

Nowe odkrycia złóż gazu ziemnego w osadach miocenu północno-wschodniej części zapadliska przedkarpackiego na podstawie interpretacji bezpośredniego wpływu nasycenia węglowodorami na zapis sejsmiczny

Michał Myśliwiec*, Bożena Plezia*, Grażyna Świętnicka*

The Miocene gas fields discovered in the NE part of the Carpathian Foredeep on the base of the Direct Hydrocarbon Indicators on the seismic data. *Prz. Geol.*, 52: 395–402.

S u m m a r y. The paper contains the description of the latest discoveries made on the basis of the DHI in the extreme NE part of the Carpathian Foredeep. Total reserves of Biszczka, Dzików, Wola Obszańska, Książpol, Łukowa, and Luchów gas fields are estimated on 5.5 m^3 of high methane content gas.

Key words: seismic anomalies, bright spot, time sag, Miocene, Carpathian Foredeep, gas fields

W latach 1994–2003 w osadach miocenu zapadliska przedkarpackiego, na podstawie wyników interpretacji bezpośredniego wpływu nasycenia węglowodorami na zapis sejsmiczny (*Direct Hydrocarbon Indicators*, Sheriff, 1997; Borys i in., 2000) odkryto ok. 20 nowych złóż gazu ziemnego. Są to m.in. złoża Biszczka, Wola Obszańska, Książpol, Kuryłówka, Palikówka, Rudka, Bratkowice, Dzików, Chałupki Dębniańskie, Żołynia, Grodzisko Dolne, Dąbrowica, Łukowa, Terliczka, Stobierna, Jasionka, Luchów–Wola Różaniecka, Sarzyna i Kupno. Ogółem udokumentowano w nich zasoby w ilości ponad 11 mld m^3 , a w trakcie dokumentowania są zasoby w ilości ok. 6 mld m^3 .

Poszukiwania w oparciu o anomalie sejsmiczne rozpoczęto w rejonie Biszczki położonym w skrajnie północno-wschodniej polskiej części zapadliska (ryc. 1). Złoże Biszczka stało się pierwszym złożem gazu odkrytym w tym rejonie z grupy Dzików–Wola Obszańska–Książpol–Łukowa–Biszczka. Obszar ich występowania ograniczony jest od SW zrębem Ryszkowej Woli, od SE tektoniczną strefą Lubaczowa–Uszkowców, a od północy krawędzią zapadliska.

Złoże gazu ziemnego Biszczka

Prace poszukiwawcze w rejonie Biszczki rozpoczęto już w 1968 r. otworem Książpol 8. Na podstawie wyników stosowanej wówczas metodyki interpretacji pomiarów geofizyki wiertniczej otwór uznano za negatywny. Do poszukiwań powrócono w 1988 r., kiedy to na południe od później odkrytego złoża wykonano odwiert Jedlinki 1, również z wynikiem negatywnym. Po raz trzeci prace poszukiwawcze rozpoczęto w latach 90. od zastosowania innej metodyki interpretacji danych sejsmicznych. W oparciu o nią w 1994 r. na anomalii Biszczki odwiercono otwór Biszczka 1, odkrywając wielopoziomową akumulację gazu ziemnego (ryc. 2). Łącznie w pierwszym odwiercie wydzielono 8 horyzontów piaskowcowych i piaskowcowo-lupkowych. Uzyskano przypiły gazu sięgające 240 Nm^3/min . W następnych latach prowadzono rozpoznanie

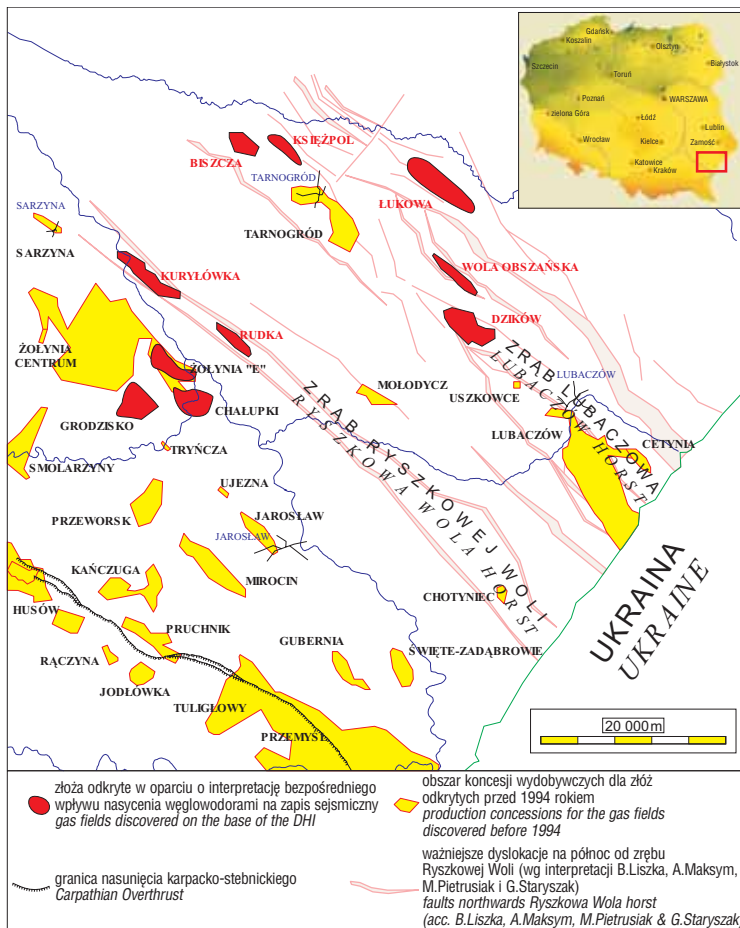
odkrytego złoża odwiertami Biszczka 2, 3, 4 i 5, których 2 (numery 4 i 5) również dały wynik przemysłowy.

