

## NIEKTÓRE PROBLEMY POSZUKIWAŃ ROPY I GAZU W KAMBRZE ŚRODKOWYM SYNEKLIZY PERYBAŁTYCKIEJ (CZ. I)

UKD 553.981/.992:551.732.3:551.24.054(438—18)

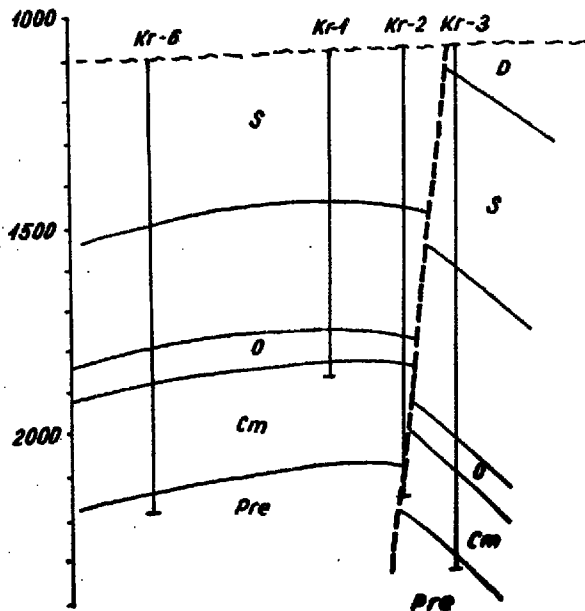
Geologiczne prace poszukiwawcze w rejonie syneklizy perybałtyckiej na podstawie I etapu rozpoznania przez Instytut Geologiczny rozpoczęto w latach sześćdziesiątych. Po wykonaniu kilkunastu otworów badawczych i licznych profili sejsmicznych opracowano szczegółowy program poszukiwań ropy naftowej i gazu ziemnego. Górnictwo naftowe w 1968 r. rozpoczęło w syneklizie perybałtyckiej na szeroką skalę realizację tego programu. Opierając się na wynikach prac badawczych Instytutu Geologicznego, zwłaszcza otworu Kętrzyn IG-1, w którym uzyskano nieprzemysłowy przyływ ropy z wapieni gruzłowych landoweru i wynikach uzyskanych w radzieckiej części syneklizy, rozpoczęto prace geologiczno-poszukiwawcze w części wschodniej syneklizy. Jednocześnie z wierceniami badawczymi górnictwo naftowe w tym rejonie prowadziło prace sejsmiczne. Na podstawie bieżących wyników uzyskanych z wierceń oraz materiałów sejsmicznych prace geologiczno-poszukiwawcze w dalszym etapie rozpoznania koncentrowano w środkowej części syneklizy, a obecnie nastąpiła ich koncentracja w zachodniej części.

W świetle dotychczasowych wyników stwierdzono, że w syneklizie perybałtyckiej najbardziej perspekty-

wicznymi utworami dla poszukiwań złóż ropy i gazu są piaskowcowe osady kambru środkowego. W radzieckiej części syneklizy z piaskowcowych osadów kambru uzyskano przemysłowe przyłady ropy naftowej, dochodzące do 120 t/d. W obrębie tych osadów geolodowie radzieccy udokumentowali kilka złóż ropy naftowej, wiążą się one ze strefami przydyslokacyjnymi posiadającymi odpowiednią izolację nieprzepuszczalnych osadów węglanowych ordowiku i ilastych syluru. Typowy przykład złoża ropy związanego ze strefą przydyslokacyjną w radzieckiej części syneklizy przedstawiono na ryc. 1.

Niezależnie od złóż ropy związanych ze strefami przydyslokacyjnymi geolodowie radzieccy na podstawie uzyskanych doświadczeń wiążą duże nadzieje poszukiwawcze ze strukturami, na których stwierdzono podwyższone temperatury w stropowych partiach osadów kambru. W polskiej części syneklizy, podobnie jak w radzieckiej, główne nadzieje poszukiwawcze wiąże się z osadami kambru środkowego.

