

WSTĘP

REGIONALNE TŁO GEOLOGICZNE

Zestaw połączonych intersekcyjnie otworów wiertniczych Wesola PIG 1 i Wesola PIG 2H odwiercono w centralnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW), w rejonie graniczącym ze wschodnią i północno-wschod-

nią częścią zagłębia – fig. 1, 2. Zagłębie to stanowi regionalną jednostkę geologiczno-złożową, zbudowaną z karbońskich, molasowych utworów węglonośnych. Genetycznie zagłębie jest związane z waryscyjską epoką tektoniczną

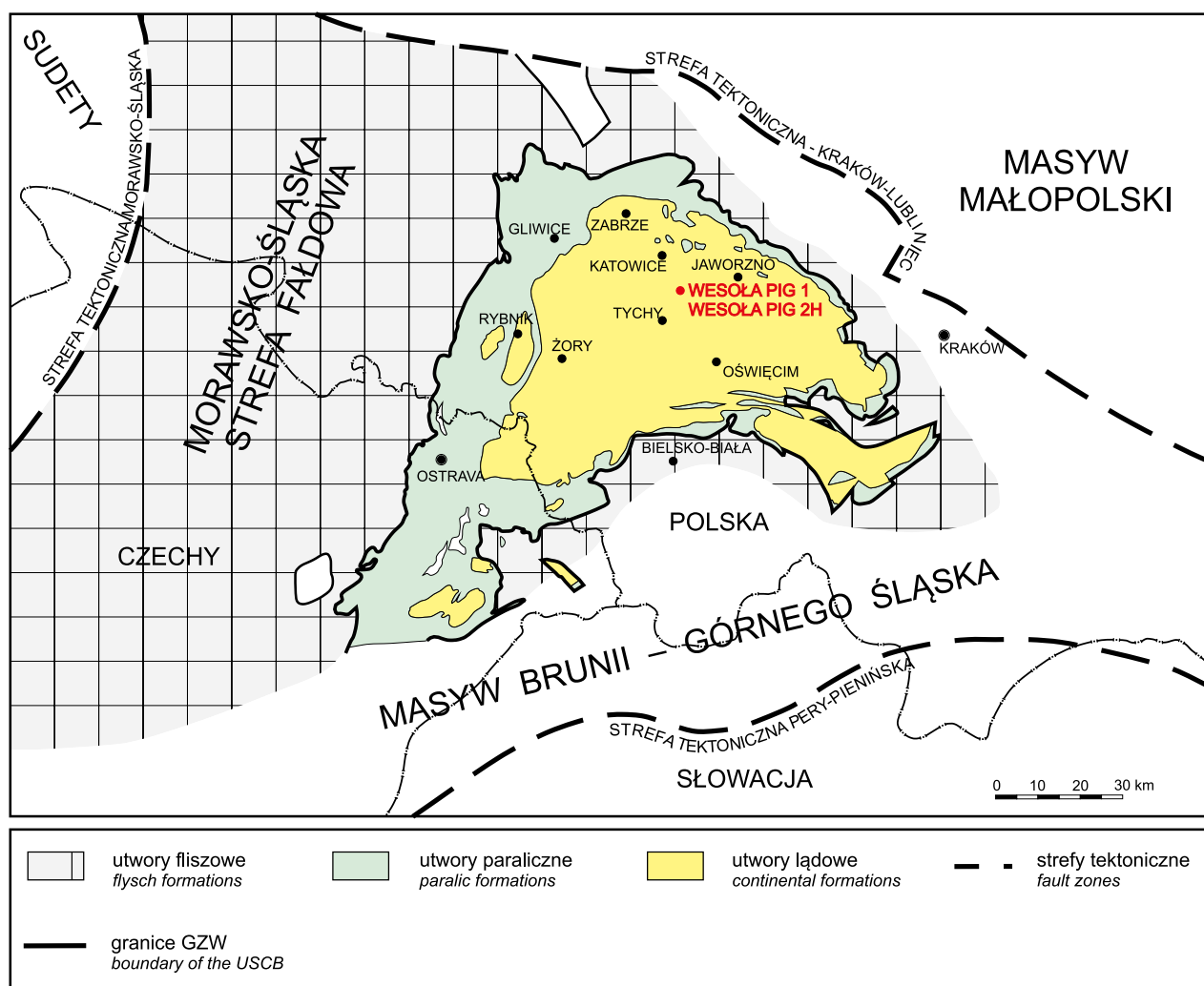


Fig. 1. Pozycja geologiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (Kotas, 1995 – ze zmianami; strefy tektoniczne wg Buły i in., 1997)

Geological setting of the Upper Silesian Coal Basin (after Kotas, 1995, changed; fault zones after Buły *et al.*, 1997)

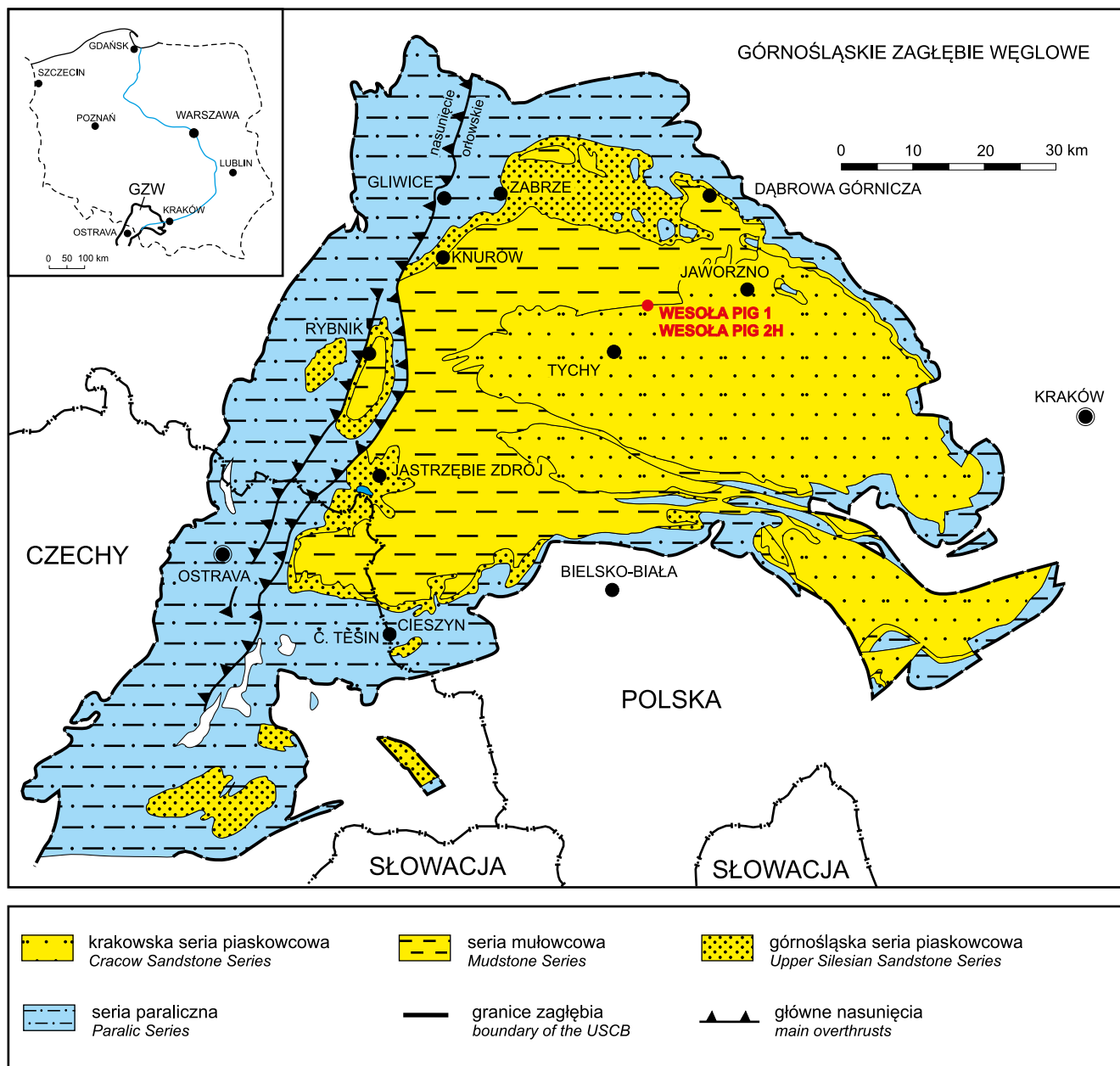


Fig. 2. Lokalizacja otworów wiertniczych Wesola PIG 1 i Wesola PIG 2H na tle mapy geologicznej GZW odkrytej po karbon (Jureczka i in., 1995 – uproszczona)