Złoże Biszczka okazało się złożem niedużym, ale ze względów metodycznych niezwykle ważnym. Było rodzajem poligonu doświadczalnego nie tylko dla badań sejsmicznych, ale również dla doskonalenia interpretacji pomiarów geofizyki wiertniczej, pobierania rdzeni w skałach nieskonsolidowanych, wykonywania pomiarów laboratoryjnych i w końcu również technologii opróbowania odwiertów.

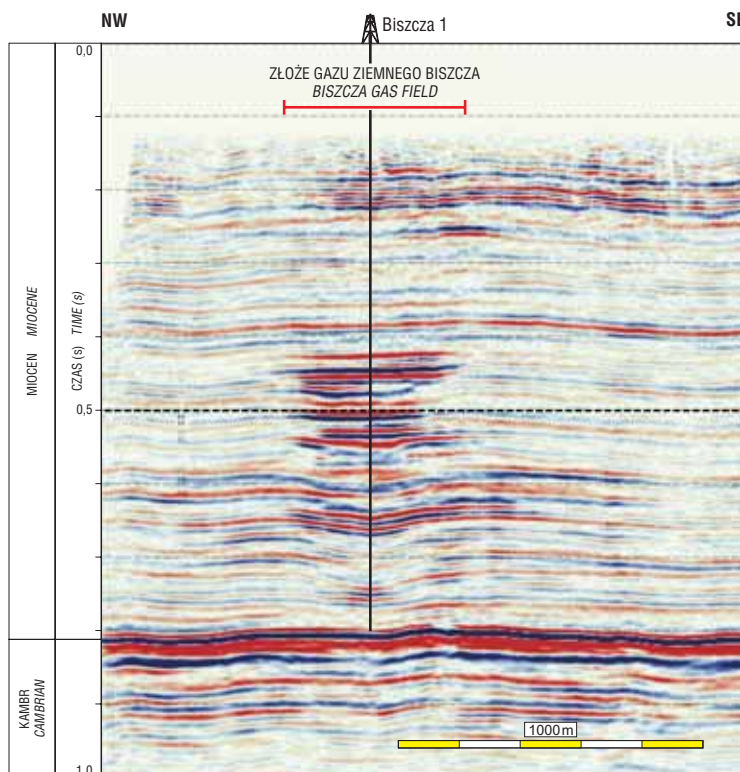
W tym okresie rozpoczęto również wykonywanie pomiarów geofizycznych w odwiertach za pomocą nowoczesnej aparatury firmy Halliburton, która zastąpiła technologię radziecką. Standaryzacja pomiarów, ich większa rozdzielczość, wprowadzenie bezpośredniego pomiaru gęstości, nowoczesnego pomiaru akustycznego oraz pomiaru 6-ramiennym upadomierzem zrewolucjonizowało metodykę interpretacji. Początkowo dużym zaskoczeniem było bardzo słabe manifestowanie się na pomiarach poziomów piaszczystych nasyconych gazem. Wkrótce ustalono, że bezpośrednią przyczyną był nieskonsolidowany stan najbardziej wydajnych skał zbiornikowych, co w znaczny sposób obniżało ich oporność również w przypadku nasycenia gazem. Dla przebadania skał zbiornikowych oraz kalibracji pomiarów geofizycznych rozpoczęto po raz pierwszy w Polsce pobieranie rdzeni w otulinach z włókna szklanego, później wdrożono również technologię wykonywania pomiarów laboratoryjnych na próbkach skał słabo skonsolidowanych (Myśliwiec & Baczyński, 1999). Obecność piasków była przyczyną piaszczenia w czasie eksploatacji horyzontów gazowych, koniecznym więc stało się rozpoczęcie stosowania nowoczesnych filtrów przeciwdziałających temu niebezpiecznemu zjawisku.

