

WYKRYWANIE HORYZONTÓW WODNYCH I GAZOWYCH METODAMI GEOFIZYKI WIERTNICZEJ W WARUNKACH RYBNICKIEGO OKRĘGU WĘGLOWEGO

METODYKĘ WYKRYWANIA horyzontów wodnych i gazowych opracowano w Zakładzie Geofizyki Przemysłu Naftowego na podstawie eksperymentów wykonanych na otworach wiertniczych węglowych ROW. Wypróbowane tu były metody profilowania gazowego (pomiaru obiegowe i ciągłe) oraz pomiaru rezystywności i termometrem elektrycznym. Stosowano tu także boczne sondowanie elektryczne.

Poza tym autor opracowania zajmował się również wyznaczaniem porowatości i przepuszczalności skał, a przede wszystkim węgla kamiennych. Parametry te mają duży wpływ na gazoność warstw karbońskich. Przy doświadczeniach nad lokalizacją wystę-

powania horyzontów wodnych za pomocą rezystywnościometru zauważono na wykresach pomiarowych pewne efekty fizyczne związane z gazonością warstw. Pomiar rezystywności w zastosowaniu do wykrywania horyzontów gazowych nie były znane w literaturze zagranicznej, są to więc pierwsze tego typu badania horyzontów gazowych.

Omawiane eksperymenty geofizyczne wykonane były na podstawie projektów i przy bezpośrednim współudziale autora niniejszego opracowania. Do badań geofizycznych wykonanych metodyką profilowania gazowego zaangażowana tu była grupa geofizyki wiertniczej Przemysłu Naftowego, natomiast badania

rezystiwometrem i termometrem grupy geofizyki wiertniczej Katowickiego Przedsiębiorstwa Geologicznego. Analizę węgla na porowatość i przepuszczalność wykonało Laboratorium Państwowego Przedsiębiorstwa Poszukiwań Naftowych.

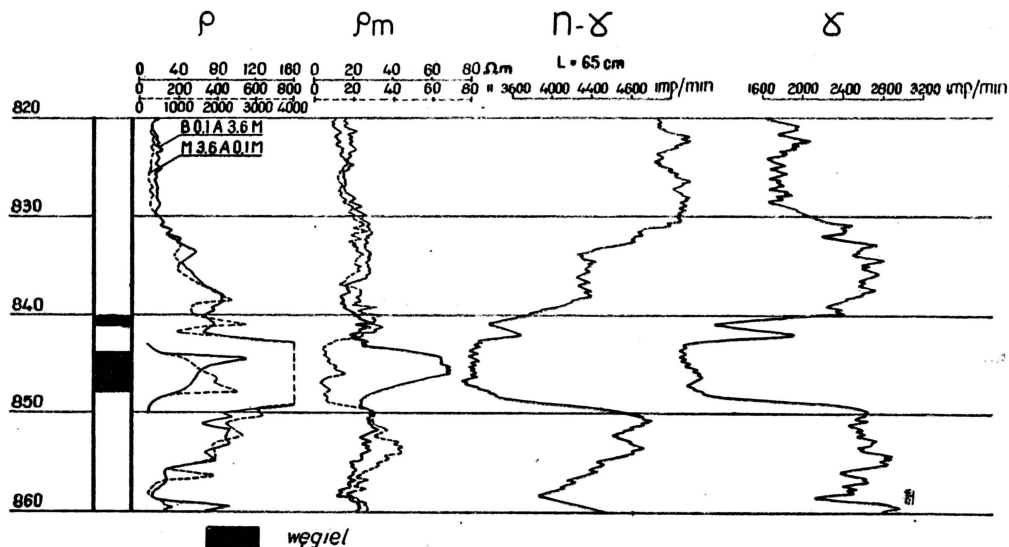
POROWATOŚĆ I PRZEPUSZCZALNOŚĆ GAZOWA WĘGLI I SKAŁ OTACZAJĄCYCH

W przemyśle naftowym wykresy mikrologu (ρ_m) są szeroko stosowane do wydzielenia w profilu otworu wiertniczego horyzontów porowatych i przepuszczalnych. W przemyśle węglowym niektóre wykresy mają podobny charakter jak wykresy odpowiadające przepuszczalnym horyzontom ropnogazowym. Okazuje się,

Przepuszczalność dla gazu jest zależna od ilości i rozmieszczenia por i szczelin, od ich konfiguracji i komunikatywności. W większości przypadków przepuszczalność gazowa węgla jest większa niż skał otaczających.