Location of the Wesola PIG 1 and Wesola PIG 2H boreholes against the background of the geological map of the USC – Carboniferous subcrop (Jureczka *et al.*, 1995 – simplified)

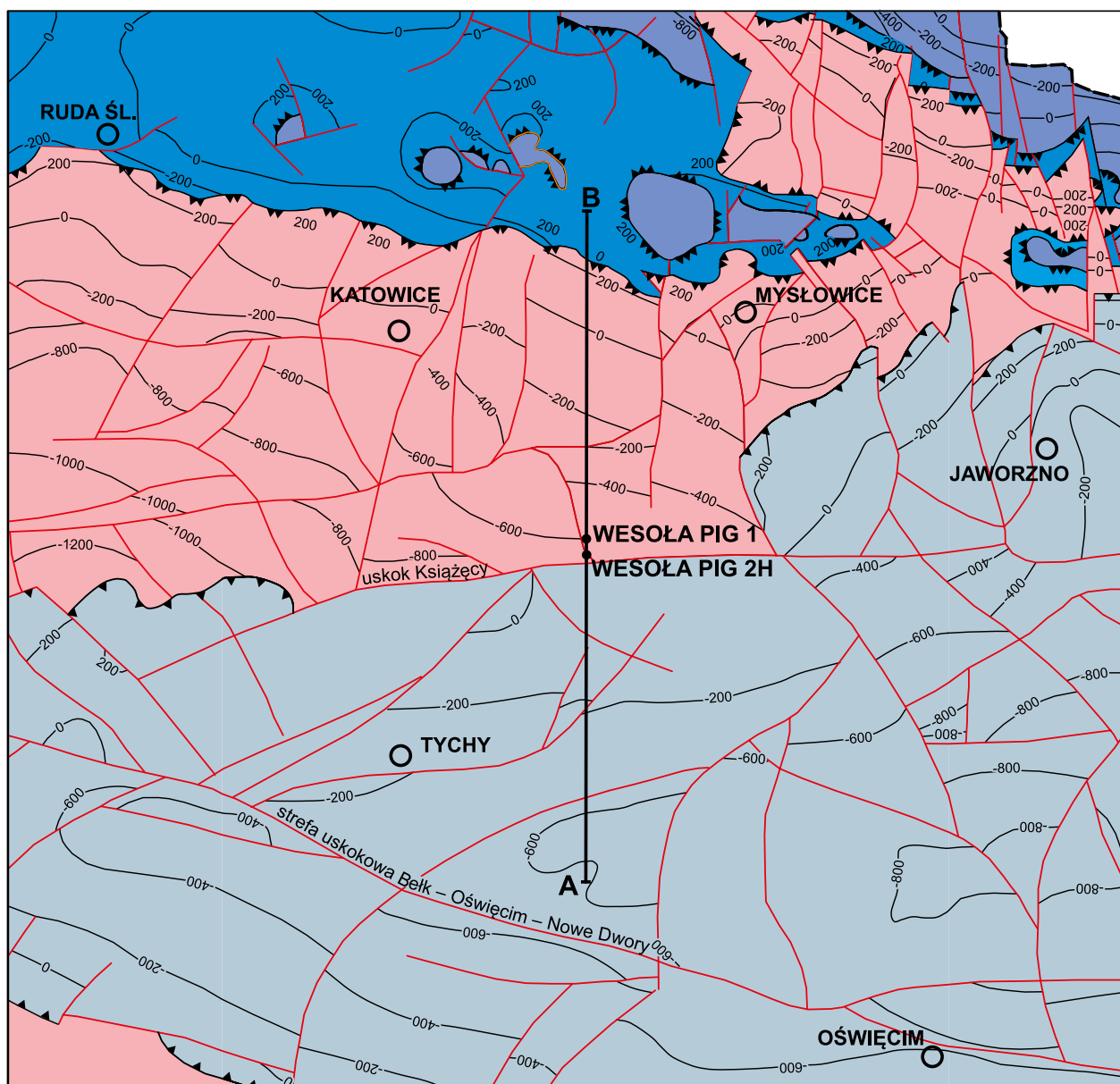
i powstało we wschodniej części basenu morawsko-śląskiego na segmencie prekambryjskiej jednostki tektonicznej określonej jako masyw Brunii – Górnego Śląska (Buła, Żaba, 2005) – [fig. 1](#). Segment ten jest zwany blokiem górnośląskim (Kotas, 1985a, b).

Geologicznie obszar zagłębia ([fig. 2](#)) definiuje zasięg spągu utworów węglonośnych karbonu, a w niewielkim

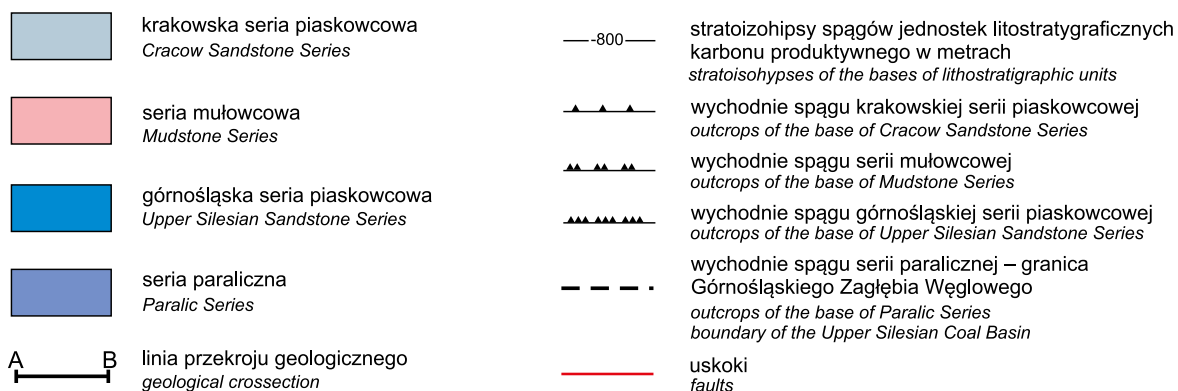
stopniu – także przebieg uskoku. Podłoże karbonu budują utwory prekambru, kambru i dewonu. Utwory karbonu rozpoczynają się od prefliszowej asocjacji węglanowej, przechodzącej w morskie osady klastyczne asocjacji fliszowej, a następnie w molasowe osady węglonośne (Kotas, 1995). Charakterystyczną cechą osadów węglonośnych karbonu jest ich wyraźna dwudzielność. Starszą część tworzą

Fig. 3. Położenie geologiczne otworów wiertniczych Wesola PIG 1 i Wesola PIG 2H w centralnej części GZW na tle mapy geologiczno-strukturalnej utworów karbonu (Jureczka i in., 2005)

Geological location of the Wesola PIG 1 and Wesola PIG 2H boreholes in the central part of the USC on the background geological map (Jureczka *et al.*, 2005)



0 5 10 15 km



utwory wykształcone w warunkach sedymentacji paralicznej, z wyraźnie zaznaczającymi się wpływami okresowych zalewów morskich (fig. 2 – kolor niebieski). Pozostałą, młodszą część, budują utwory wykształcone wyłącznie w warunkach lądowych (fig. 2 – kolor żółty), bez wpływów morskich, zalegające na utworach paralicznych z luką stratygraficzną. Największe miąższości utworów węglonośnych są notowane w strefie największej subsydencji basenu – w zachodniej części zagłębia. W kierunku wschodnim zaznacza się wyraźna stopniowa redukcja miąższości. W tym kierunku w obrębie utworów paralicznych zachodzą też zmiany facjalne, powodowane wysładzaniem i stopniowym zanikiem okresowych zalewów morskich, a także zwiększa się zasięg czasowy luki stratygraficznej na pograniczu utworów paralicznych i lądowych.