Ogółem w złożu Biszczka udokumentowano 410 mln Nm^3 gazu ziemnego w 9 horyzontach, przy czym w 6 uzyskano przypiływ przemysłowy gazu o średniej zawartości objętościowej metanu 99,36%. Na podstawie korelacji krzywych pomiarów geofizycznych stwierdzono, że złożo ma charakter strukturalny. Wieloczęściowa pułapka strukturalna jest typu warstwowego. Horyzonty w części nasyczonej gazem mają kształt wydłużonych antyklin o przebiegu NW–SE i maksymalnych wymiarach ok. 2,5 na 1,7 km. Głębokość ich zalegania waha się od 508 do 890 m, przy miąższości od 4 do 30 m. Warto dodać, że we wcześniejszych pracach projektowych za pomocą prostej konwersji czasowo-głębokościowej nie uzyskano zamknięcia struk-

*PGNiG S.A. Departament Poszukiwania Złóż, Ośrodek Południe w Jasle, ul. Asnyka 6, 38-200 Jasło; m.myśliwiec@geonaf.ta.jaslo.pl



Ryc. 1. Mapa rozmieszczenia złóż w północno-wschodniej części zapadliska przedkarpackiego
 Fig. 1. Map of the gas fields location in the Miocene deposits of the NE part of the Carpathian Foredeep



turalnego. Rozpoczęto wtedy pierwsze prace modelowe, w celu poprawnego ustalenia szczytowej części struktury.

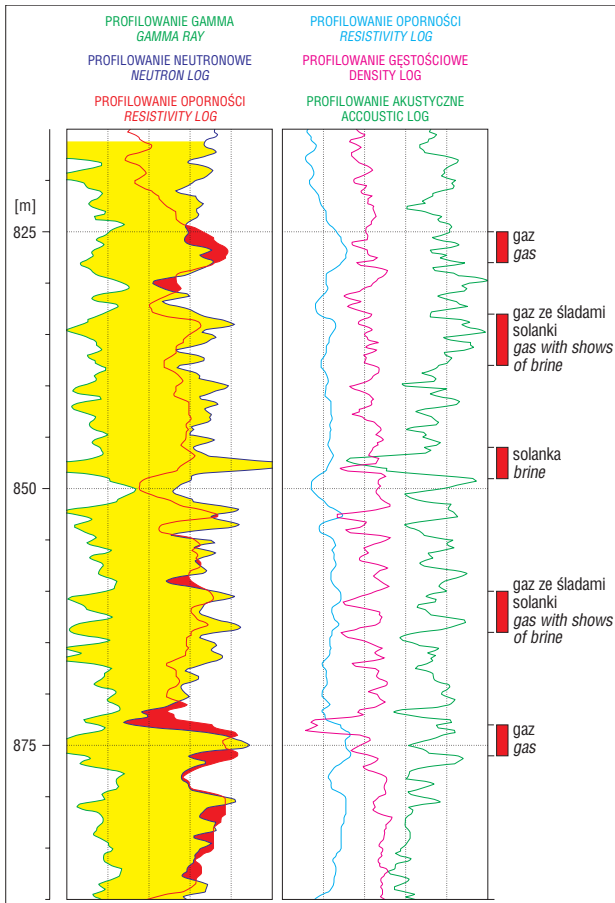
Skałami zbiornikowymi złoża Biszczka są deltowe piaski, słaboskonsolidowane piaskowce oraz cienkowarstwowe heterolity piaskowcowo-mułowcowe sarmatu, skałami uszczelniającymi zaś występujące w postaci cienkich przewarstwień łupki ilaste i skały ilasto-mułowcowe. W złożu stwierdzono obecność znacznych zmian facjalnych i litologicznych. Granicami niektórych horyzontów jest zanik właściwości zbiornikowych związany ze znacznym wzrostem zailenia. Kontur gaz/woda nie we wszystkich przypadkach jest możliwy do wyznaczenia, szczególnie w horyzontach zbudowanych ze skał mułowcowo-piaskowcowych przepierawstwiających łukami ilastymi.

Badając skały zbiornikowe złoża Biszczka zauważono specyficzny charakter osadów nieskonsolidowanych i jego wpływ na wyniki zarówno sejsmicznych, jak i otworowych badań geofizycznych. Na otworowe profilowania geofizyczne znaczący wpływ mają rozluźnienie osadów, przy jednoczesnej podwyższonej zawartości węglanów, cienkowarstwowość oraz zmieniające naturalną promieniotwórczość osadów pierwiastki „ziem rzadkich”. Słabe skonsolidowanie osadów wywołuje bardzo niską oporność pozorną skał zbiornikowych nasyconych gazem, ok. 1,5–3,5 m (ryc. 3). Sugeruje to zawodnienie oraz niższe wartości porowatości i przepuszczalności, czemu zazwyczaj przeczą zarówno pomiary laboratoryjne, jak i wyniki opróbowań. Wszystkie wartości wyliczone z pomiarów geofizyki wiertniczej były mniejsze niż wielkości pomierzone w laboratoriach. Średnie wartości porowatości geofizycznej dla horyzontów wahają się od 9 do 17%, podczas gdy w laboratorium pomierzono wartości pomiędzy 26 a 39%, przy przepuszczalnościach dochodzących do 2000 mD. Tak duże przepuszczalności zostały potwierdzone wysokimi przyływami gazu, które niejednokrotnie osiągały 200 Nm³/min.