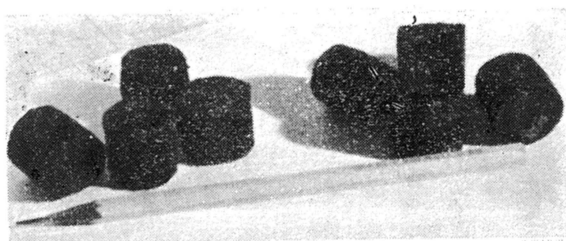
Porowatość węgla i skał otaczających serii węglonośnej jest jednym z zasadniczych wskaźników określających możliwość ich gazonośności, ponieważ w pustych przestrzeniach (szczelinach i porach) gaz znajduje się w swobodnym stanie. Porowatość daje nam pogląd na możliwą objętość swobodnego gazu, zamkniętego w węglach.

Z uwagi na ważność zagadnienia zająłem się wyznaczaniem porowatości i przepuszczalności węgla i skał. Do analiz na wyżej wymienione parametry

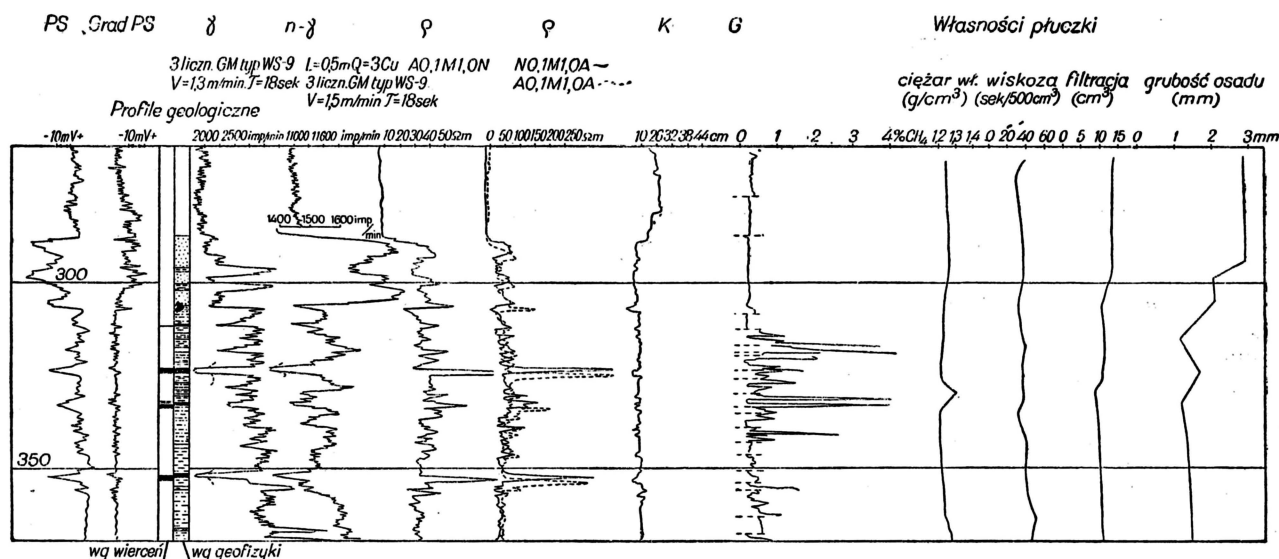


Ryc. 1. Zestawienie krzywych ρ , ρ_m , $n-\gamma$ i γ dla otworu węglowego „K-6”

że na ścianach niektórych pokładów węglowych tworzy się także osad ilasty o grubości kilku centymetrów, o oporze bliskim oporowi płuczki. Osad ilasty bardzo silnie obniża wielkość pomierzonego oporu, zwłaszcza na krzywej zdjętej sondą gradientową, która ma krótszy promień zasięgu w stosunku do sondy potencjałowej. Takie dodatnie przyrosty obserwuje się w niektórych pokładach węglowych, o czym świadczy załączony przykład (ryc. 1). Grubość osadu ilastego w pokładach węglowych można wyznaczyć z wykresów kawernomierzy (ryc. 3 i 4).



Ryc. 2. Kształty próbek węglowych.



Ryc. 3. Zestawienie krzywych PS, Grad. PS, γ , $n-\gamma$, ρ , K, G i fizycznych własności płuczki, otwór „W-8”.

brałem próbki węgla różnego typu od 31 do 35. Kształt próbek węglowych poddanych analizie pokazany jest na ryc. 2. Wyniki analiz porowatości i przepuszczalności pokazane są w tabeli.

