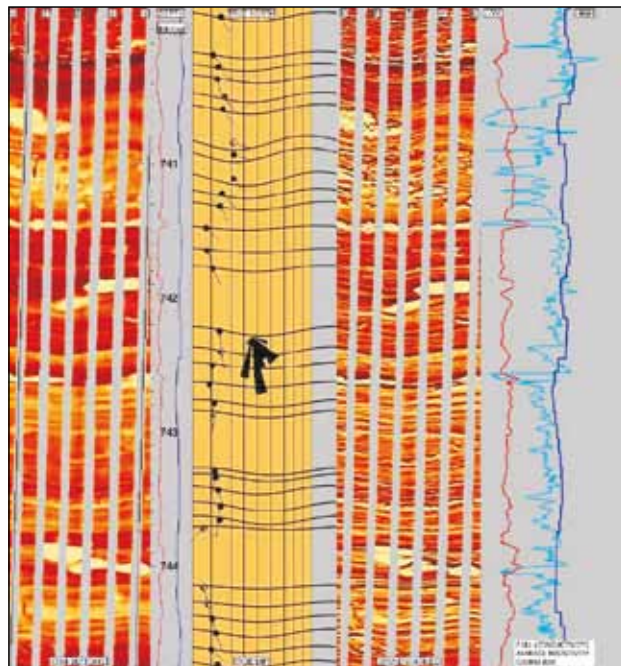


Fig. 42. Izolowany klast wysokooporowy z charakterystycznym układem upadów widoczny w okolicach głębokości 744 m

Isolated clast with characteristic sequence of dips and high-resistivity, visible in the depth of 744 m

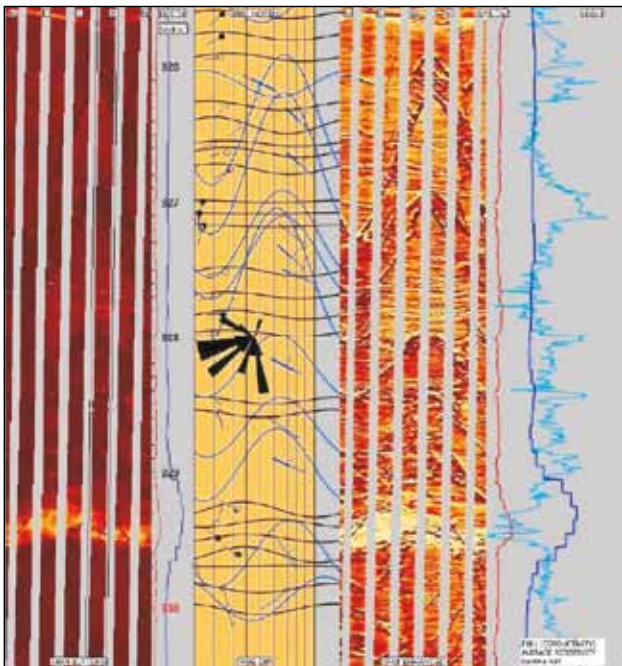


Fig. 43. Przykład gęstej sieci szczelin w obrębie utworów karbonu górnego na obrazie ze skanera elektrycznego

Dense system of veins within the Upper Carboniferous rocks visible on the electric scanner data

stwierdzić, że nie ulega ona dużym deformacjom i jest zbliżona do średnicy nominalnej.

Na podstawie wyników spektrometrycznego profilowania gamma określono utwory karbonu górnego jako charakteryzujące się wyrównanymi proporcjami składowych spektrometrycznego profilowania gamma (Th, K, U), wartościami średnimi zależnymi od litologii i brakiem wyraźnych anomalii. Koncentracja toru wynosi średnio 12 ppm (4 ppm w piaskowcach, 15 ppm w osadach drobnoziarnistych), potasu – średnio 2% (odpowiednio: 0,5% i 3%), a uranu – średnio 4 ppm (odpowiednio: 1 ppm i 4,5 ppm).