W czasie rozpoznawania złoża Biszczka szczególną uwagę zaczęto zwracać na jakość danych sejsmicznych i sposób ich przetwarzania. Wkrótce okazało się, że bezwzględnie konieczne jest przetwarzanie umożliwiające zachowanie rzeczywistych relacji amplitud. Rozpoczęto szersze stosowanie interpretacji atrybutów trasy sejsmicznej, takich jak energia sygnału, amplituda, faza i częstotliwość chwilo- we i AVO. Stosowane modelowanie pola pręd-

Ryc. 2. Przekrój sejsmiczny przez złożo gazu ziemnego Biszczka

Fig. 2. The seismic profile across the Biszczka gas field



Ryc. 3. Fragment wykresu pomiarów geofizyki otworowej z odwiertu Biszcza-4

Fig. 3. The part of the logs from Biszcza-4 well

kości przy konwersji czasowo-głębokościowej pozwalało na lepsze odwzorowanie obrazu strukturalnego. Generalnie rozpoczęto wtedy stosowanie metody bezpośrednich wskaźników węglowodorów na profilach sejsmicznych (Borys i in., 1999, 2000).

Złoże gazu ziemnego Dzików

W tym samym ciągu złóż, ale od jego południowo-wschodniego krańca położone jest złoże Dzików. Odkryte je już w 1960 r. otworem Uszkowce 8. W latach 1987–1990 odwiercono kilka kolejnych otworów, którymi łącznie udokumentowano niewielkie zasoby gazu w ilości ok. 160 mln Nm³ w 5 horyzontach: 3 w osadach sarmatu, 1 w anhydrytach i osiarkowanych wapieniach detrytycznych poziomu ewaporatowego oraz 1 w piaszczystych warstwach baranowskich. Złoże to jest eksploatowane od 1996 r.

Do poszukiwań w tej strefie powrócono w latach 90. W oparciu o nowe dane sejsmiczne z lat 1995–1997 ustalono, że na obszarze na południe od odkrytej już akumulacji występuje wyraźna anomalia sejsmiczna typu *bright spot* i

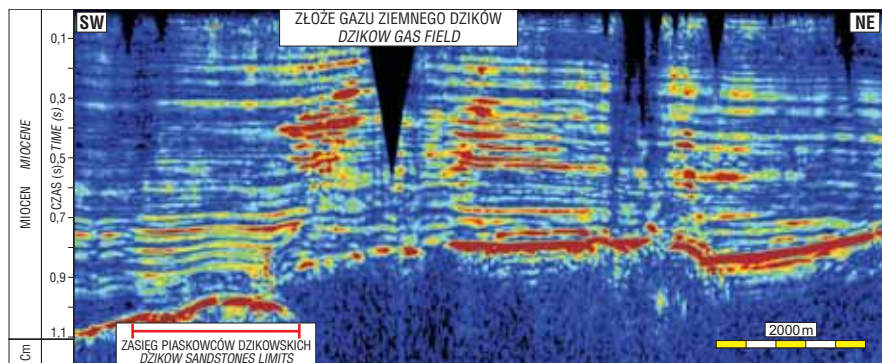
time sag (ryc. 4). Sześć wykonanych wierceń w pełni potwierdziło związek anomalii z akumulacjami gazu ziemnego. Odkryto 14 nowych horyzontów z zasobami geologicznymi w ilości 2037 mld Nm³ gazu o zawartości metanu od 90,198% objętościowych w warstwach baranowskich, przez 91,87% w osadach ewaporatowych aż do 99,71% w osadach sarmatu.

W przypadku złoża Dzików w trakcie prac projektowych poprawnie zinterpretowano obraz strukturalny. Na tej podstawie odwiercono pierwszy otwór Dzików 17. W spągowej części sarmatu nawiercono ławicę piaskowca o miąższości 30 m. Z jej stropowej części uzyskano przypływ gazu w ilości 540 Nm³/min. Otwór został przekazany do eksploatacji, natomiast pozostałe wyższe horyzonty, co do których na podstawie pomiarów geofizycznych przypuszczano, że również są nasycone gazem ziemnym, pozostawiono do przebadania w kolejnych odwiertach.