Zestawione wyniki badania przepuszczalności są średnią z 3 pomiarów wykonanych pod trzema nadciśnieniami, a mianowicie: 200, 300 i 400 mm Hg. Pomiary te wykonano w kierunku równoległym i prostym do uwarstwienia węgla. Do oznaczeń porowatości wzięto 24 próbki węgla, które przebadano w następujący sposób.

POROWATOŚĆ I PRZEPUSZCZALNOŚĆ WĘGLI KOPALNI MSZANA, CHWAŁOWICE I RYMER

Lp.	Kopalnia	Nr po- kład.	Typ węgla	C. wł. w g/cm ³	Porowatość						Przepuszczalność w mdcy	
					Węgle nieekstrahowane			Węgle ekstrahowane			Węgle nieekstrahowane	
					p. c. atm. w %	nasyc. pod c. atm. i na- stępnie dosyc. pod próżnią w %	bezpo- średnio pod próżnią w %	p. c. atm; w %	nasyc. pod c. atm. i na- stępnie dosyc. pod próżnią w %	bezpo- średnio pod próżnią w %	kierunek równoległy	kierunek prostopa- dły
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Mszana	623	35-błysz.	1,3156	4,26	5,02	5,02	7,43	7,76	7,76	3,3	13,1
2	Mszana	623	35-błysz.	1,2807	—	—	3,27	—	—	6,48	9,0	118,6
3	Mszana	623	35 mat.	1,2720	2,52	3,02	3,02	4,01	4,02	4,02	25,9	25,8
4	Mszana	623	35 mat.	1,2855	—	—	1,23	—	—	2,16	4,1	2,4
5	Mszana	623	35 mat.	—	—	—	—	—	—	—	12,0	6,6
6	Chwałowice	407	32	1,3262	1,43	2,09	2,09	3,19	3,20	3,20	89,8	12,1
7	Chwałowice	407	32	1,3174	—	—	1,82	—	—	4,61	4,2	—
8	Rymer	606	31	1,3162	1,32	1,41	1,41	2,07	2,17	2,17	nieprzep.	nieprzep.
9	Rymer	606	31	1,3780	—	—	1,69	—	—	2,49	40,5	15,9
10	Rymer	705	34	1,3191	1,73	1,73	1,73	3,25	3,43	3,43	2,7	nieprzep.
11	Rymer	705	34	1,3279	—	—	2,37	—	—	3,42	2,9	nieprzep.
12	Rymer	711	33	1,2700	2,24	2,57	2,57	5,99	6,22	6,22	4,2	2,5
13	Rymer	711	33	1,2763	—	—	4,49	—	—	4,49	8,9	2,8

W 12 próbkach węgla (wg tabeli lp. 1, 3, 6, 8, 10, 12) nie ekstrahowanych chloroformem oznaczono porowatość pod ciśnieniem atmosferycznym (kolumna 6). Rdzenie nasycone naftą pod ciśnieniem atmosferycznym dosycano w aparacie próżniowym pod zmniejszonym ciśnieniem (kolumna 7). Próbki węgla dosycane w próżni wykazują wyższą porowatość. Podczas dosycania naftą w aparacie próżniowym próbki te długo wydzielają pęcherzyki powietrza, co świadczy o istnieniu mikropor lub bardzo drobnych szczelin. Drugą serię oznaczeń przeprowadzono na tych samych kawałkach węgla wyekstrahowanych chloroformem (kolumna 9 i 10). Oznaczenia powtórzone jak wyżej. Węgle po ekstrakcji wykazały jeszcze wyższą porowatość.

W pozostałych 12 próbkach oznaczono porowatość przez nasycenie węgla nie ekstrahowanych naftą bezpośrednio pod zmniejszonym ciśnieniem. Następnie próbki te ekstrahowano chloroformem i suszono w temp. 105° i oznaczono porowatość również pod zmniejszonym ciśnieniem. Wartości porowatości węgla ekstrahowanych są nieco wyższe.

Wyniki pomiarów podane w kolumnie 8 i 11 wpisano z kolumn 7 i 10, ponieważ porowatość węgla dosycanych w próżni jest bardzo zbliżona do porowatości oznaczonej bezpośrednio w próżni. W kolumnie 12 i 13 podane są wyniki analizy węgla na przepuszczalność mierzoną odpowiednio w kierunku równoległym i prostym do uwarstwienia.