Pomiary dipolową sondą akustyczną (WSTT) o wydłużonym rozstawie wykonane w interwale 154–989 m zarejestrowały przebieg fal akustycznych w przewiercanym otworze wiertniczym ośrodku skalnym. Konstrukcja sondy umożliwia rejestrację fali podłużnej (P), a także ekstrakcję fali poprzecznej (S), jej składowych S_x , S_y oraz fali Stoneley'a. Przeprowadzona interpretacja pozwoliła określić czasy interwałowe dla powyższych rodzajów fal akustycznych, a także w wyniku kolejnych przetworzeń – kie-

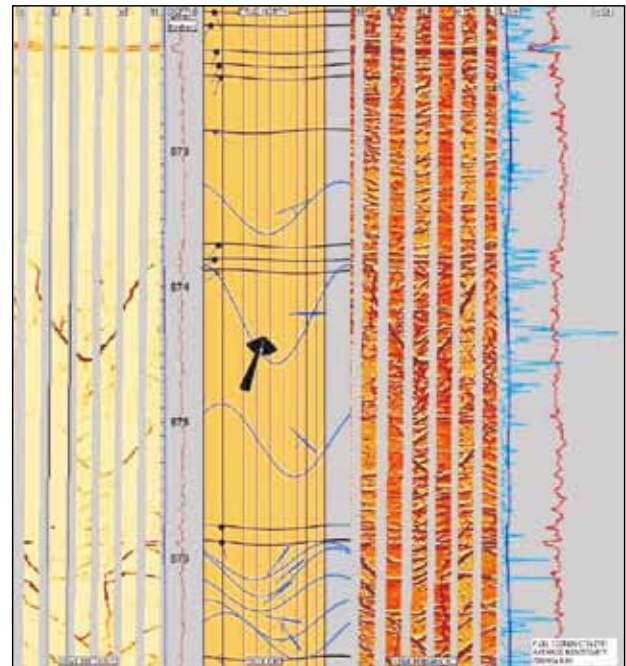


Fig. 44. Szczeliny w pokładzie węgla

Veins in coal seam

runki anizotropii akustycznej ośrodka oraz wybrane właściwości sprężyste przewierczanych warstw, uwzględnione następnie w projektowaniu zabiegu szczelinowania.

Na podstawie pomiarów wykonanych w interwale 900–998 m średnicomierzem wieloramiennym (MIT-24) udało się zlokalizować głębokość posadowienia rury z włókna szklanego (*fiberglass*) w otworze Wesola PIG 1. Zlokalizowano ją w interwale głębokości 968,20–977,82 m (Chruściel, 2015a). Rurę tę w interwale 977,38–977,68 m prostopadłe przewiercono otworem Wesola PIG 2H (fig. 45).

W otworze Wesola PIG 1 wykonano pomiar cementomierzem akustycznym i określono stan związania cementu z rurami i formacją skalną. Pomiar wykonano w styczniu 2014 r., po 22 dniach od zakończenia procesu cementowania rur okładzinowych $\varnothing 9\ 5/8"$ w interwale 0–154 m. Pomiar przeprowadzono cementomierzem segmentowym firmy Sondex. Według oceny stanu zacementowania rur $\varnothing 9\ 5/8"$ (Chruściel, 2015b), wykonane pomiary są dobrej jakości i mogą być wykorzystane do interpretacji stanu zacementowania. Stan zacementowania otworu w interwale 45–154 m można określić jako dobry. W interwale 0–45 m nie zanotowano sygnału akustycznego.

OTWÓR WESOLA PIG 2H

W otworze Wesola PIG 2H wykonano bardzo ograniczony zestaw badań geofizycznych. Po odwierceniu sekcji pionowej (do głęb. 501,00 m) wykonano profilowanie średnicy otworu od buta rur $\varnothing 13\ 3/8"$ do głęb. 500 m, naturalne profilowanie gamma oraz pomiar cementomierzem aku-

stycznym wraz z sondą gamma, do głębokości posadowienia kolumny rur okładzinowych $\varnothing 13\ 3/8"$ (113,00 m).