Przez analogię do złóż radzieckich w naszej części syneklizy wiercenia poszukiwawcze należy lokalizować w strefach przydyslokacyjnych oraz na strukturach posiadających podwyższone temperatury w stro-

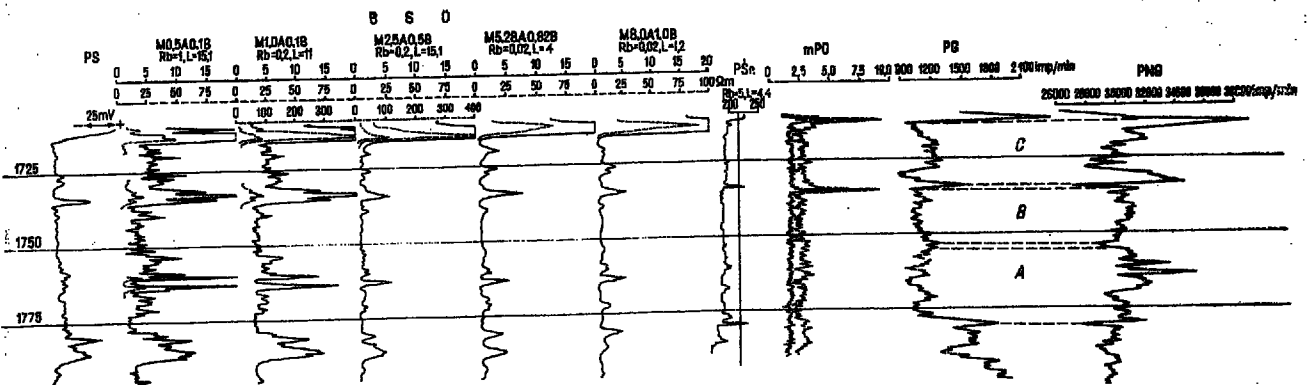


Ryc. 1. Typowy przekrój geologiczny złoża ropy naftowej związanego ze strefą dyslokacyjną.

Fig. 1. Typical geological section across oil field related to dislocation zone.

powych partiach kambru. Zmiany miąższości osadów kambru w syneklizie najogólniej wiąże się z morfologią podłoża krystalicznego. Miąższość tych osadów waha się od kilku metrów (np. otw. Zr-2 i P-1) do ok. 600 m w części zachodniej, przy czym najpełniejszy profil osadów kambru uzyskano w odwiercie D-2 i Kś-JG-1, w którym osady kambru stwierdzono w przedziale głębokościowym 2660–3340 m, 4424,3–5036 m.

Niezależnie od wyżej przedstawionych czynników o perspektywiczności osadów kambru świadczą stosunkowo dobre własności zbiornikowe. Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały, iż własności zbiornikowe osadów kambru środkowego są zróżnicowane i tak w stropowych partiach od 5 do 10 m miąższości porowatość waha się od 1,49 do 9,7%, a przepuszczalność od 7,8 do 55 mdcy. W niższych partiach własności zbiornikowe osadów kambru polepszają się i porowatości ich wahają się od 15,0 do 24,0%, a niekiedy nawet do ok. 30%, przepuszczalność natomiast od 297,0 do 1614,0 mdcy. W sporadycznym przypadku stwierdzono nawet przepuszczalność 2893,0 mdcy (otw. D.W.-4).



Ryc. 2. Charakterystyka geofizyczna piaszczysto-iltastych utworów kambru przewierconych otworem B-4; oporność właściwa płuczki  $R_{pl} = 2,7 \text{ om}\cdot\text{m}$  przy temp.  $7^\circ\text{C}$ .

Wierceniami wykonanymi przez Instytut Geologiczny i górnictwo naftowe w stropowych partiach osadów kambru stwierdzono w rdzeniach słabe objawy ropy naftowej (w otworach 01—IG—2, DM-1 i Zr-2) i gazu ziemnego (w otworach G-1 i G-2). W wyniku opróbowania tych otworów uzyskano bądź przyływ solanki zgazowanej, bądź też nie uzyskano przyływu medium złożowego. Stropowe partie kambru środkowego o miąższości 5 — 10 m były opróbowywane prawie we wszystkich wykonanych otworach żerdziowymi i próbnikami złoża.

Na podstawie wykonanych prób złożowych stwierdzono, że wydajności są bardzo zróżnicowane i wynoszą od 0 do  $32,4 \text{ m}^3/\text{h}$  (otw. S1-2). Ciśnienia złożowe są równe lub też wyższe od spodziewanych ciśnień hydrostatycznych. Mineralizacja wód złożowych waha się w granicach od 153 do 156 g/l we wschodniej części syneklizy, w środkowej wynosi od 127 do 165 g/l, a w zachodniej od 177 do 221 g/l. Solanki w przeważającej większości przypadków są typu chlorkowo-wapniowego. Wysoka mineralizacja wód złożowych w zachodniej części syneklizy jest dodatkowym czynnikiem zachęcającym do poszukiwań złóż ropy i gazu w tym rejonie.