Następne wiercenia udostępniały kolejne horyzonty gazonośne. W niektórych z nich, jak np., w odwiercie Dzików 12 opróbowano aż 16 poziomów gazowych w osadach sarmatu. Wydajności najczęściej wynosiły kilkaset Nm³ na minutę, a najwyższa sięgnęła aż 717 Nm³/min. z horyzontu XVa (piaskowiec dzikowski). Zasoby tylko w strefie drenażu tego jednego horyzontu ustalone na podstawie testu wynoszą 170 mln Nm³. Ogólnie z 21 odkrytych horyzontów nasyconych gazem, akumulację gazu o wartości przemysłowej ma 15.

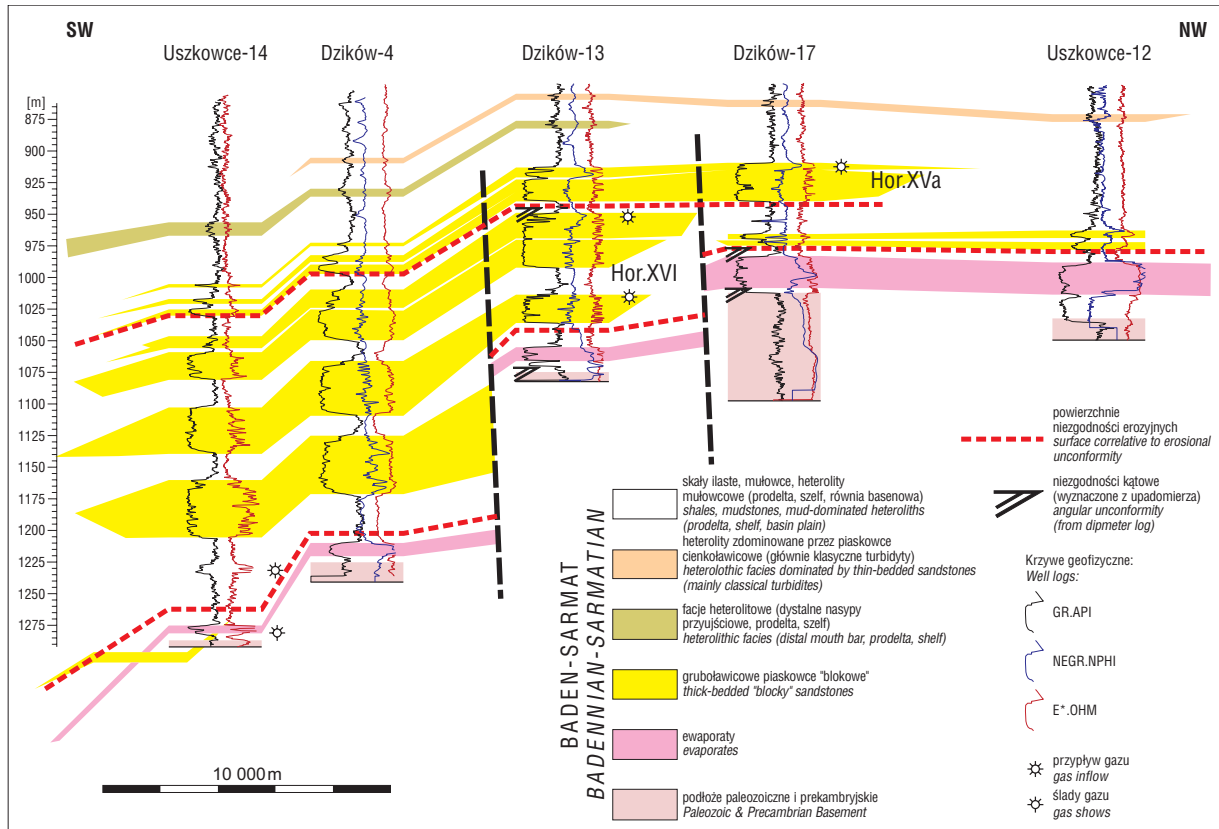
W strefie złoża Dzików osady miocenu leżą niezgodnie na zerodowanym podłożu kambryjskim. Na południowy zachód od złoża przebiega ważna strefa uskokuwa o kierunku SE–NW ze zrzuconym skrzydłem południowo-zachodnim (ryc. 5). Uskoki przecinają kambryjskie skały podłoża, osady badenu i niższą część osadów sarmatu. Brały one udział w uformowaniu wyraźnego wyniesienia w podłożu, które obleczone jest zbiornikowymi osadami miocenu. Strefy dyslokacyjne odegrały również ważną rolę w powstawaniu tzw. piaskowców dzikowskich, grubych pakietów piaskowcowych przelawionych mułowcami, które są skałami zbiornikowymi dla gazu w dolnych horyzontach. Ich poszczególne pakiety są ograniczone od północnego wschodu bądź uskoki, bądź wyklinowują się do podłoża. Na pomiarach geofizyki otworowej mają charakterystyczny blokowy kształt.