Należy zaznaczyć, że podane oznaczenia charakteryzują przepuszczalność dla gazu jedynie próbek węgla monolitowych (bez widocznych szczelin) uwolnionych od ciśnienia górotworu. Przy działaniu zewnętrznych ciśnień największe pory filtrujące i szczeliny zawierają się lub zmniejszają swoją objętość, co powoduje zmniejszenie przepuszczalności.

Przepuszczalność badanych piaskowców karbońskich

wahała się w granicach 0—72 mdcy. Porowatość piaskowców określana była laboratoryjnie oraz na podstawie metody neutron-gamma (1). Wyznaczona porowatość wynosiła od 0 do 14%.

PROFILOWANIE GAZOWE

Eksperymenty rozpocząłem metodą profilowania gazowego. Badania takie wykonane zostały aparaturą Zakładu Geofizyki Przemysłu Naftowego typ GKS-2. Kilka otworów przebadano metodą profilowania gazowego obiegowego. Na jednym otworze wykonano

profilowanie gazowe ciągłe, przy czym każdorazowo przebadano luminescencję płuczkę wiertniczej.

Na ryc. 3 podane są wyniki kompleksu badań wykonywanych na otworze W-8, który obejmuje krzywe:

- 1) potencjału polaryzacji własnej (PS),
- 2) gradientu potencjału polaryzacji własnej (grad. PS),
- 3) profilowanie natężenia naturalnego promieniowania gamma (γ),
- 4) profilowanie neutron-gamma (n- γ),
- 5) krzywe pozornej oporności właściwej (ρ), zdjęte sondami:

- a) A O, 1 M 1, O N
- b) N O, 1 M 1, O A
- c) N 1, O M O, 1 A
- 6) kawernomierza (K),
- 7) profilowania gazowego (G),
- 8) własności płuczki:
 - a) ciężaru właściwego,
 - b) wiskozy,
 - c) filtracji,
 - d) grubości osadu.

Krzywe 1—6 służą do interpretacji profilu geologicznego dla wykrycia pokładów węglowych przewierconych otworem wiertniczym. W wykonanym zestawieniu naniesione są dwa profile geologiczne: jeden według danych rdzeni wiertniczych, a drugi według danych geofizycznych.

Po wykonaniu kompleksowej interpretacji i przekontrolowaniu gruntonosem pokłady węglowe zostały naniesione na profil według danych geofizycznych.