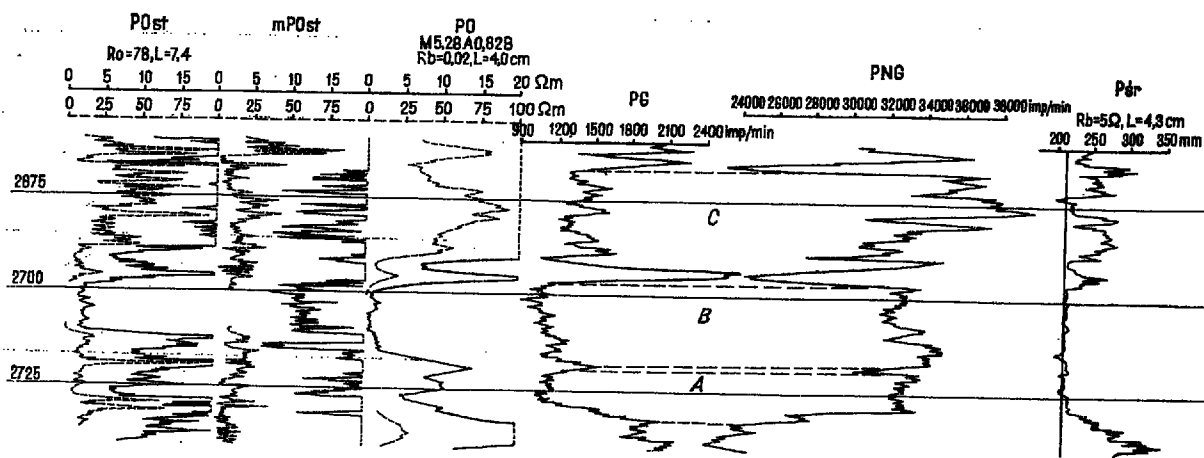
#### BADANIA Z ZAKRESU GEOFIZYKI WIERTNICZEJ STOSOWANE W OSADACH KAMBRU

W otworach wiertniczych syneklizy perybałtyckiej w osadach kambru stosuje się niżej podany racjonalny kompleks prac geofizycznych uzależniany od typu przewiercanych skał i rodzaju stosowanych płuczek wiertniczych. Nadmienić należy, że wyżej wymienione osady przewiercane są w przeważającej większości przy użyciu płuczek typu chlorkowo-wapniowego lub ilowo-bentonitowego.

Dla płuczek słodkich w pierwszym okresie rozwiercania rejonu kompleks ten był następujący:

- profilowanie potencjałów polaryzacji naturalnej PS,
- boczne sondowanie oporności BSO zestawem sond gradientowych następujących typów:  
MO,5AO,1B  
M1,0AO,1B  
M2,5AO,5B  
M5,28AO,82B  
M8,0A1,0B
- mikroprofilowanie oporności mPO,
- profilowanie średnicy Pśr oraz mikroprofilowanie średnicy mPśr w przypadkach zapieć żerdziowego próbnika złoża,
- profilowanie gamma i neutron-gamma PG i PNG,
- profilowanie krzywizny PK.  
dla płuczek słonych:
- boczne sondowanie oporności BSO w skróconym nieco zestawie sond gradientowych,
- sterowane profilowanie oporności Post,

Fig. 2. Geophysical characteristics of sandy-clay Cambrian strata penetrated by the borehole B-4; specific reluctance of washer,  $R_{pl} = 2,7 \text{ om}\cdot\text{m}$  at air temperature  $7^\circ\text{C}$ .



Ryc. 3. Zestawienie pomiarów geofizycznych w utworach kambru (otwór Z.G.-4), oporność właściwa płuczki  $R_{pt} = 0,6 \text{ om}\cdot\text{m}$  przy temp.  $5^\circ\text{C}$ .

Fig. 3. Geophysical profile of Cambrian strata penetrated by the borehole Z.G.-4; specific reluctance of washer,  $R_{pt}$ , equals  $0.6 \text{ om}\cdot\text{m}$  at air temperature  $5^\circ\text{C}$ .