Profil utworów karbonu węglonośnego centralnej części zagłębia rozpoczynają osady deponowane w warunkach paralicznych. Ich miąższość w rejonie otworów Wesoła PIG 1 i PIG 2H wynosi ok. 900–1000 m. Litostratygraficznie są one wydzielane jako seria paraliczna (Kotas, Malczyk, 1972b), wiekowo zaliczana do namuru A. Osady te zalegają zgodnie, bez przerw sedymentacji, na morskich osadach siliciklastycznych, zbudowanych ze skał mułowcowo-piaszczystych, tzw. kulmu, ujmowanych jako warstwy malinowickie (wizen górny i namur dolny A), przechodzących lateralnie we wschodniej części zagłębia w warstwy zalaskie. Koniec sedymentacji paralicznej określa powierzchnia kontaktu z lądowymi utworami węglonośnymi wyższej części karbonu, które w tej części zagłębia stanowią główną część profilu utworów węglonośnych. Ich miąższość w rejonie otworów Wesoła PIG 1 i PIG 2H jest dość zmienna w granicach ok. 800–1400 m i jest implikowana przede wszystkim zróżnicowaniem budowy strukturalnej i regionalnym położeniem tektonicznym, a także zaleganiem erozyjnej powierzchni stropu karbonu. Sedymentację lądową rozpoczynają osady określone jako górnośląska seria piaskowcowa (Kotas, Malczyk, 1972a), wieku namur B–C. W centralnej części zagłębia seria ta ma zróżnicowaną miąższość, z bardzo wyraźną redukcją w kierunku wschodnim; w rejonie otworów Wesoła PIG 1 i PIG 2H ma ona ok. 160–220 m. Drugą jednostką litostratygraficzną osadów lądowych jest seria mułowcowa (Porzycki, 1972), zaliczana do westfalu A–B. Jest ona wykształcona monotonnie, z charakterystyczną cyklicznością; dominują osady drobnoklastyczne – mułowce i ilowce. Miąższość serii w rejonie omawianych otworów wynosi ok. 700–900 m. Sedymentację lądową utworów węglonośnych kończy krakowska seria piaskowcowa (Dembowski, 1972a), stratygraficznie zaliczana do westfalu B–D. W litologii serii dominują utwory piaszczysto-zlepieńcowe. Seria ta występuje na południe od lokalizacji omawianych otworów (w skrzydle zrzuconym uskoku książęcego), gdzie osiąga miąższość do ok. 350 m i jest reprezentowana przez dolną część – warstwy łaziskie (westfal B–C). Regionalne położenie zestawu otworów Wesoła PIG 1 i PIG 2H w centralnej części GZW na po-

graniczu z częścią wschodnią ilustruje figura 3, natomiast profil budowy geologicznej w rejonie otworu – przekrój geologiczny na figurze 4.

Nadkład karbonu w rejonie omawianych otworów tworzą utwory czwartorzędu, neogenu i triasu. Utwory karbonu w północnej części tego rejonu występują na ogół bezpośrednio pod czwartorzędem (najczęściej nie przekraczającym ok. 25–35 m miąższości), a miejscami tworzą wychodnie na powierzchni terenu. W części południowej (na południe od uskoku książęcego) w nadkładzie karbonu występują również osady neogenu (miocenu, maksymalnie do ok. 220 m) oraz triasu (pstręgo piaskowca i wapienia muszlowego, maksymalnie do ok. 130 m). Łączna grubość nadkładu karbonu jest silnie zróżnicowana, maksymalnie sięga do ok. 240 m.

Istotne znaczenie dla budowy geologicznej centralnej części GZW ma tektonika utworów karbońskich, będąca skutkiem działalności orogenezy waryscyjskiej. Rejon otworów Wesoła PIG 1 i PIG 2H znajduje się w obrębie strefy tektoniki dysjunktywnej, położonej na wschód od nasunięcia orłowskiego, które wyznacza granicę tej strefy z położoną dalej na zachód strefą tektoniki fałdowej (Kotas, 1972). Strefa tektoniki dysjunktywnej w stosunku do strefy tektoniki fałdowej, charakteryzującej się występowaniem nieciągłych zaburzeń w formie nasunięć, wykazuje inny charakter struktur tektonicznych. Utwory karbońskie leżą stosunkowo płasko, silnie rozwinięta jest tektonika uskoku, tworząca różne formy schodowe i zrębowe. Obecne są także duże równoleżnikowe strefy uskoku o zrzucie w kierunku południowym sięgającym 500–1000 m. Dominującą jednostką tektoniczną tej części zagłębia jest rozległa struktura synklinalna – niecka główna, obocznie przechodząca w mniejsze struktury antyklinalne i synklinalne. Otwory Wesoła PIG 1 i PIG 2H są zlokalizowane w północno-wschodniej części niecki głównej, na jej północnym skłonie, przechodzącym w południowe skrzydło, leżące od północy struktury antyklinalnej – siodła głównego. Tektonicznie rejon otworów przylega od północy do regionalnej, równoleżnikowej strefy uskoku Bełk – Oświęcim – Nowe Dwory (fig. 3), a bezpośrednio oba otwory leżą w skrzydle wiszącym równoleżnikowego uskoku książęcego, mającego charakter strefy uskoku o łącznym zrzucie do ok. 300–400 m w kierunku południowym.

Na obecny kształt budowy strukturalnej zagłębia znaczny wpływ wywarła również orogeneza alpejska. W czasie tej orogenezy starsze regionalne jednostki weszły w skład platformy epipaleozoicznej, stanowiącej przedpole lub podłoże luków fałdowych alpidów. Dominująca część zagłębia, w tym południowa część rejonu otworów Wesoła PIG 1 i PIG 2H, stanowi podłoże zapadliska przedkarpackiego, wypełnionego morskimi osadami miocenu. Wynikiem orogenezy alpejskiej jest także powstanie – prawdopodobnie w starszym paleogenie – skomplikowanej rzeźby terenu o dużych deniwelacjach i założeniach tektonicznych, która została wypełniona osadami molasowymi miocenu zapadliska przedkarpackiego (Jureczka, Martinec, 2005).

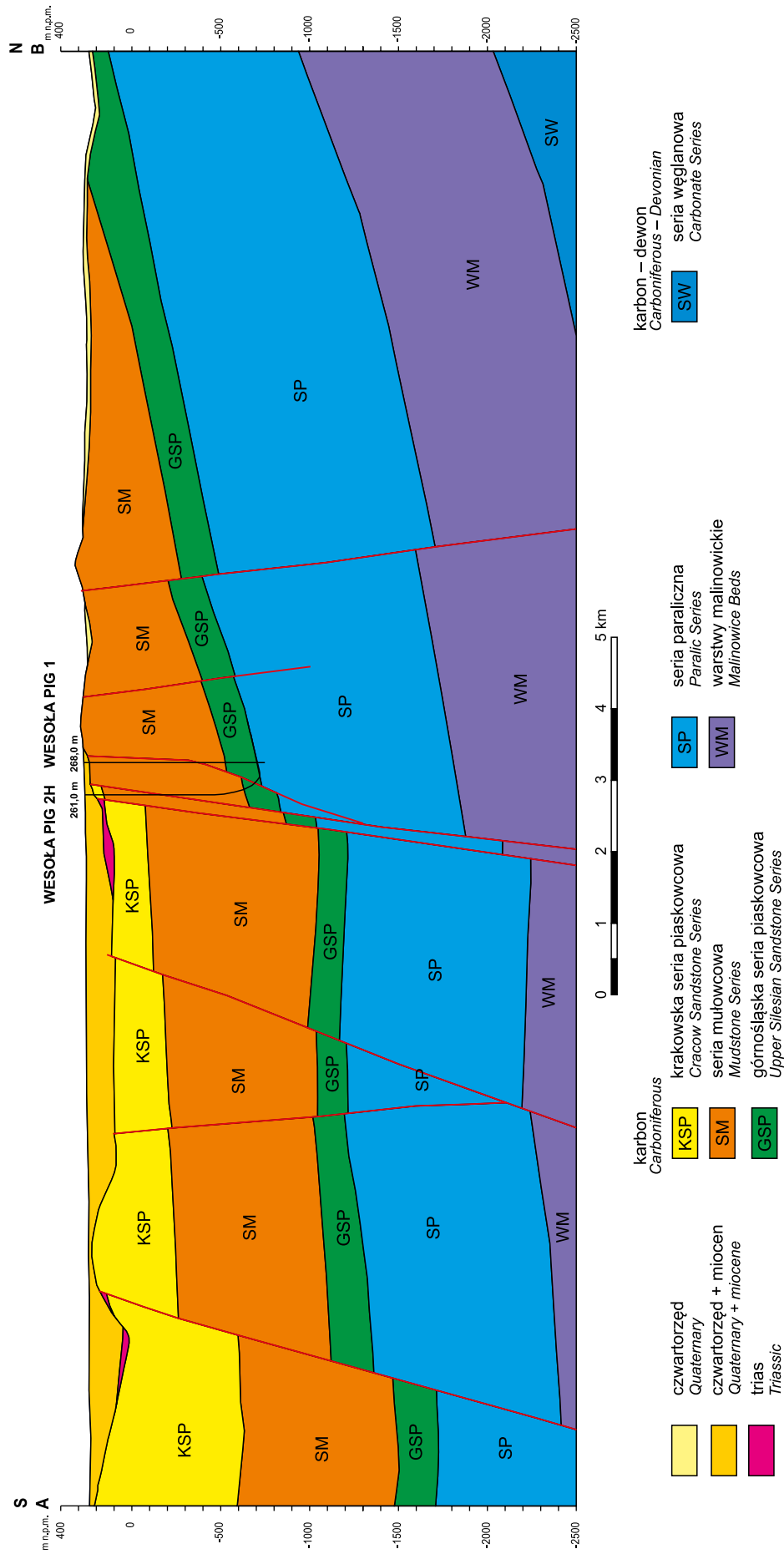


Fig. 4. Uproszczony przekrój geologiczny rejonu otworów Wesola PIG 1 i Wesola PIG 2H