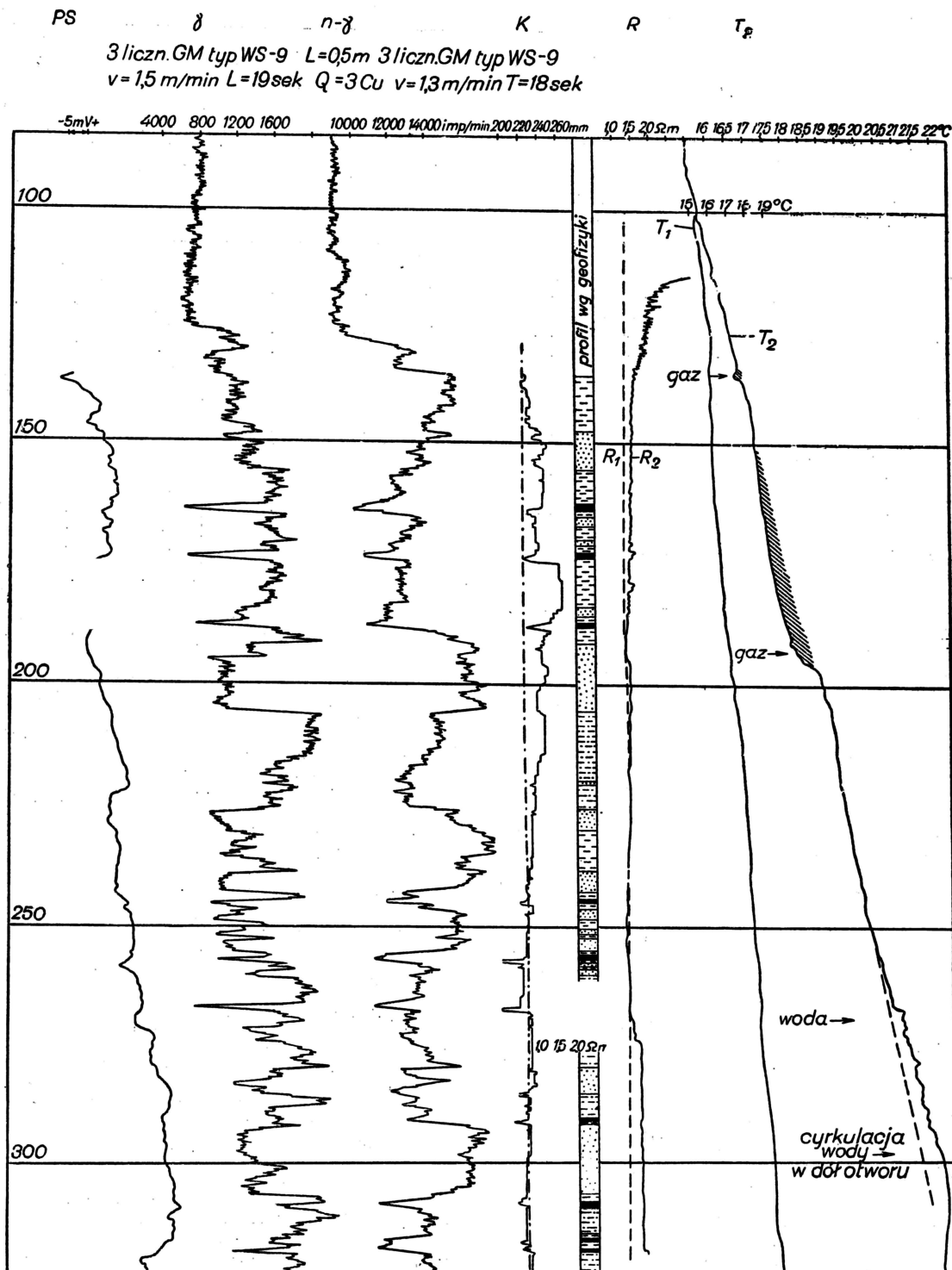
Wszystkie krzywe służą do dyskusji nad gazowością przewierconych warstw, przy czym najwięcej wnoszą nam krzywa profilowania gazowego. Zarejestrowano tu duże anomalie odpowiadające koncentracji gazu w płuczce dochodzące do 4,3% węglowodorów.

Proste poziome zaznaczone linią przerywaną oznaczają początek i koniec marszu wiertniczego. Te marsze wiertnicze ujemnie wpłynęły na czytelność zarejestrowanych anomalii z punktu widzenia ich lokalizacji głębokościowej.

Koniec marszy wiertniczych odbywał się w niekorzystnych dla nas głębokościach, związanych z występowaniem pokładów węglowych, tak że nie można było zarejestrować anomalii odpowiadającej pokładowi węglowemu, bowiem służba geologiczna poleciła wyciąganie rdzenia wiertniczego bezpośrednio po nawierceniu pokładu węglowego. Często wyciąganie przewodu wiertniczego zastosowane dla poboru rdzeni mieszało płuczkę wiertniczą podwyższając tym sa-

mym jej tło gazowe. Krzywe zmian fizycznych własności płuczki wiertniczej pomagają nam przy końcowej ocenie interpretacyjnej kompleksu pomiarów. Wzrost ciężaru właściwego zarejestrowany jako maksimum wskazuje na to, że zmielony rdzeń węglowy podwyższył ciężar płuczki wiertniczej.

Krzywe zmian wiskozy i filtracji płuczki niewiele wnoszą do naszej dyskusji. Natomiast anomalie na krzywej zmian grubości osadu ilastego świadczą o zmianach litologicznych po przejściu z nadkładu w karbon produktywny. Ustabilizowane wartości grubości osadu ilastego widzimy w dwóch odcinkach: pierwszy w nakładzie a drugi po przewierceniu 30 m karbonu.



Ryc. 4. Zestawienie krzywych PS, γ , $n-\gamma$, K, R i T_p otwór „M-7”

Po przeprowadzeniu analizy i dyskusji omawianych badań gazowych można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Zarejestrowane procentowe zawartości gazu w płuczkę są bardzo duże.
2. Metoda gazowego profilowania jest bardzo czułą metodą i należy ją zastosować przy wierceniach poszukiwawczych za węglem kamiennym w ROW dla wykrywania horyzontów gazowych.
3. Przy pracy metodą gazowego profilowania otworów węglowych należałoby się zastanowić nad możliwością wykonania bezrdzeniowego wiercenia przynajmniej kilku otworów (co pozwoliłoby na lepsze rozpoznanie gazonośności karbonu produktywnego) lub na kończenie marszu dopiero po przewierceniu pokładu węglowego do głębokości 2 m poniżej jego spągu.
4. Bezrdzeniowe wiercenie możliwe jest do wykonania ze względu na dobre wyniki interpretacji kompleksu pomiarów zastosowanych do wykrywania pokładów węglowych (6—9).