- c) profilowanie średnicy P&sr oraz mikroprofilowanie średnicy mP&sr w przypadkach zapięć żerdziowego próbnika złoża,
- d) profilowanie gamma i neutron-gamma PG i PNG,
- e) profilowanie krzywizny PK.

Powyższe zestawy pomiarów geofizycznych dla wyżej wymienionych przypadków na tle charakterystyki geofizycznej utworów kambru przedstawiono na ryc. 2 i 3. W miarę rozwiercania rejonu kompleks prac geofizyki wiertniczej uzupełniany był o:

- sterowane profilowanie oporności strefy przyodwiertowej,
- sterowane mikroprofilowanie oporności mPOst,
- symetryczne profilowanie oporności POs.

Biorąc pod uwagę fakt, że w zachodniej części syneklizy osady kambru zalegają na głębokości poniżej 2500 m, a osady cechsztynu są orurowane kolumną techniczną, przy przewiercaniu tych osadów stosowane są płuczki słabo zmineralizowane. W związku z tym zaleca się stosować następujący racjonalny kompleks pomiarów geofizycznych:

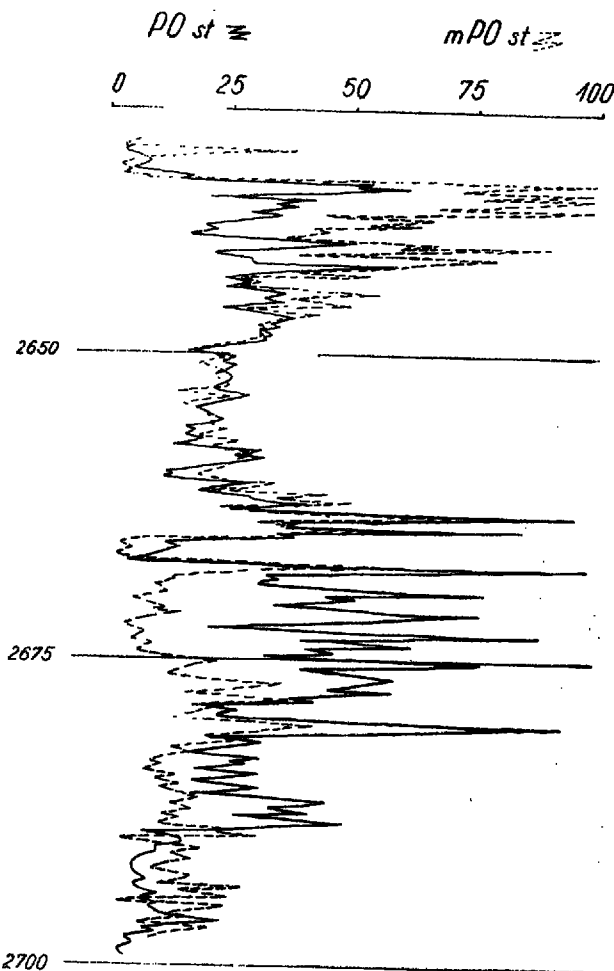
- a) boczne sondowanie oporności zestawem następujących sond gradientowych:

MO,5AO,1B  
M1,0AO,1B  
M2,5AO,5B  
M5,28AO,82B  
M8,0A1,0B  
M12,0A1,0B

Celowość stosowania długiej sondy gradientowej typu M12, 0A1, 0B w zestawie sond BSO podyktowana jest koniecznością poprawnej oceny oporności właściwej poziomiu, ze względu na występowanie kolektorów piaskowcowych typu porowo-szczelinowatego. Dla tych kolektorów znamienne są głębokie strefy filtracji.