Simplified geological cross-sections of the Wesola PIG 1 and Wesola PIG 2H boreholes area

CEL BADAŃ, LOKALIZACJA I PARAMETRY TECHNICZNE OTWORÓW WIERTNICZYCH

CEL WIERCENIA I BADAŃ

Zestaw otworów Wesoła PIG 1 i Wesoła PIG 2H wykonano na podstawie „Projektu robót geologicznych wykonania badawczego otworu wiertniczego Wesoła PIG 1 wraz z otworem horyzontalnym rozgałęzionym Wesoła PIG 2H” w celu oceny przedeksploatacyjnego odmetanowania pokładów węgla w połączeniu z odzyskiem metanu w obszarze górniczym KWK „Mysłowice–Wesoła” (Jureczka i in., 2013), zatwierdzonego przez Ministra Środowiska w 2013 r. Projekt ten opracowano w ramach przedsięwzięcia pt. „Przedeksploatacyjne odmetanowanie pokładów węgla otworami powierzchniowymi – ocena zastosowania w warunkach złożowych i górniczych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wraz z odwierceniem otworu badawczego”, realizowanego w latach 2012–2015 przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, w ramach zadań państwowej służby geologicznej.

Celem przedsięwzięcia było doświadczalne – poprzez wykonanie otworu badawczego – określenie warunków przedeksploatacyjnego odmetanowania i odzysku metanu powierzchniowymi otworami wiertniczymi w rejonach czynnych kopalń, z uwzględnieniem zastosowania hydraulicznego szczelinowania pokładów węgla. Przedsięwzięcie to w warunkach polskich miało nowatorski charakter, a wykonane otwory badawcze – charakter pilotażowy i parametryczny. W Polsce technologie wierconych z powierzchni otworów kierunkowych w złożach kopalń węgla kamiennego nie były wcześniej stosowane, a przeprowadzenie w takich otworach zabiegów szczelinowania w celu przedeksploatacyjnego odmetanowania było nowatorskie również w skali światowej. Stąd całość prac przedsięwzięcia miała charakter badawczo-rozwojowy, o potencjalnych – w przyszłości – możliwościach wykorzystania komercyjnego: rozpoczęcia szerokiego zakresu działań związanych z eksploatacją metanu, odmetanowaniem kopalń i poprawą bezpieczeństwa pracy w kopalniach. Wdrożenie tej metody odmetanowania miałyby też istotne znaczenie środowiskowe, poprzez ograniczanie emisji metanu z kopalń i zmniejszanie wpływu na efekt cieplarniany.

W wyniku przeprowadzonej analizy złóż kopalń metanowych, na lokalizację badań wybrano kopalnię „Mysłowice–Wesoła”. Analiza warunków złożowych i górniczych tej kopalni, uwzględniająca elementy środowiskowe powierzchni, określiła podstawowe założenia technologii

wiercenia dla realizacji eksperymentu badawczego polegające na:

- odwierceniu otworu pionowego Wesoła PIG 1 do pokładów 501–510;
- odwierceniu z drugiej lokalizacji powierzchniowej kierunkowego wiercenia Wesoła PIG 2H, z odcinkiem horyzontalnym w pokładach 501–510 – za przecięciem intersekcyjnym z osią wiercenia Wesoła PIG 1.

Bezpośrednim celem badawczym zaprojektowanych wiercen był:

- szczegółowe rozpoznanie profilu geologicznego utworów karbonu węglonośnego do głęb. 1000 m (przewiercenie spągu górnośląskiej serii piaskowcowej i pokładów węgla 501–510);
- określenie metanonośności oraz własności fizycznych, chemicznych, petrofizycznych i petrograficznych przewiercanych pokładów węgla na podstawie próbek z rdzenia;
- wykonanie profilowań geofizycznych;
- przeprowadzenie wstępnych testów dopływu metanu z pokładów węgla 501–510, z zastosowaniem szczelinowania hydraulicznego.

W zestawie połączonych otworów, zadaniem otworu pionowego Wesoła PIG 1, częściowo rdzeniowanego, było przede wszystkim rozpoznanie profilu geologicznego i rozkładu metanonośności pokładów węgla oraz dostarczenie materiału do badań laboratoryjnych. Otwór ten następnie w czasie testów dopływu metanu służył jako otwór produkcyjny z zapuszczonym zestawem wgłębnym do pompowania wód złożowych i gazu. Z kolei zadaniem otworu kierunkowego Wesoła PIG 2H (bezdzeniowego), intersekcyjnego do otworu pionowego, było udostępnienie pokładów węgla 501–510 poprzez odcinek horyzontalny dla umożliwienia dopływu metanu w czasie testów, a także przeprowadzenia zabiegów szczelinowania hydraulicznego (Jureczka i in., 2013).

Lokalizację zestawu otworów zintegrowano z projektowanymi robotami górniczymi w KWK „Mysłowice–Wesoła” tak, aby po zakończeniu testów dopływu metanu można było rozpocząć eksploatację pokładu węgla, w którym usytuowano wiercenie horyzontalne, a tym samym zweryfikować wynik eksperymentu i potencjalny spadek metanonośności węgla. Założone cele i zadania otworów badawczych w pełni zrealizowano. Wyniki prac zestawiono w dokumentacji geologiczno-wynikowej, opracowanej w Oddziale Górnośląskim PIG-PIB w Sosnowcu (Jureczka i in., 2015).

POŁOŻENIE ADMINISTRACYJNE I GEOLOGICZNO-GÓRNICZE

Pod względem administracyjnym otwory Wesoła PIG 1 i Wesoła PIG 2H są położone w obrębie powiatu grodzkiego miasta Katowice (dzielnica Murcki), w województwie śląskim. Geologicznie odwierty zlokalizowa-

no w obrębie złoża węgla kamiennego „Wesoła” (partia Az), położonego w centralnej części Górnośląskiego

Zagłębia Węglowego, na północnym skłonie niecki głównej. Pod względem górniczym omawiane otwory odwiercono w granicach obszaru górniczego „Wesoła II” Kopalni Węgla Kamiennego „Mysłowice–Wesoła”. Lokalizację otworów Wesoła PIG 1 i PIG 2H na szkicu sytuacyjnym przedstawiono na [figurze 5](#), a współrzędne kartograficzne w układach 1992, 2000/6 oraz geograficznym – w [tabeli 1](#).

PODSTAWOWE INFORMACJE O OTWORACH WESOŁA PIG 1 I WESOŁA PIG 2H

Zestawienie podstawowych informacji o pracach wiertniczych, serwisowych i badaniach polowych w otworach Wesoła PIG 1 i PIG 2H przedstawiono w [tabelach 2 i 3](#), konstrukcję otworów i zarurowanie – w [tabelach 4 i 5](#), natomiast użyte w czasie wiercenia narzędzia wiertnicze – w [tabelach 6 i 7](#).

POBÓR RDZENIA I PRÓBEK OKRUCHOWYCH

Otwór Wesoła PIG 1 był rdzeniowany w odcinku 591–1000 m, natomiast otwór Wesoła PIG 2H na całej długości wiercony był bezrdzeniowo. Rdzeń z otworu Wesoła PIG 1 był pobierany przy pomocy aparatu wrzutowego, systemem ciągłego rdzeniowania. Niemal w całym odcinku rdzeniowanym uzyskano 100% uzysku rdzenia. Niski uzysk rdzenia (17%) odnotowano tylko w interwale głęb. 607–615 m, a dość znaczące ubytki stwierdzono także w interwałach 887–893 m (80% uzysku rdzenia) i 903–905 m (83%). Nieznaczne ubytki rdzenia, na ogół w granicach 3–4%, stwierdzono również w siedmiu innych, kilkumetrowych odcinkach. Osiągnięty zakres

rdzeniowania był całkowicie wystarczający do zebrania informacji określających cel geologiczno-złożowy wiercenia.

Z odcinków bezrdzeniowych (z obu otworów) co 5 metrów bieżących wiercenia pobrano próbki okruchowe, w dwóch zestawach:

- próbki mokre (co 5 metrów bieżących wiercenia);
- próbki przemyte i wysuszone (co 10 metrów bieżących wiercenia).

PRZEBIEG WIERCEŃ, BADANIA W TRAKCIE I PO ZAKOŃCZENIU WIERCEŃ, OPRÓBOWANIE

Wiercenie otworów Wesoła PIG 1 i Wesoła PIG 2H przebiegało bez większych awarii. Przed rozpoczęciem wierceń wykonano roboty wstępne i przygotowawcze obejmujące: prace geodezyjne z weryfikacją lokalizacji szybów

otworów stosunku do podziemnej infrastruktury górniczej, badania środowiskowe gleb i wód, przygotowanie i uzbrojenie terenów wiertni wraz z instalacją bodni i rury obsadowej, montaż urządzeń wiertniczych.