TERMOMETRIA I REZYSTIWIMETRIA OTWORÓW WIERTNICZYCH WĘGLOWYCH

Badania termometryczne otworów węglowych wykonywane były dotychczas dla wyznaczenia stopnia geotermicznego. Badania termometryczne dla wykrycia horyzontów gazowych wymagają doboru odpowiednich parametrów pomiarowych i technicznie dobrego przygotowania otworu wiertniczego. Skala pomiarowa i odpowiednia stójka otworu wiertniczego to podstawowe wymagania techniczne. W pomiarach termicznych o charakterze przemysłowym stosuje się skalę $1^{\circ}/2$ cm. Do wykrywania horyzontów gazowych wymagana jest skala czulsza ze względu na rejestrację stosunkowo małych efektów termicznych. Zastosowano więc tu skalę $0,4-0,5^{\circ}/2$ cm skali.

W otworze wiertniczym M-7 wykonany był kompleks pomiarów mających na celu wykrycie przewierconych pokładów węglowych. W czasie likwidacji otworu wiertniczego zaobserwowano nieznaczne zgazowanie płuczki wiertniczej i dlatego ten otwór postanowiono użyć do eksperymentów metodą termiczną.

Ryc. 4 przedstawia wyniki kompleksu pomiarów wykonanych dla celów wykrywania pokładów węglowych i horyzontów gazowych. Wyniki te obejmują następujące dane:

1. Krzywa potencjałów polaryzacji własnej.
2. Krzywa natężenia naturalnego promieniowania gamma.
3. Krzywa neutron-gamma.
4. Krzywa kawernomierza.
5. Krzywa opornościomierza (rezystiwimetru) R_1 przy poziomie płuczki na wysokości ujęcia otworu.
6. Krzywa opornościomierza R_2 przy poziomie płuczki 70 m poniżej stołu rotacyjnego.
7. Krzywa temperatury T_1 wykonana dla wyznaczenia stopnia geotermicznego.
8. Krzywa temperatury T_2 zdjęta została przy eksperymentach wykonanych dla wykrycia gazu w omawianym otworze wiertniczym.

Do przedstawionego kompleksu krzywych nie włączyłem wykresów badań elektrometrycznych wykonanych w modyfikacji BSE, gdyż dla spraw lokalizacji horyzontów gazowych nic nowego nie wnosiły.

Krzywa PS, ρ , γ , $n-\gamma$ i K posłużyły do wyznaczenia lokalizacji pokładów węglowych. Przedstawiony na ryc. 4 profil geologiczny stanowi wynik interpretacji krzywych.

Krzywe R_1 , R_2 i T_2 zdjęte zostały w czasie przeprowadzonych przeze mnie badań wykonanych na otworze M-7 w celu wykrycia horyzontów gazowych i ewentualnie wodnych. Krzywą temperatury T_1 naniosłem tu dla porównania z krzywą T_2 . Na omawianej krzywej (T_1) nie zaznaczyły się żadne anomalie termiczne.

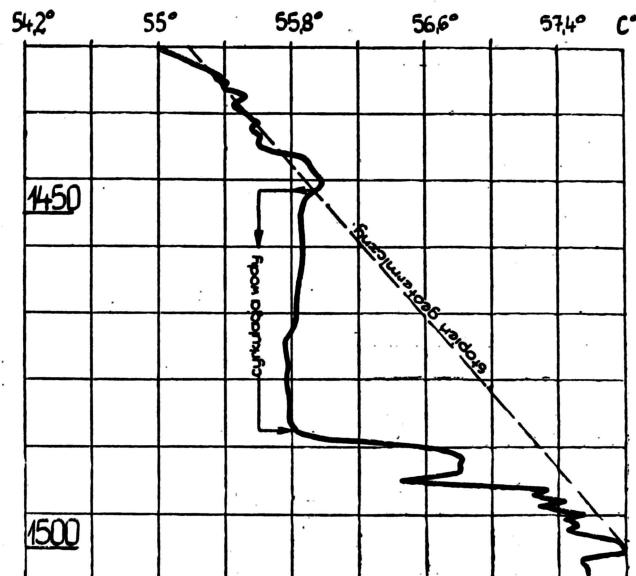
Po przepłukaniu otworu a przed rozpoczęciem badań za gazem zarejestrowana została krzywa R_1 . Krzywa ta wykazuje, że w otworze tym mamy jednorodny