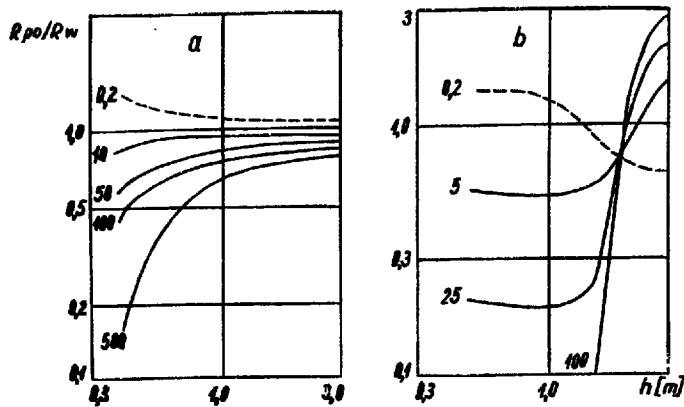
- b) symetryczne profilowanie oporności POs,
- c) profilowanie indukcyjne PI,
- d) mikroprofilowanie oporności mPO z hydraulicznymi oprawkami elektrodowymi,
- e) profilowanie gamma i neutron-gamma PG i PNG z uzupełnieniem profilowania gamma-gamma PGG,
- f) profilowanie średnicy P&sr,
- g) profilowanie akustyczne PA,
- h) profilowanie krzywizny, PK,
- i) profilowanie gazowe P&gaz wykonywane przy użyciu automatycznych aparatów gazowych typu AGKS-65, za których pomocą można rejestrować poszerzony kompleks parametrów profilowania gazowego, jak: — zawartość sumaryczną węglowodorów w mieszaninie gazowopowietrznej w %, — wielkość wskazań gazowych w %, — zawartość względną metanu  $C_1$ , etanu  $C_2$ , propanu  $C_3$ , butanu  $C_4$ , pentanu  $C_5$ , heksanu  $C_6$  w mieszaninie gazowopowietrznej, — ilość odebranej płuczki po obiegu z otworu, — postęp wiercenia  $T_1$  min/m, — współczynnik rozcieńczenia  $E \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

wietrznej, — ilość odebranej płuczki po obiegu z otworu, — postęp wiercenia  $T_1$  min/m, — współczynnik rozcieńczenia  $E \text{ m}^3/\text{m}^3$ .



Ryc. 4. Zestawienie krzywej sterowanego profilowania (POst) i mikroprofilowania oporności mPOst (otwór Z.G.-4).

Fig. 4. Curve of remote-controlled survey (POst) and microscale resistance record (mPOst) for the borehole Z.G.-4.



Ryc. 5. Zależność wskazań sterowanego profilowania oporności POst (a) i sondy gradientowej o długości 2,75 m (b) od miąższości warstwy. Wartości podane na krzywych POst oznaczają stosunek oporności właściwej poziomu do oporności właściwej skał otaczających  $R_w/R_{ot}$ .

Fig. 5. Relationship between records of remote control resistance surveys, POst (a), and gradient plummet, 2.75 m long (b), and thickness of beds. Values marked on POst curves represent relationship between specific resistance of a given horizon and specific resistance of surrounding rocks,  $R_w/R_{ot}$ .

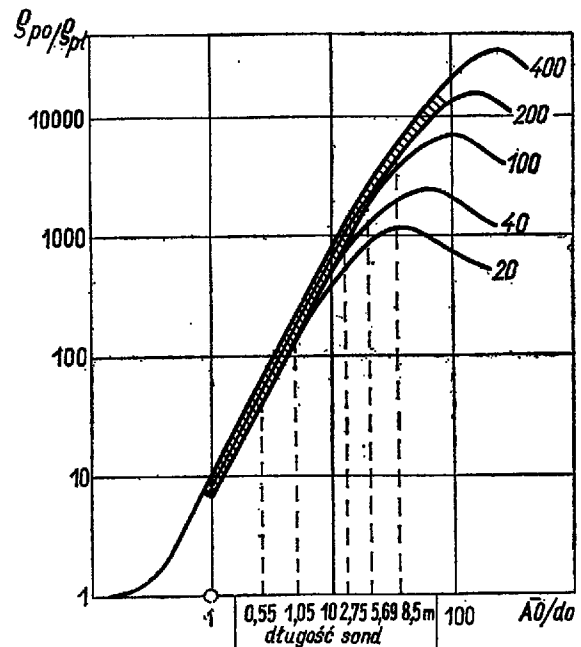
W przypadku stosowania płuczek zasolonych  $R_{pt} < 0,5$  om·m (z przyczyn geologiczno-technicznych) przy przewiercaniu nimi osadów kambru zaleca się stosowanie następującego zestawu pomiarów:

- profilowanie gamma, neutron-gamma i gamma-gamma PG, PNG i PGG,
- profilowanie akustyczne PA,
- sterowane profilowanie oporności POst w komplecie z symetryczną sondą gradientową o długości AO = 0,81 m i sondą gradientową o długości AO = 2,75 m,
- sterowane mikroprofilowanie oporności mPOst,
- profilowanie średnicy Pśr,
- profilowanie krzywizny PK,
- profilowanie gazowe Pgaz wykonywane przy użyciu automatycznych aparatów gazowych typu AGKS-65.