Złoże Dzików znajduje się w pułapce strukturalnej typu warstwowego. Poszczególne horyzonty gazonośne



Ryc. 4. Profil sejsmiczny z anomalią Dzikowa. Atrybut energia sygnału. Anomalia w centralnej części profilu zdeformowana przez duże braki w pokryciu

Fig. 4. Seismic line showing the Dzików anomaly. The central part of the anomaly is disturbed by the loss of data



Ryc. 5. Korelacja pomiarów geofizyki wiertniczej przez złożo Dzików prezentująca położenie dzikowskich piaskowców „blokowych” w stosunku do systemu dyslokacji, pułapka złożona strukturalno-stratygraficzna (Porębski, 2000)
Fig. 5. The well-log correlation across the Dzików gas field showing the trapping mechanism of the Miocene blocky sandstones, the complex structural-stratigraphic traps (after Porębski, 2000 — unpublished)

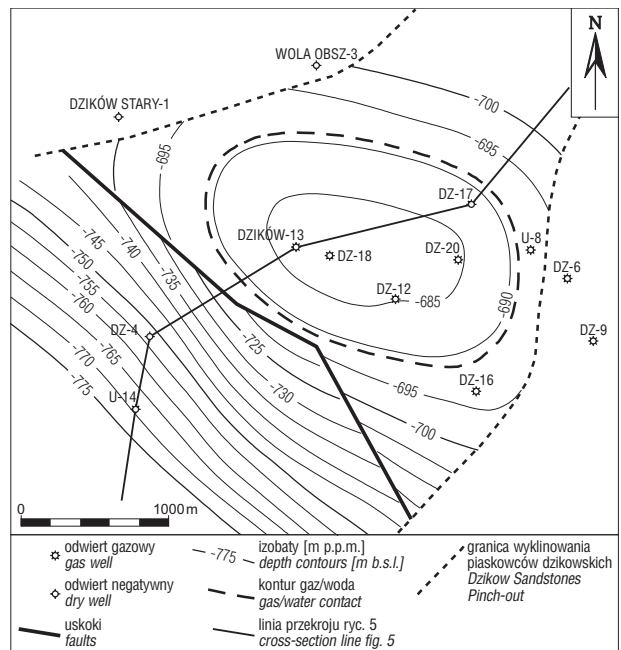
mają formę antyklin o osiach NW–SE. Największy zasięg ma złożo związane z X horyzontem gazonośnym o długości ok. 6 km i średniej szerokości ok. 1,8 km (maksymalnie 2,3 km). Przemysłowe horyzonty zalegają na głębokości od 421 do 949 m przy miąższości w granicach od 3 do 16 m. Amplituda struktury zmienia się wraz z głębokością. Największa ok. 20 m, jest w horyzontach najgłębszych, ku górze profilu maleje, co jest zgodne z kompakcyjnym pochodzeniem struktury.

Skałami zbiornikowymi są osady piaszczyste i mułowcowe sarmatu. Rolę warstw uszczelniających spełniają pakiety nieprzepuszczalnych ilów, łupki ilaste i osady ilasto-mułowcowe. W horyzontach piaskowcowych możliwe było wyznaczenie konturów gaz/woda, w horyzontach heterolitowych zaś zazwyczaj nie jest to możliwe. W niektórych horyzontach akumulacja gazu jest ograniczona przez zmiany litologiczne.