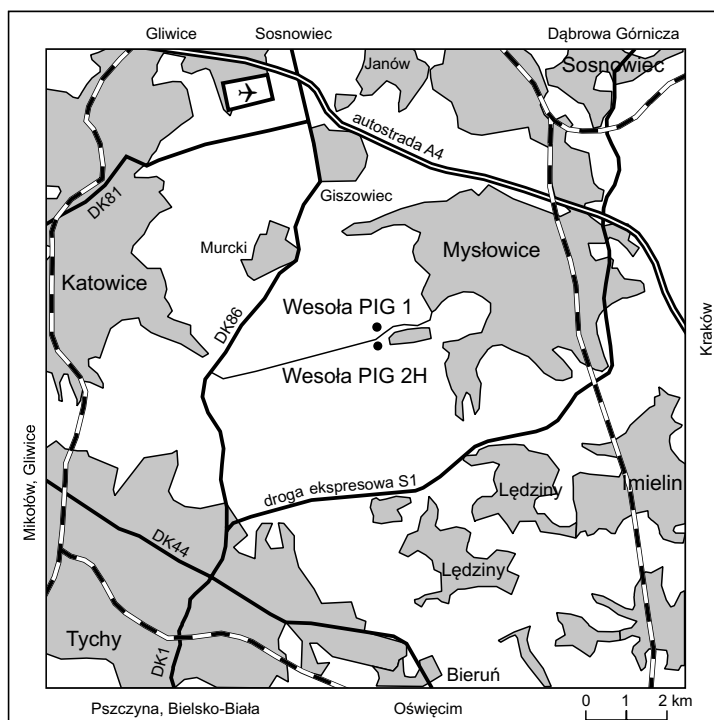


Fig. 5. Szkic lokalizacyjny otworów wiertniczych Wesoła PIG 1 i Wesoła PIG 2H

Locality sketch map of the Wesoła PIG 1 and Wesoła PIG 2H boreholes

Tabela 1

Współrzędne otworów wiertniczych Wesoła PIG 1 i Wesoła PIG 2H

Coordinates of the Wesoła PIG 1 and Wesoła PIG 2H boreholes

Otwór Borehole	Układ współrzędnych Coordinate system				Współrzędne geograficzne WGS84 Geographic coordinate system		Wysokość [m n.p.m.]
	1992		2000/6		długość	szerokość	Geographic height [m a.s.l.]
	x	y	x	y			
Wesoła PIG 1	257094,9	505456,4	5561111,3	6576879,6	19°04'35,20"E	50°10'51,76"N	268,0
Wesoła PIG 2H	256638,8	505454,2	5560654,9	6576883,6	19°04'35,07"E	50°10'36,99"N	261,0

Tabela 2

Otwór wiertniczy Wesola PIG 1 – informacje podstawowe
Wesola PIG 1 borehole – basic information

Wiercenie Drilling	
Zamawiający Operator	Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
Wykonawca Contractor	EXALO Drilling S.A., Centrum Kraków
Urządzenie wiertnicze Drilling rig	SKY TOP BREWSTER RE 650
Data rozpoczęcia wiercenia Spud date	11.12.2013 r.
Data zakończenia wiercenia Completion date	12.01.2014 r.
Głębokość końcowa Total depth	1000,00 m
Rdzeniowanie Coring	591,00–1000,00 m
System rdzeniowania Coring system	ciągły pobór rdzenia – system $\square 6 \frac{3}{4} \times 2,02$ " firmy Halliburton
Średnica rdzenia Core diameter	$\square 2,02$ ", 51,3 mm
Serwisy i badania polowe Wellsite services and well data acquisition	
Serwis kierunkowy Directional drilling	EXALO Drilling S.A., Centrum Kraków
Rdzeniowanie Coring	Petro Gas Sp. z o.o. (Halliburton Company)
Instalacja rur okładzinowych i cementacja Casing and cementing	S.C. Exalo Centrum Wołomin
Serwis doszczelniania więzby Casing head service	Nafta-Gaz – Serwis S.A., Sanok
Pomiary geofizyczne Well logging	Geofizyka Kraków Sp. z o.o.
Laboratorium kontrolno-pomiarowe Mudlogging	Geokrak Sp. z o.o., Kraków
Laboratorium desorpcji węgla Coal desorption	Geokrak Sp. z o.o., Kraków
Testy dopływu metanu Gas flow testing	Exalo Drilling S.A., Centrum Krosno
Badania środowiskowe Environmental testing	Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
Nadzór i dozór prac Wellsite management and supervision	
Kierownicy otworu Tool pushers	Jacek Stanisław, Zbigniew Janik (EXALO Drilling S.A., Centrum Kraków)
Nadzór geologiczny Geological supervision	Janusz Jureczka (Państwowy Instytut Geologiczny – PIB)
Dozór geologiczny Wellsite geologists	Andrzej Spinczyk, Dariusz Gmur (Geokrak Sp. z o.o., Kraków)
Kierownicy laboratorium kontrolno-pomiarowego Mudlogging data engineers	Janusz Konicki, Marek Jamka (Geokrak Sp. z o.o., Kraków)
Kierownik laboratorium desorpcji węgla Head of coal desorption lab	Marek Jarocho (Geokrak Sp. z o.o., Kraków)

Przebieg wiercenia otworu Wesola PIG 1

Po osadzeniu rury obsadowej, bezrdzeniowo odwiercono otwór o średnicy $\varnothing 12 \frac{1}{4}$ " do głęb. 154 m, w przystropowej partii utworów karbonu w serii mułowcowej. Następnie otwór zarurowano rurami $\varnothing 9 \frac{5}{8}$ " (cementowanymi do wierzchu), w celu zamknięcia płytkich poziomów wodonosnych (czwartorzędowego i piaskowców stropowej partii karbonu), a także strefy płytkich zrobów pokładu 318. Na rurach $\varnothing 9 \frac{5}{8}$ " zamontowano głowicę przeciwerupcyjną.

Dalsze wiercenie w karbonie było prowadzone średnicą $\varnothing 8 \frac{1}{2}$ ", częściowo z wykorzystaniem – do osiągnięcia odcinka rdzeniowanego – silnika wgłębnego z systemem pomiarowym MWD i serwisu kierunkowego. Od głębokości 591 m do końcowej głębokości otworu (1000 m) stosowano ciągły pobór rdzenia wiertniczego, aparatem rdzeniowym umożliwiającym przynajmniej 95-procentowy uzysk rdzenia i jego wydobywanie na powierzchnię w bardzo krótkim czasie – kilkunastu minut. Po osiągnięciu końcowej głębokości wykonano pomiary geofizyczne, a następnie otwór

Tabela 3

Otwór wiertniczy Wesola PIG 2H – informacje podstawowe

Wesola PIG 2H borehole – basic information

Wiercenie Drilling	
Zamawiający Operator	Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
Wykonawca Contractor	EXALO Drilling S.A., Centrum Kraków
Urządzenie wiertnicze Drilling rig	MR-8000 (z górnym napędem Top Drive)
Data rozpoczęcia wiercenia Spud date	8.02.2014 r.
Data zakończenia wiercenia Completion date	22.03.2014 r.
Głębokość końcowa MD Total depth MD	1918,00 m
Głębokość końcowa TVD Total depth TVD	904,00 m
Głębokość intersekcji z PIG 1 Intersection depth	1312,80 m MD
Długość odcinka poziomego w pokładzie 510 Length of in-seam horizontal section (in the 510 seam)	600 m
Serwisy i badania polowe Wellsite services and well data acquisition	
Serwis kierunkowy MWD MWD directional service	EXALO Drilling S.A., Centrum Kraków
Serwis kierunkowy MWD/LWD MWD/LWD directional service	Scientific Drilling
Serwis intersekccyjny RMRS RMRS intersection service	Prime Horizontal Ltd
Instalacja rur okładzinowych i cementowanie Casing and cementing	S.C. Exalo Centrum Wołomin
Serwis doszczelniania więzby Casing head seal activation services	Nafta-Gaz – Serwis S.A., Sanok
Pomiary geofizyczne Well logging	Geofizyka Kraków Sp. z o.o.
Laboratorium kontrolno-pomiarowe Mudlogging	Geokrak Sp. z o.o., Kraków
Szczelinowanie hydrauliczne Fracture stimulation	Halliburton Company
Badania środowiskowe Environmental testing	Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
Nadzór i dozór prac Wellsite management and supervision	
Kierownicy otworu Tool pushers	Krzysztof Guzowski, Grzegorz Małopolski, Jacek Stanisław (EXALO Drilling S.A., Centrum Kraków)
Nadzór geologiczny Geological supervision	Janusz Jureczka (Państwowy Instytut Geologiczny – PIB)
Dozór geologiczny Wellsite geologists	Andrzej Spinczyk, Izabela Wójcik (Geokrak Sp. z o.o., Kraków)
Kierownik laboratorium kontrolno-pomiarowego Mudlogging data engineer	Janusz Konicki (Geokrak Sp. z o.o., Kraków)

zarurowano do głębokości 1000 m kolumną produkcyjną Ø 7" (cementowaną do wierzchu), zestawioną z rur stalowych oraz z jednej rury z włókna szklanego (w pokładzie 510), umożliwiającej przecięcie z otworem horyzontalnym Wesola PIG 2H.