Powyższe zakresy pomiarów geofizyki otworowej powinny być uzupełniane o profilowanie ekscentryczności otworu Pek oraz profilowanie termiczne PT wykonywane przy ustalonej równowadze cieplnej dla określenia gradientu (stopnia) geotermicznego i wielkości temperatur co najmniej w trzech odwiertach wybranych na strukturze.

Ogólnie wiadomo, że jedynym źródłem informacji o stopniu nasycenia warstw jest oporność właściwa poziomiu. Przy stosowanych płuczkach słodkich miarodajne wyniki oceny oporności właściwej poziomu uzyskuje się metodą sondowania oporności. Efektywność sondowania oporności spada przy płuczkach zasolonych w zależności od stopnia zasolenia płuczki. Analizę efektywności BSO w warunkach stosowania słonych płuczek wiertniczych przedstawia ryc. 4, na którym podano krzywe przerysowane ze zbioru krzywych teoretycznych BSO dla ośrodka dwuwarstwowego. Przerywanymi liniami przedstawiono długości stosowanych sond przy średnicy otworu  $d_o = 0,216$  m. Równoległe z krzywą o maksymalnej wartości oporności właściwej poziomu  $R_w$  przeprowadzono drugą krzywą. Obszar zakreślony między tymi krzywymi wyznacza błąd w określeniu oporności właściwej warstwy  $R_w$  na podstawie bocznego sondowania oporności. Jak wynika z ryc. 4 największy błąd w ocenie oporności właściwej poziomu występuje dla sond gradientowych o długości od 0,55 do 2,75 m.

Dłuższe sondy gradientowe przy słonych płuczkach dają nieco lepsze wyniki w ocenie oporności



Ryc. 6. Analiza efektywności BSO w warunkach słonej płuczki wiertniczej, wartości podane na krzywych oznaczają oporności właściwe warstwy  $R_w(R_{pt} = 0,04$  om·m,  $d_o = 0,216$  m, AO — długość sondy)

Fig. 6. Analysis of effectiveness of BSO under conditions of salt washer; numbers marked on curves represent specific reluctance of beds,  $R_w(R_{pt} = 0,4$  om·m;  $d_o = 0,216$  m; AO — length of plummet.

właściwej poziomu, niemniej jednak błąd ten nie jest mniejszy niż 25%. W związku z powyższym w przypadkach słonych płuczek nie jest wskazane stosowanie bocznego sondowania oporności, ponieważ zadowalające wyniki uzyskuje się jedynie za pomocą sterowanego profilowania oporności. Metoda sterowanego profilowania oporności charakteryzuje się dobrą zdolnością rozdzielczą przy dowolnej mineralizacji płuczki. Krzywe sterowanego profilowania oporności szczegółowo odzwierciedlają własności elektryczne skał piaszczowociepłych, jeśli nie istnieje w nich przenikanie filtratu płuczkowego. W przypadku podwyższającego przenikania filtratu w poziomie krzywe te odzwierciedlają oporność właściwą strefy filtracji i mogą być wykorzystane do określenia jej parametrów.

Przy niegłębokim obniżającym przenikaniu filtratu płuczkowego w poziomie ( $D < 4 - 6d_o$ ) krzywe sterowanego profilowania oporności mogą być wykorzystane do określenia oporności właściwej poziomu. W związku z tym najbardziej sprzyjającym warunkiem stosowalności sterowanego profilowania oporności jest brak podwyższającego i obniżającego głębokiego przenikania filtratu płuczkowego w poziomach zbiornikowych. Na ryc. 5 przedstawiono wykresy, pozwalające porównać zdolność rozdzielczą sond sterowanego profilowania oporności i sondy gradientowej o długości AO = 2,75 m.