płyn (płuczka). Następnie poleciłem ściągnąć 90 m słupa płuczki. Po kilku godzinach zauważono lekkie zgazowanie płuczki w otworze wiertniczym. Na zarejestrowanej tu krzywej R_2 zauważono anomalie, które będą omówione poniżej.

Pomiar temperatury dla wykrycia horyzontów gazowych powinien być wykonany po ustalonej równowadze cieplnej w otworze wiertniczym. Diakonow (3) podaje, że równowaga cieplna dla eksperymentów za gazem w otworze wiertniczym ustala się po 1—2 dniach stójki otworu wiertniczego. Dlatego więc pomiar termometrem T_2 wykonany został po 38 godzinach od zakończenia wszystkich manipulacji w otworze wiertniczym związanych ze ściągnięciem płuczki. Po omawianej stójce otworu nie zauważyło się jego gazowania, a poziom płynu ustalił się na głębokości 70 m (licząc od poziomu stołu). Ściągając 90 m słupa w otworze wiertniczym zmniejszyłem ciśnienie hydrostatyczne płuczki, przez co umożliwiłem ekspansję gazu oraz przyływ wody do otworu wiertniczego. Po wykonaniu pomiaru termometrem zbadałem również zmianę oporności płuczki z głębokością.

Na krzywych T_2 i R_2 zarejestrowane zostały anomalie, które omówię kolejno.

Ujemne anomalie termiczne zarejestrowane na głębokości 196—144 i 136,2 do 134,8 m świadczą o występowaniu w tych interwałach horyzontów gazowych. Stopniowy wzrost oporności płuczki zaobserwowany na głębokości od 188 do góry, a specjalnie od 136 m wywołany jest zgazowaniem płuczki wiertniczej. Pierwszy wzrost oporności płuczki zaobserwowany w 188 m spowodowany jest prawdopodobnie gazem wydzielającym się z pokładu węglowego, którego spąg zalega w omawianej głębokości.



Ryc. 5. Krzywa temperatury wyznaczająca cyrkulację wody pomiędzy horyzontami w otworze I-1.

Dodatkna anomalia zarejestrowana na krzywej R_2 w głębokości od 268 m w dół otworu, może świadczyć o przyplywie wody do otworu wiertniczego. Potwierdzenie tego przypuszczenia mamy na krzywej T_2 . Krzywa temperatury dzieli ten interwał na dwie części:

1) 268 m do 297 m — dodatnia anomalia termiczna — co świadczy o zawodnieniu części profilu geologicznego.

2) od 297 m w dół otworu obserwuje się brak przyrostu temperatury z głębokością. Taki charakter mają krzywe temperatury przy cyrkulacji wody odbywającej się z jednego piaskowca do drugiego.

W naszym przypadku cyrkulacja wody odbywa się od 297 m w dół otworu. Lokalizacji chłonnego wódki horyzontu nie da się tu ustalić. Ryc. 5 podaje przykład cyrkulacji wody za rurami, wyinterpretowany

przez autora dla otworu gazowego J-1 (otwór przemysłu naftowego), gdzie możliwa jest lokalizacja horyzontu chłonnego wodę. Całość wyników interpretacji kompleksu pomiarów geofizycznych otworu M-7 przedstawiona jest na ryc. 4.

Zjawisko wpływu zgazowania płuczki na wielkość oporności właściwej płuczki i możliwość jego pomiaru nie była dotychczas opisana w literaturze technicznej. Pomiar ten może stanowić uzupełnienie badań termicznych wykonywanych dla wykrycia horyzontów gazowych w danym profilu geologicznym węglowym.

W czasie likwidacji omawianego otworu wiertniczego potwierdzili się wyniki interpretacji badań geofizycznych.

Poza omawianymi badaniami stosowano tu również pomiary boczego sondowania elektrycznego. Nie uzyskaliśmy tu dostatecznie dobrych wyników i dlatego w niniejszym opracowaniu ich się nie omawia. Wyznaczanie porowatości piaskowców karbońskich na podstawie pomiarów neutron-gamma opisane będzie w specjalnym opracowaniu.