Przebieg wiercenia otworu Wesola PIG 2H

Otwór Wesola PIG 2H na całej długości wiercono bezrzeniowo, przy czym pierwsze dwie sekcje otworu – do głęb. 501 m – wiercono były pionowo, a następne sekcje – kierunkowo i horyzontalnie.

Po odwierceniu otworu o średnicy Ø 17 ½" do głęb. 113 m otwór zarurowano rurami Ø 13 3/8" (cementowanymi do wierzchu), w celu odizolowania luźnych utworów czwartorzędowych i neogeńskich z horyzontami wodonośnymi, a także – zwietrzałych, stropowych partii karbonu. Następnie otwór był głębiany świdrem Ø 12 ¼" do głęb. 501 m. Po jej osiągnięciu, otwór zarurowano kolumną rur Ø 9 5/8", cementowaną do wierzchu, na której zamontowano głowicę przeciwerupcyjną. Posadowienie tej kolumny rur miało na celu odcięcie strefy tektonicznej uskoku książęcego.

Kolejną sekcję o średnicy 8 ½" wiercono zestawem z silnikiem wgłębnym (MWD) z budowaniem krzywizny

Tabela 4

Konstrukcja otworu Wesola PIG 1
Drilling and casing program of the Wesola PIG 1 borehole

Średnica i zarurowanie Hole diameter and casing				
Nazwa sekcji Casing string	Średnica otworu [cale] Diameter of hole [inch]	Średnica rur okładzinowych [cale] Casing size [inch]	Cementowanie Interval of cementation	Głębokość/Interwał [m] Casing depth [m]
Rura obsadowa (blaszanka) Surface casing		20"	blaszanka wciskana	0–7
Kolumna przewodnikowa Conductor casing	12 ¼"	9 5/8"	do wierzchu	0–154
Kolumna eksploatacyjna Production casing	8 ½"	7" *	do wierzchu	0–1000 m (głęb. końcowa otworu)
Uzbrojenie Surface equipment				
Wieżba klinowa Casing head	9 5/8" × 7" / 21 MPa produkcji Nafta Gaz Sanok			
Głowica Well head	11" × 7 1/16" / 21 MPa produkcji Nafta Gaz Sanok			

* w zestawie kolumny rur Ø 7" w głębokości 977,69–968,20 m rura z włókna szklanego (GRE Down Hole Casing Series 1500#, API-LTC)

* a fibre glass section (GRE Down Hole Casing Series 1500#, API-LTC) at the depth of 977,69–968,20 m in the Ø 7" casing string

Tabela 5

Konstrukcja otworu Wesola PIG 2H
Drilling and casing program of the Wesola PIG 2H borehole

Średnica i zarurowanie Hole diameter and casing				
Nazwa sekcji Casing string	Średnica otworu [cale] Diameter of hole [inch]	Średnica rur okładzinowych [cale] Casing size [inch]	Cementowanie [m] Interval of cementation [m]	Głębokość/Interwał [m] CSG depth [m]
Rura obsadowa (blaszanka) Surface casing		20"	blaszanka wciskana	0–9
Kolumna przewodnikowa Conductor casing	17 ½"	13 3/8"	do wierzchu	0–113
Kolumna pośrednia Intermediate casing	12 ¼"	9 5/8"	do wierzchu	0–501
Kolumna techniczna Intermediate casing	8 ½"	7"	1189–400	0–1189 MD
Odcinek niezarurowany Open hole	5 7/8"			1189–1918 MD (głęb. końcowa otworu)
Uzbrojenie Surface equipment				
Wieżba klinowa Casing head	13 5/8" × 9 5/8" × 7" / 21 MPa produkcji Nafta Gaz Sanok			
Głowica Well head	11" × 7 1/16" / 21 MPa produkcji Nafta Gaz Sanok			

Tabela 6

Zestawienie użytych narzędzi wiertniczych do wiercenia otworu Wesola PIG 1
Bits used to drill the Wesola PIG 1 borehole

Interwał [m] Interval [m]	Średnica [cale] Diameter [inch]	Narzędzie wiertnicze Drill bit				Uwierł [m] Drilled interval [m]	Postęp [m/h] Penetration rate [m/h]
		Producent Manufacturer	Typ Type	Seria Serial number	Dysze Jets		
7–154	12 ¼"	KDC	PDC 657 SX	070113	3 × 12, 4 × 14	147	9,01
154–591	8 1/2"	Varel	PDC	9623A sn: 9623A	3 × 15 TFA: 0,7517	437	19,70
591–615	8 1/2" × 2.02"	HDBS	koronka	FC264 sn: 7990368	TFA: 1,33	24	5,10
615–1000	8 1/2" × 2.02"	HDBS	koronka	FC3743 sn: 11584329	TFA: 1,55	385	2,64

Tabela 7

Zestawienie świdrów użytych do wiercenia otworu Wesola PIG 2H

Bits used to drill the Wesola PIG 2H borehole

Interwał [m] Interval [m]	Średnica [cale] Diameter [inch]	Narzędzie wiertnicze Drill bit			Uwier [m] Drilled interval [m]	Postęp [m/h] Penetration rate [m/h]
		Typ Type	Seria Serial number	Dysze Jets		
9–65	17 1/2	XR+CPS	YA 7428	3 × 18 0,7455	54,0	3,9
65–113					48,0	1,0
113–145	12 1/4	Glinik MBM 3GVSX	170	2 × 15, 1 × 17 0,5668	32,0	3,0
145–171					26,0	3,6
171–501	12 1/4	KDC 657SX	07113	4 × 14, 3 × 11 0,8797	330,0	7,6
501–530	8 1/2	MKS 75 ODG 1	9623A	5 × 13 0,6481	29,0	6,3
530–1058					528,0	6,9
1058–1192	8 1/2	KDC 666M	900127	4 × 18 0,9940	134,0	4,2
1192–1259	5 7/8	MDi 513	JH8867	5 × 13 0,6481	67,0	2,7
1259–1360					101,0	3,6
1360–1824					464,0	11,0
1824–1918					94,0	13,1

otworu. System pomiarowy MWD (*measured while drilling*) umożliwiał rejestrację azymutu, kąta nachylenia, położenia czoła świdra oraz niektórych parametrów technicznych wiercenia. Od głęb. 670,00 m otwór był intensywnie krzywiony w kierunku północnym, aby przy głębokości – mierzonej po trajektorii otworu – 1183,70 m (głęb. pionowa – 985,00 m), osiągnąć kąt – 94,93° w azymucie 0,9°. Taka trajektoria spowodowała odejście rzutu głębokości końcowej o 334,35 m w kierunku północnym. W czasie wiercenia natrafiono na nierozpoznaną wcześniej sytuację tektoniczną, której skutkiem było przejście osi wiercenia w płaszczyźnie zrzutu pokładów 501–510, a w konsekwencji osiągnięcie stropowej części warstw porębskich bez przewiercenia tych pokładów (skrót tektoniczny) – [fig. 6](#). Po odwierceniu sekcji kierunkowej, otwór zarurowano kolumną Ø 7" do głęb. 1189,00 m, zacementowaną na zakładkę do głęb. 400,00 m.

Dalsze wiercenie w sekcji horyzontalnej o średnicy Ø 5 7/8" prowadzono zestawem z silnikiem wgłębnym, z użyciem systemów pomiarowych MWD i LWD. System LWD (*logging while drilling*) pozwalał na ciągłe rejestrowanie naturalnego promieniowania gamma, przy pomocy sondy gamma umieszczonej za świdrem. Umożliwiało to efektywne sterowanie trajektorią odwiertu i utrzymywanie jej w obrębie pokładu węgla, poprzez wczesne wykrywanie zbliżania się świdra do stropu lub spągu pokładu węgla, sygnalizowanego wzrostem natężenia promieniowania gamma. Wiercenie otworu od buta rur 7" prowadzono pod spągiem pokładu 510 ze zmniejszającą się odległością od jego spągu, aż do przecięcia (intersekcji) z otworem pionowym Wesola PIG 1 – [fig. 6](#). Do przecięcia wykorzystano system naprowadzający RMRS (*Rotating Magnetic Ranging System*). Naprowadzanie odcinka horyzontalnego uzyskano za pomocą specjalnej aparatury detekcyjnej umieszczonej w sondzie zapuszczonej do odwiertu pionowego (Wesola PIG 1), wykrywającej 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 głęb. 1312,80 m MD (974,90 m TVD). Następnie wiercenie było kontynuowane w pokładzie 510 z kątem ok. 96–97° na długości 600 m, do osiągnięcia głęb. końcowej 1918,00 m MD. Po zakończeniu wiercenia sekcja horyzontalna pozostała niezarurowana.