Wykresy powyższe skonstruowano dla ośrodka dwuwarstwowego; pozwalają one ocenić w jakim stopniu różni się pozorna oporność właściwa  $R_{po}$  od rzeczywistej oporności właściwej poziomu  $R_w$  zależnie od wpływu ośrodka otaczającego przy różnej miąższości warstwy badanej. Za pomocą sterowanego profilowania oporności uzyskujemy wartości  $R_{po}$  bliskie wartości  $R_w$  przy dowolnych opornościach właściwych ośrodka otaczającego  $R_{ot}$ , gdy miąższość warstwy badanej przewyższa 1 m (ryc. 5a). Wpływ skał otaczających na wskazania sondy gradientowej o długości AO = 2,75 m jest znaczny, jeśli miąższość warstwy przewyższa długość sondy (ryc. 5b). Przy

sondach o długościach  $\overline{AO} = 5,69$  i  $8,5$  m zaznacza się jeszcze większy wpływ skał otaczających.

Ze względu na to, że w zachodniej części syneklizy osady kambru w poszczególnych kompleksach piaskowcowych są niejednorodne i przewarstwiane cienkimi wkładkami ilastymi najbardziej efektywna dla wydzielenia serii kolektorskich w tych kompleksach w warunkach zasolonych płuczek okazała się metoda porównania wskazań na krzywej sterowanego profilowania oporności i sterowanego mikroprofilowania oporności. Porównując wspomniane krzywe można wydzielić w profilu osadów kambru zarówno poziomy z podwyższającym lub obniżającym przenikaniem filtratu płuczkowego lub nieprzepuszczalnym. Oporności właściwe warstwy pomierzone sondą laterologową jeśli są większe niż oporności właściwe pomierzone mikrosondą laterologową traktuje się jako rezultat obniżającego przenikania filtratu płuczkowego, które jest charakterystyczne dla poziomów ropogazonośnych i na odwrót, oporności właściwe strefy przyodwiertowej większe od wielkości oporności właściwej warstwy określonej metodą sterowanego profilowania oporności P<sub>ost</sub> traktuje się jako wynik podwyższającego przenikania filtratu, co typowe jest dla poziomów wodonośnych lub nieprzepuszczalnych.

Na ryc. 6 zestawiono krzywe sterowanego profilowania P<sub>ost</sub> i mikroprofilowania oporności mP<sub>ost</sub> zarejestrowane w tej samej skali w profilu osadów

### SUMMARY

Possibilities of the occurrence of oil in Middle Cambrian deposits of the Peribaltic syncline, and particularly of its western part, are discussed. Geophysical well logging methods hitherto applied are characterized and ways of their optimization presented. Geological-geophysical characteristics of Cambrian deposits as a whole, as well as of particular sandstone horizons, "A", "B" and "C", are given. Possible explorative perspectives are discussed on the basis of correlation accepted herein.

kambru w otworze ZG—4. Z porównania obu krzywych stwierdzono w przedziale głębokościowym 2636,0 — 2647,0 m przewyższenie oporności właściwej warstwy zarejestrowanej sondą laterologową w stosunku do wskazań zarejestrowanych mikrosondą laterologową (sterowanego mikroprofilowania oporności). Przypadek ten jest m.in. charakterystyczny dla kolektorów o niskich własnościach zbiornikowych, co w pełni potwierdziło opróbowanie otworu żerdziowym próbnikiem złoża. Podkreślić należy, że za pomocą obecnie wykonywanego kompleksu prac geofizycznych w otworach wierconych w rejonie syneklizy można rozwiązywać następujące zagadnienia:

- rozdzielenie profilu wg składu litologicznego,
- wydzielenie w profilu poziomów zbiornikowych,
- określenie położenia kontaktu woda-ropa,
- typowanie poziomów do opróbowania próbnikami złoża oraz ustalanie przedziałów głębokościowych do perforacji rur okładzinowych,
- wydzielenie w kolektorach przewarstwień ilastych i słabo przepuszczalnych,
- określenie parametrów niezbędnych do obliczenia zasobów ropy i gazu, w tym określenie granic warstw i efektywnych miąższości, a także współczynnika nasycenia ropą oraz porowatości.

### РЕЗЮМЕ

В статье на основании обобщения результатов геолого-поисковых работ, проведенных на площади Прибалтийской синеклизы, анализируется перспективность среднего кембрия, особенно в западной части синеклизы. Детально рассматриваются применяемые до сих пор комплексные методы геофизического исследования скважин и выдвигаются предложения по рациональному использованию геоприменяемые до сих пор комплексные методы геологической характеристика пород кембрия с учетом выделенных в среднем кембрии песчаниковых горизонтов „А”, „В” и „С”. Указаны перспективные районы, обоснованные проведенной корреляцией.