Wykonane w lutym 2014 r. (po 6 dniach od zabiegu cementowania) pomiary cementomierzem akustycznym RBT firmy Sondex w interwale 3–113 m były podstawą do oceny

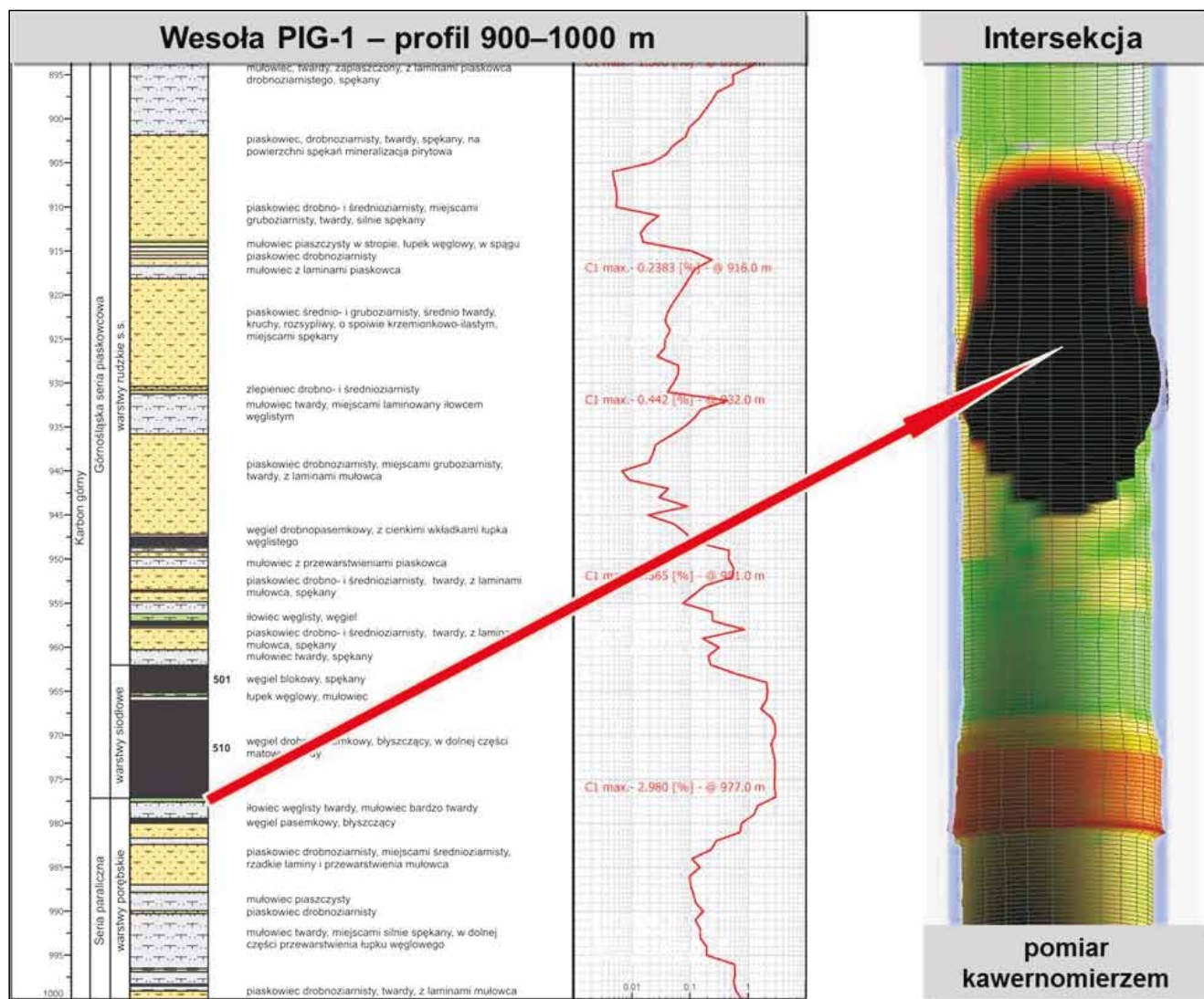


Fig. 45. Miejsce przewiercenia rury w otworze Wesola PIG 1 otworem horyzontalnym Wesola PIG 2H