Badania w trakcie i po zakończeniu wiercenia, opróbowanie

W trakcie wierceń obu otworów wykwalifikowany personel geologiczny sprawował ciągły (całodobowy) dozór geologiczny, odpowiedzialny za pobór próbek (próbki okruchowe i rdzeń), opis i obmiar rdzenia, bieżące prowadzenie dokumentacji, sporządzanie charakterystyki geologicznej przewierconych warstw, a także monitorowanie wskazań detektora gazu w płucce oraz stężenia metanu.

Na obu otworach zainstalowano polowe laboratorium kontrolno-pomiarowe (*mudlogging*), w celu rejestracji parametrów wiercenia i wykrywania węglowodorów. Laboratorium posiadało wyposażenie umożliwiające automatyczny monitoring oraz system gromadzenia i przetwarzania danych geologiczno-złożowych i wiertniczych, obejmujący parametry rejestrowane bezpośrednio z czujników oraz z przetwarzania i kalkulacji. Zakres parametrów z czujników obejmował m.in.: głębokość otworu i położenie świdra, ciężar na haku, obroty stołu, ciśnienie tłoczenia pomp płuczkowych, wypływ płuczki z otworu oraz zgazowanie płuczki (metanomierz + chromatograf). Zakres parametrów z przetwarzania i kalkulacji danych obejmował m.in.: postęp mechaniczny wiercenia, nacisk na świder, wydajność pomp, bilans płuczki oraz gradienty ciśnień – porowego, szczelinowania, nadkładu. Do gromadzenia i przetwarzania danych geologiczno-złożowych i wiertniczych zainstalowano oprogramowanie użytkowe umożliwiające między innymi

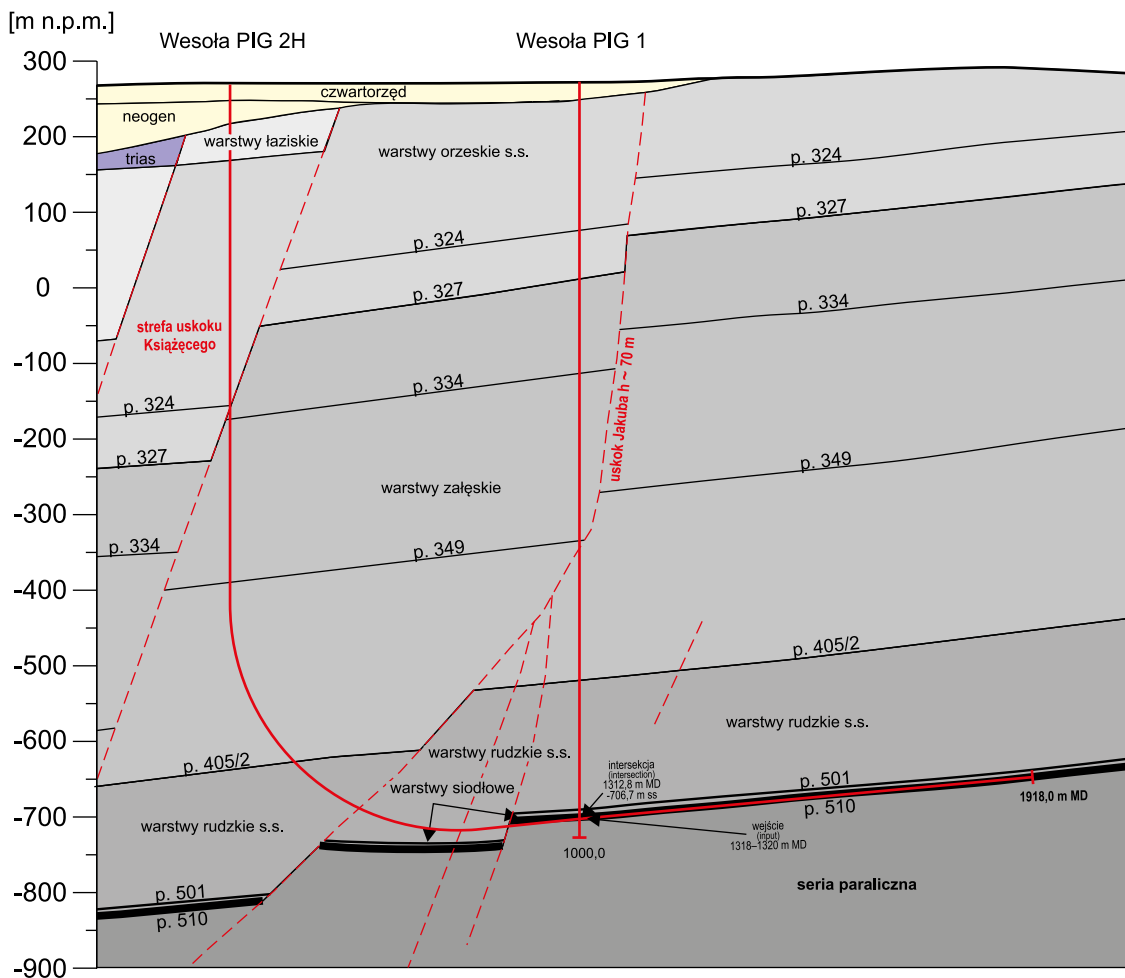


Fig. 6. Trajektoria osi wiercenia Wesola PIG 2H z uwzględnieniem otworu Wesola PIG 1 i miejsca intersekcji

Drilling trajectory of the Wesola PIG 2H borehole including the Wesola PIG 1 borehole and intersection depth

bieżące uzyskiwanie następujących profili („logów”): geologicznego, gazowego, technicznego – wiertniczego i płuczkowego, ciśnieniowego i temperatury.

Podstawowym celem badań próbek pobieranych z rdzenia było określenie zawartości gazu (metanonośności), a także własności fizycznych, chemicznych, petrofizycznych i petrograficznych przewierczanych pokładów węgla. W trakcie wiercenia otworu Wesola PIG 1 zainstalowano polowe laboratorium dla desorpcji węgla, w którym wykonywano pierwszą fazę badań gazowych (metanonośności). Do badań gazowych pobierano próbki rdzenia węglowego na dwie metody badawcze:

- swobodnej desorpcji (testy desorpcji) amerykańską metodą USBM;
- jednofazowej degazacji próżniowej w tzw. „pojemnikach z kulami” metodą stosowaną w polskim górnictwie węglowym.

Próbki do badań na obie metody pobierane były obok siebie, z każdego metra rdzenia węglowego, dla pokładów o grubości przynajmniej 1,0 m. Łącznie pobrano po 31 próbek dla każdej metody z 14 pokładów węgla w interwale

głęb. 660,55–977,10 m (od pokładu 361 do pokładu 510). Wszystkie próbki pobrano do hermetycznych pojemników bezpośrednio po wyjęciu rdzenia z otworu. Testy desorpcji, ze względu na przyjętą metodykę, rozpoczęto w laboratorium polowym i prowadzono je do zakończenia wiercenia. W czasie desorpcji pojemniki z próbkami utrzymywano w temperaturze złożowej, a pomiary objętości gazu dokonywano zgodnie z metodyką USBM. Po zakończeniu wiercenia desorpcja była kontynuowana w laboratorium stacjonarnym. Do laboratorium stacjonarnego przekazano również próbki w pojemnikach z kulami, a także niezależnie pobrane próbki na badania petrofizyczne. Schemat opróbowania węgla oraz rodzaje dalszych badań w laboratoriach stacjonarnych na próbkach po zakończeniu testów desorpcji zaprezentowano na [figurze 7](#), natomiast zestawienie wszystkich badań na rdzeniu i próbkach z otworu Wesola PIG 1 – w [tabeli 8](#).