WNIOSKI

1. Profilowanie gazowe jest bardzo czułą metodą pomiaru gazonośności badanego profilu otworu węglowego. Metoda ta wykazuje zarówno zgazowania użyteczne dla celów eksploatacji, jak i lokalne nie nadające się do celów przemysłowych. ROW zainteresowany jest zgazowaniami typu przemysłowego, gdyż ten typ złożowy może podlegać odgazowaniu, co jest bardzo ważne ze względu na bezpieczeństwo pracy przy eksploatacji górniczej węgla kamiennego.

2. Metoda termiczna wykonana z zachowaniem omawianych warunków technicznych umożliwia wykrycie horyzontów gazowych mających stosunkowo duże ciśnienia złożowe. Dla ułatwienia ekspansji gazu do płuczki można (metodą szczyptywania) obniżyć jej ciśnienie hydrostatyczne.

3. Na specjalną uwagę zasługują badania termiczne dla lokalizacji miejsc z wodą cyrkulującą między poszczególnymi horyzontami.

4. Pomiary opornościomierzem uzupełniają i potwierdzają wyniki badań geofizycznych wykonanych dla celów wykrywania horyzontów wodnych i gazowych.

LITERATURA

1. Balowa Z., Plewa S. — Próba wyznaczania porowatości na podstawie pomiarów neutron-gamma. „Geofizyka Poszukiwawcza i Kopalnia”, 1960, nr 6, 7.
2. Dachnow W. N. — Interpretacja geofizycznych badań rozkazu skważyn. Moskwa 1955.
3. Diakonow D. I. — Geotermia w naftianej geologii. Moskwa 1958.
4. Komarow S. — Technika przemysłowej geofizyki. Moskwa 1957.
5. Pierkow N. S., Korsziko W. N. — Interpretacja diagramów radioaktywnego karotaża skważyn. Moskwa 1956.
6. Pietruszka J., Plewa S. — Neutronowe-gamma profilowanie otworów wiertniczych wę-

glowych. „Biuletyn Informacyjny PGP” 1957, nr 9.

7. Plewa S. — Geophysikalisches Verfahren zur Feststellung von Kohle in polnischen Bohrlöchern. „Freiburger Forschungshefte” C-81 — 1960.
8. Plewa S. — Kompleksna interpretacja danych elektrometrii i radiometrii burowych skważyn pri razvedkie na kamiennyj ugol. „Jadriwnaja Geofizika”. Moskwa 1960.
9. Plewa S. — Metodyka geofizycznej interpretacji i pomiarów kopalnianych za węglem kamiennym z uwzględnieniem profilowania neutron-gamma. „Nafta” 1957, nr 10.
10. Plewa S. — Zastosowanie badań promieniotwórczości skał w otworach wiertniczych. „Przegląd Geologiczny” 1953, nr 8.

SUMMARY

A method for detection of water and gas horizons occurring under geological conditions of the Rybnik Coal District was elaborated by Oil Industry Geophysical Department. The elaboration of this method was made on the basis of results of the experimental investigations carried out in the coal bore-holes drilled in the area mentioned. These investigations concerned the gas loggings, resistivimeter measurements and electric thermometer measurements as well as determination of porosity and permeability of rocks, mainly hard coal.

In this paper author discusses these investigations made, gives the obtained results and the following conclusions: the gas logging permit to very exact measure of gas presence in coal bore-hole; the thermic analyses were made in the right way allowing to detect the gas horizons of relatively great formation pressure as well as to locate the places of water circulation between individual horizons. The results obtained with resistivimeter complete and confirm the results of the geophysical investigations.

РЕЗЮМЕ

Отдел геофизики Нефтяной промышленности разработал методику выявления водоносных и газоносных горизонтов в геологических условиях Рыбницкого бассейна. Работа произведена на основании опытных исследований, проведенных в угольных скважинах на этой территории. Эти исследования включали газовое профилирование, измерения резистивиметром и электрическим термометром, определение пористости и проницаемости пород, особенно каменных углей.

Автор описывает эти исследования и приводит их результаты. В заключении констатирует следующее.

Газовое профилирование позволяет с большой точностью определять газоносность в скважинах на уголь. Термические исследования проводились надлежащим образом, что позволило выявить газовые горизонты с относительно большим давлением, и обнаружить места водообмена между отдельными горизонтами. Измерения сопротивлений дополняют и подтверждают результаты геофизических исследований.