Intersection point in casing, between the Wesola PIG 1 and horizontal Wesola PIG 2H wells

stanu zacementowania rur $\varnothing 13 \frac{3}{8}$ ". Stan związania cementu z rurami i formacją skalną, na przeważającej długości tego interwału, określono jako częściowe związanie cementu z otoczeniem (Chruściel, 2015c). Ze względu na dużą średnicę otworu, nie udało się zarejestrować amplitud sektorowych oraz poprawnego zapisu krzywej mufolokatora CCL. Wyniki interpretacji pomiarów cementomierzem akustycznym w badanym interwale 0–113 m przedstawiono na figurze 46. Kolorem zielonym w piątej kolumnie na wydruku zaznaczono interwały, w których związanie cementu jest niejednoznaczne, kolorem żółtym natomiast interwał, w którym związanie jest dobre. W kolumnie trzeciej z kolei znajduje się wynik interpretacji obrazujący związanie cementu z rurą okładzinową, kolorem białym zaznaczono złe związanie cementu z rurą. Można zauważyć, że najlepsze związanie cementu z rurą i ze skałą jest w interwale 35–58 m.

W sekcji kierunkowej (interwał 501–1192 m MD) oraz horyzontalnej (interwał 1192–1918 m MD), ze względu na

specyfikę trajektorii otworu oraz z uwagi na fakt przeprowadzenia rozbudowanego zestawu badań w otworze pionowym (Wesola PIG 1), ograniczono zestaw pomiarów do niezbędnych z technicznego punktu widzenia. Zamiast klasycznych pomiarów geofizyki wiertniczej, wykonywano ciągle pomiary geofizyczne w czasie wiercenia z użyciem systemów pomiarowych MWD (*measured while drilling*) i LWD (*logging while drilling*), zlokalizowanych w łączniku za silnikiem w głębinym.

System MWD (stosowany w czasie wiercenia obu sekcji – kierunkowej i horyzontalnej) umożliwiał rejestrację azymutu, kąta nachylenia, położenia czoła świdra oraz niektórych parametrów technicznych wiercenia. Z kolei system pomiarowy LWD (tylko w sekcji horyzontalnej) pozwalał na ciągle rejestrowanie naturalnego promieniowania gamma przy pomocy orientowanej sondy gamma, umieszczonej w bardzo małej odległości za świdrem, co umożliwiało efektywne sterowanie trajektorią odwiertu i utrzymywanie jej w obrębie pokładu węgla poprzez wczesne