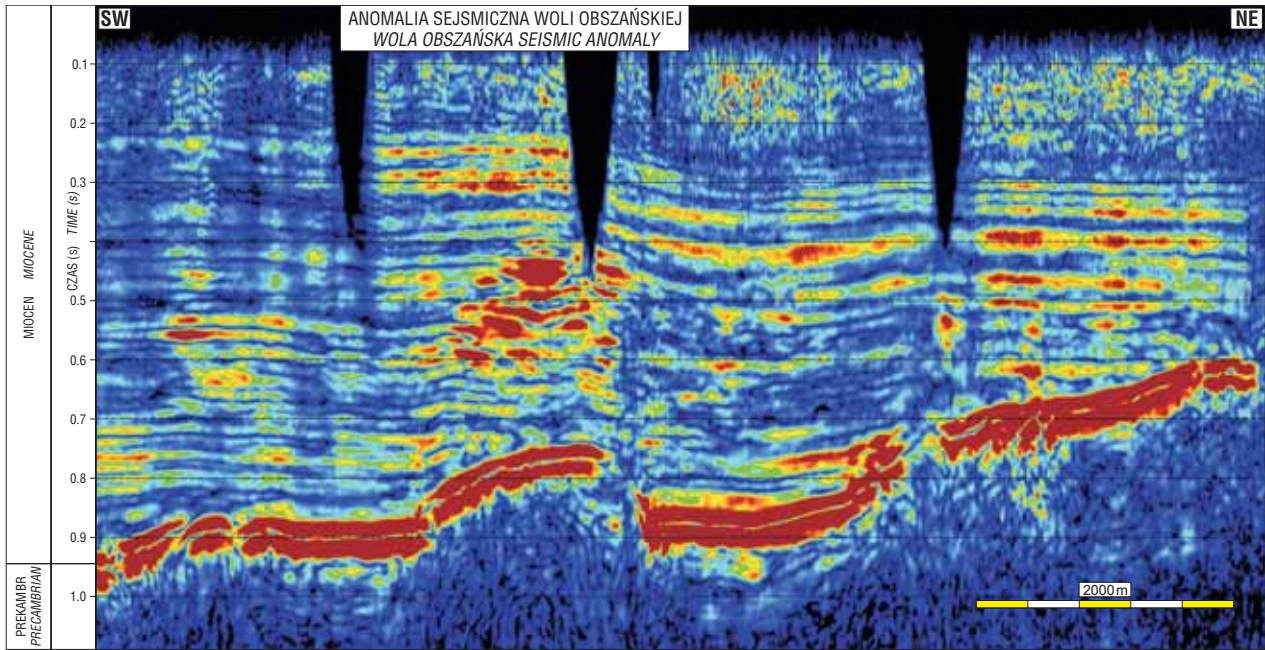
Osady będące kolektorami gazu ziemnego w złożu Dzików charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami petrofizycznymi. Najlepszymi kolektorami są tzw. piaskowce dzikowskie (ryc. 6). Genetycznie są prawdopodobnie związane z grawitacyjną redepozycją materiału klastycznego niemal *in situ* z lokalnego, wynurzonego wypiętrzenia podłoża (Porębski, 2000).

Piaskowce dzikowskie przebadano w odwiertach Dzików 17 (947–948) i Dzików 19 (952–953). Reprezentują one otwornicową zonę *Anomalinoides dividens*. Są to piaskowce typu arenitów o doskonałym wysortowaniu, przemyciu i obtoczeniu materiału ziarnowego oraz bardzo

wyselekcjonowanym składzie. Zdecydowanie różnią się od wyższych piaskowców sarmatu, które są generalnie nie-



Ryc. 6. Mapa strukturalna horyzontu XVa złoża Dzików (piaskowce dzikowskie)
Fig. 6. The depth contour map of the XVa horizon, Dzików sandstones



Ryc.7. Anomalia sejsmiczna Woli Obszańskiej
Fig. 7. Seismic line showing the Wola Obszańska anomaly

dojrzałe teksturalnie i mineralnie i reprezentują typ wak litycznych i sublitycznych, wak kwarcowo-luszczykowych, a przy lepszym wysortowaniu typ arenitów sublitycznych.

Porowatość piaskowców dzikowskich waha się pomiędzy 15 a 35% przy przepuszczalnościach ok. 200 i więcej mD, podczas gdy średnia dla skał zbiornikowych wyższego sarmatu wynosi 16%, chociaż i tutaj zdarzają się porowatości nawet 35%, przy przepuszczalnościach od kilkudziesięciu do 440 mD.

Do tej pory odkryto 4 poziomy piaskowców dzikowskich, z których 3 są gazonośne. Nie do końca ustalono

jeszcze zarówno ich genezę, jak i rozprzestrzenienie. Biorąc pod uwagę zarówno znaczne zasoby w nich zakumulowane, jak i ogromne wydajności jest to ważny problem poszukiwawczy.

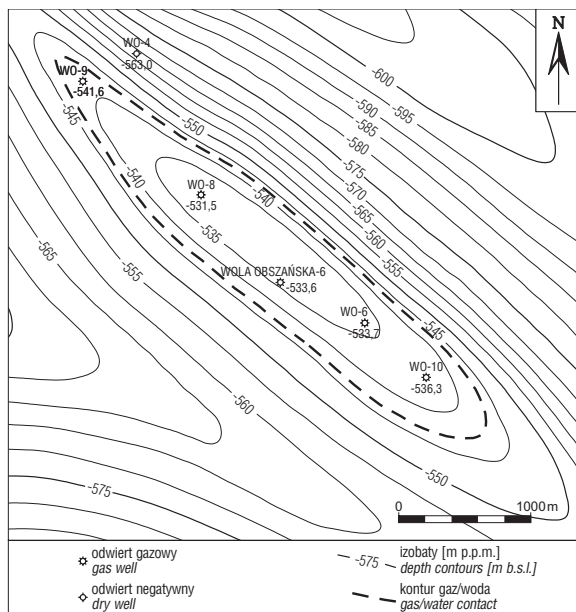
Złoże gazu ziemnego Wola Obszańska

Historia pierwszych prac poszukiwawczych w rejonie Woli Obszańskiej, jak rzadko w zapadlisku, obfituje w niepowodzenia. Prace rozpoczęto już w 1959 r. otworem Wola Obszańska 1. W położonym na NW od obecnego złoża odwiercie stwierdzono jedynie występowanie śladów gazu. Kolejne trzy odwierty z początku lat 60. okazały się zupełnie nieudane. Ich negatywne wyniki miały świadczyć o braku odpowiednich warunków strukturalno-złożowych dla występowania złóż gazu ziemnego.