Badania geofizyki otworowej przeprowadzono głównie w otworze Wesola PIG 1. Ich celem było:

- ustalenie w odcinku bezrdzeniowym litologii profilu utworów karbonu, ze szczególnym uwzględnieniem pokładów węgla;

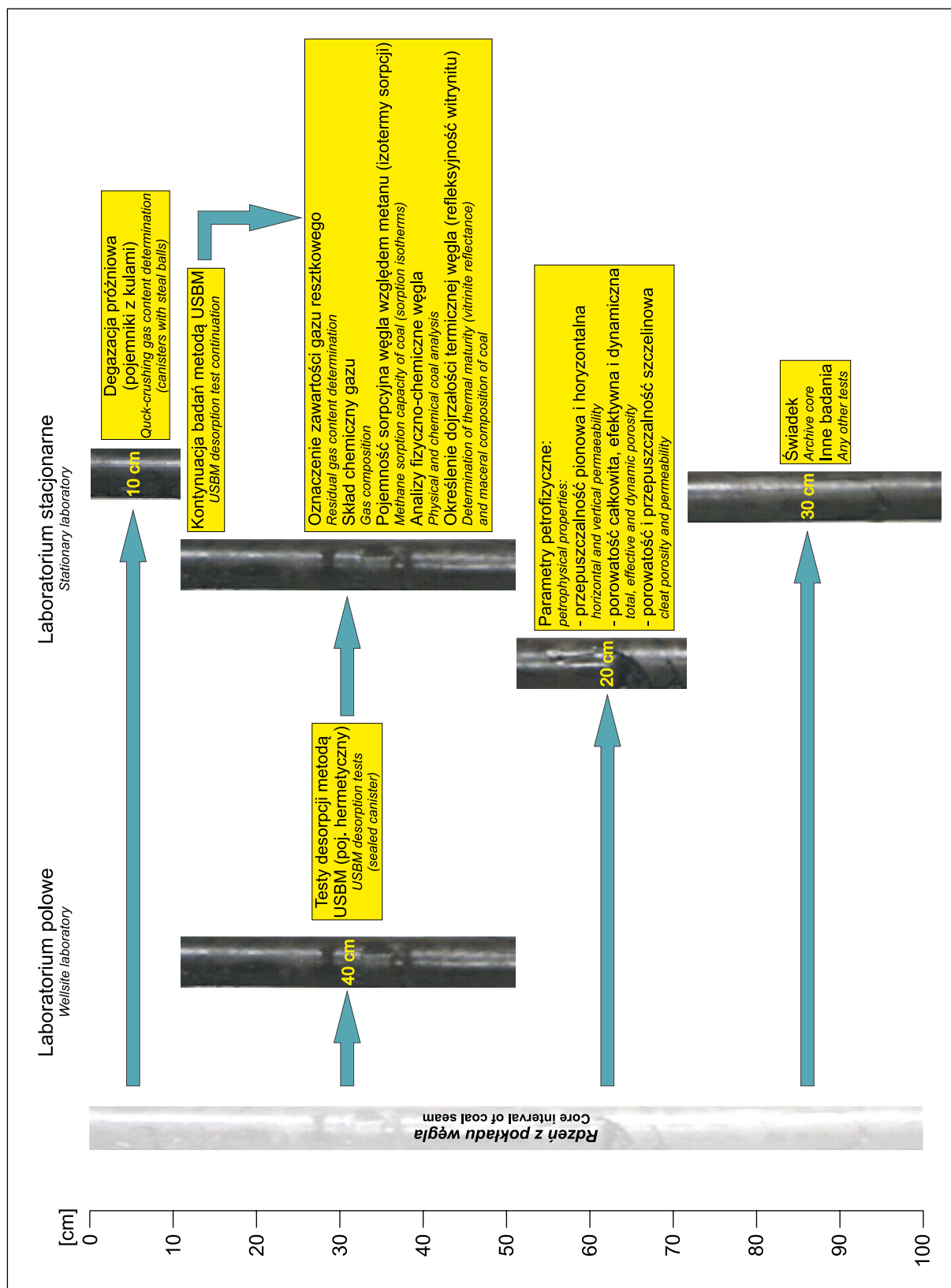


Fig. 7. Schemat opróbowania i badań laboratoryjnych rdzenia z otworu Wesola PIG 1

Coal core sampling and testing program for the Wesola PIG 1 borehole

Tabela 8

Zestawienie badań na rdzeniu i próbkach

Summary of core and samples testing

Rodzaj badań Type of testing	Wykonawca Contractor	
	Autorzy Authors	Instytucja Institution
Badania autorskie Studies by individual authors		
Badania makroskopowe rdzenia – profil litologiczno-facjalny karbonu	J. Jureczka, I. Ługiewicz-Mołas	Oddział Górnośląski PIG-PIB w Sosnowcu
Własności petrofizyczne węgla	G. Leśniak	Instytut Nafty i Gazu – PIB w Krakowie
Petrografia węgla i refleksyjność witrinitu	I. Jelonek	Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Sosnowcu
Badania laboratoryjne Laboratory tests		
Analizy chemiczno-technologiczne węgla	Główny Instytut Górnictwa w Katowicach	
Metanonośność pokładów węgla metodą próżniowej, jednofazowej degazacji	Ośrodek Badawczo-Usługowy Wentylacji przy KWK „Wujek” w Katowicach	
Metanonośność pokładów węgla metodą USBM (testy desorpcji)	Geokrak Sp. z o.o. w Krakowie	
Analiza składu chemicznego gazu z testów desorpcji	Instytut Nafty i Gazu – PIB w Krakowie	
Izotermy sorpcji metanu	Geokrak Sp. z o.o. w Krakowie	
Badania składu chemicznego wód złożowych z testów produkcyjnych	Ośrodek Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach	
Określenie składu chemicznego gazu z testów dopływu metanu	Geokrak Sp. z o.o. w Krakowie	

- korekta litologii oraz głębokości i grubości pokładów węgla w rdzeniowanym odcinku otworu;
- ustalenie własności zbiornikowych i petrofizycznych przewierconych skał;
- kontroli stanu zacementowania rur okładzinowych.

Dodatkowo, po intersekcji, w interwale 900–998 m wykonano pomiary geofizyczne celem doprecyzowania miejsca posadowienia rury z włókna szklanego i przecięcia intersekcyjnego.

W otworze Wesola PIG 2H w sekcji kierunkowej i horyzontalnej nie planowano wykonania klasycznych pomiarów geofizyki wiertniczej. Pomiary takie byłyby skomplikowane technicznie, ryzykowne i bardzo kosztowne. Jedy-

nie po odwierceniu sekcji pionowej (głęb. 501 m) wykonano profilowanie średnicy otworu, naturalne profilowanie gamma oraz pomiar cementomierzem akustycznym wraz z sondą gamma do głębokości posadowienia kolumny rur okładzinowych $\varnothing 13 \frac{3}{8}$ " (113 m), celem kontroli stanu zacementowania tej kolumny rur. Zamiast klasycznych pomiarów geofizyki wiertniczej wykonywano natomiast ciągle pomiary geofizyczne podczas wiercenia sekcji kierunkowej i horyzontalnej z użyciem wspomnianych wyżej systemów pomiarowych LWD i MWD.

Zestawienie wykonanych pomiarów geofizycznych w otworach Wesola PIG 1 i Wesola PIG 2H przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9

Zestawienie wykonanych pomiarów geofizycznych w otworach Wesola PIG 1 i Wesola PIG 2H

Well logging runs performed in the Wesola PIG 1 and Wesola PIG 2H boreholes

Rodzaj pomiaru Log type		Głębokość [m p.p.t.] Depth [m b.g.l.]
Wesola PIG 1		
CBL	cementomierz akustyczny	0–154
MICROLOG	mikroprofilowanie oporności sondą gradientową i potencjałową	154–1000
SDLT	profilowanie gęstościowe	154–1000
CSNG	spektrometryczne profilowanie promieniowania gamma	0–994
ICT	profilowanie średnicy	154–981
WSTT	profilowanie akustyczne, sondą dipolową	154–989
XRMI	profilowanie skanerem elektrycznym	154–998
MIT-24	średnicomierz wieloramienny	900–998
CCL, GR	profilowanie naturalnego promieniowania gamma oraz muflokator CCL	900–998
Wesola PIG 2H		
FIAC	profilowanie średnicy średnicomierzem czteroramiennym	113–500
D4TG-FIAC	naturalne profilowanie gamma	0–500
RBT	cementomierz akustyczny	0–113

Po zakończeniu wierceń, w zestawie połączonych otworów Wesoła PIG 1 i Wesoła PIG 2H przeprowadzono w dwóch seriach testy produkcyjne dopływu metanu – przed zabiegami szczelinowania i po tych zabiegach. Samo szczelinowanie hydrauliczne wykonano w pokładzie węgla 510 w odcinku horyzontalnym otworu Wesoła PIG 2H. W trakcie testów dopływu metanu pobierano próbki gazu

i wód złożowych do badań składu chemicznego. Po zakończeniu robót geologicznych odwierty Wesoła PIG 1 i Wesoła PIG 2H zlikwidowano, poprzez wykonanie korków cementowych w rurach, tereny obu wiertni przywrócono do stanu pierwotnego, a na ich obszarze ponownie przeprowadzono badania środowiskowe.