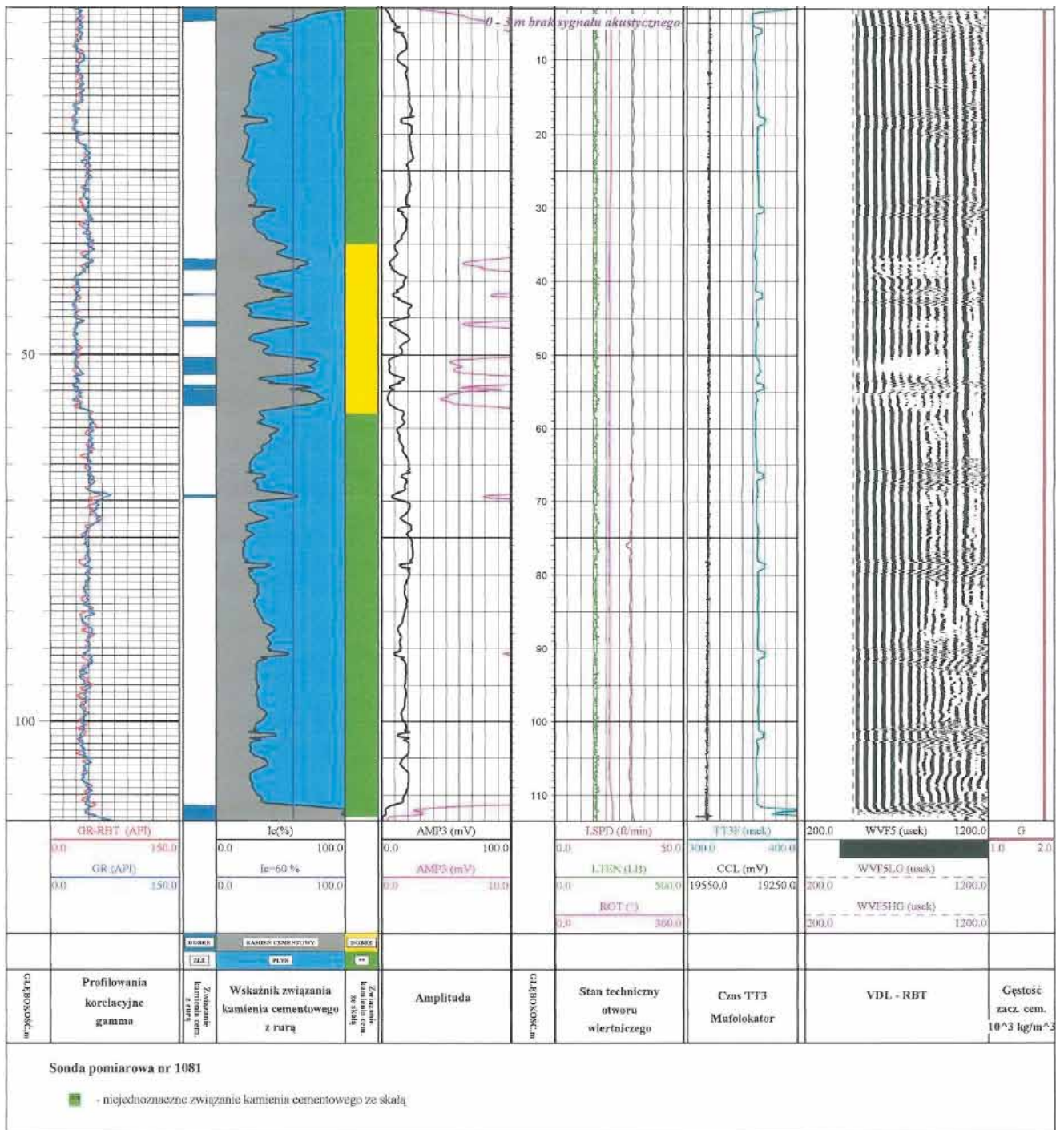


Fig. 46. Stan zacementowania rur $\varnothing$ 13 3/8" widoczny na zestawieniu wyników badań wykonanych cementomierzem RBT

Quality of cementing job in $\varnothing$ 13 3/8" casing tested by RBT

wykrywanie zbliżania świdra do stropu lub spągu pokładu węgla, tj. granicy litologicznej węgiel-iłowiec, manifestującej się wzrostem natężenia promieniowania gamma.

Przecięcie odwiertu pionowego (PIG 1) otworem poziomym (PIG 2H) zrealizowano przy pomocy systemu naprowadzającego RMRS (*Rotating Magnetic Ranging System*). Naprowadzanie odcinka horyzontalnego nastąpiło dzięki zastosowaniu specjalnej aparatury detekcyjnej umieszczonej w sondzie zapuszczonej do odwiertu pionowego

(PIG 1), która wykrywała pole magnetyczne wytwarzane przez emiter firmy Prime Horizontal, umieszczony w łączniku nad świdrem. Przecięcie odwiertu pionowego miało miejsce w odcinku zarurowanym rurą z włókna szklanego na głębokości 1312,8 m MD (974,9 m TVD), poniżej pokładu 510, a wejście w pokład 510 od głębokości 1318,0 m MD, przy całkowitym wejściu na głębokości 1320,0 m MD (ok. 2 m – wiercenie styczne ze spągiem pokładu 510).