Do poszukiwań powrócono w 1984 r. z nową ideą, polegającą na poszukiwaniu akumulacji węglowodorów w wyklinowaniach osadów miocenu na zboczach dużych struktur podłoża. Generalnie w skali całej wschodniej części zapadliska złóż tego typu odkryto bardzo niewiele. Odwiercono kolejne 2 otwory bez wyników przemysłowych. Dwa lata później, w 1986 r. kolejny odwierc WO 7 stwierdził w osadach miocenu znów jedynie ślady gazu. Już drugi etap prac opartych na klasycznej interpretacji strukturalnej nie przyniósł powodzenia.

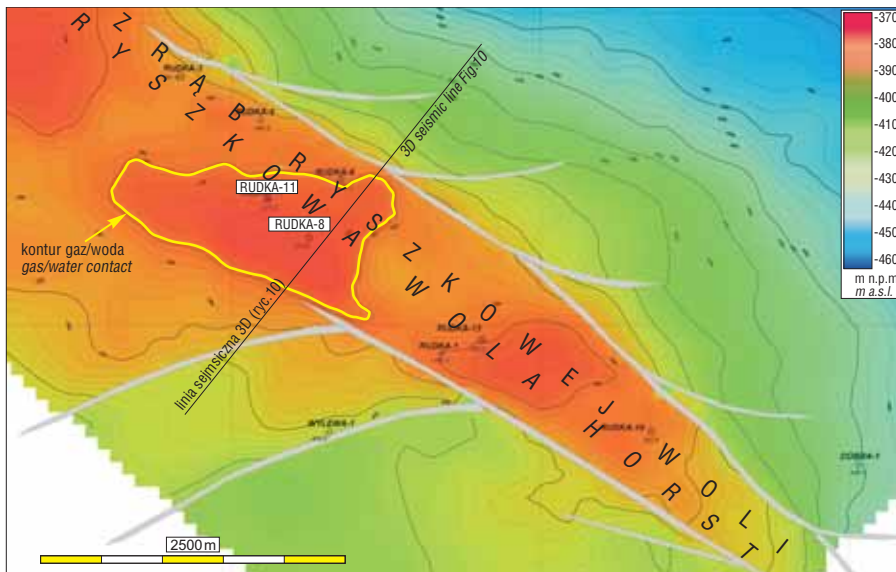
W latach 1995–1997 w rejonie złoża wykonano i zinterpretowano nowe zdjęcie sejsmiczne bazując na doświadczeniach uzyskanych w rejonie Biszczycy. Rozpoznano strefy anomalii sejsmicznych. Obraz strukturalny osadów miocenu opracowano wariantowo, z uwzględnieniem i bez uwzględnienia anomalii prędkościowych. Interpretacje poparto analizą atrybutów trasy sejsmicznej. Wytypowano do poszukiwań aż 26 nowych obiektów poszukiwawczych.

W oparciu o uzyskane wyniki zlokalizowano pierwszy odwierc Wola Obszańska 10 (ryc. 7). Odwierciem tym



Ryc. 8. Mapa strukturalna XIII horyzontu gazonośnego złoża Wola Obszańska

Fig. 8. The depth contour map of the Wola Obszańska XIII gas horizon



Ryc. 9. Mapa strukturalna stropu horyzontu VIII złoża Rudka. Widoczne kulisowo ułożone dyslokacje związane z ruchem przesuwczym dyslokacji głównych ograniczających zręb Ryszkowej Woli (Masłowski, 2003)

Fig. 9. The depth contour map of the VIII gas horizon of the Rudka gas field. Note the echelon pattern of the faults in the Miocene cover resulted of the strike-slip movements along the faults in the Miocene basement (Masłowski, 2003)

odkryto złożo gazu ziemnego Wola Obszańska. Złożo rozpoznano kolejnymi 5 odwiertami, z których 4 uzyskały przemysłowe przyływy gazu.

Odkryte złożo zawiera aż 17 horyzontów gazonośnych, przy czym z 13 otrzymano przemysłowy przyływ gazu. Złożo znajduje się w pułapce strukturalnej typu warstwowego. Poszczególne horyzonty mają kształt wydłużonych antyklin o osiach NW–SE. Horyzont IX, o największym zasięgu ma wymiary 5,9 km długości przy szerokości ok. 1

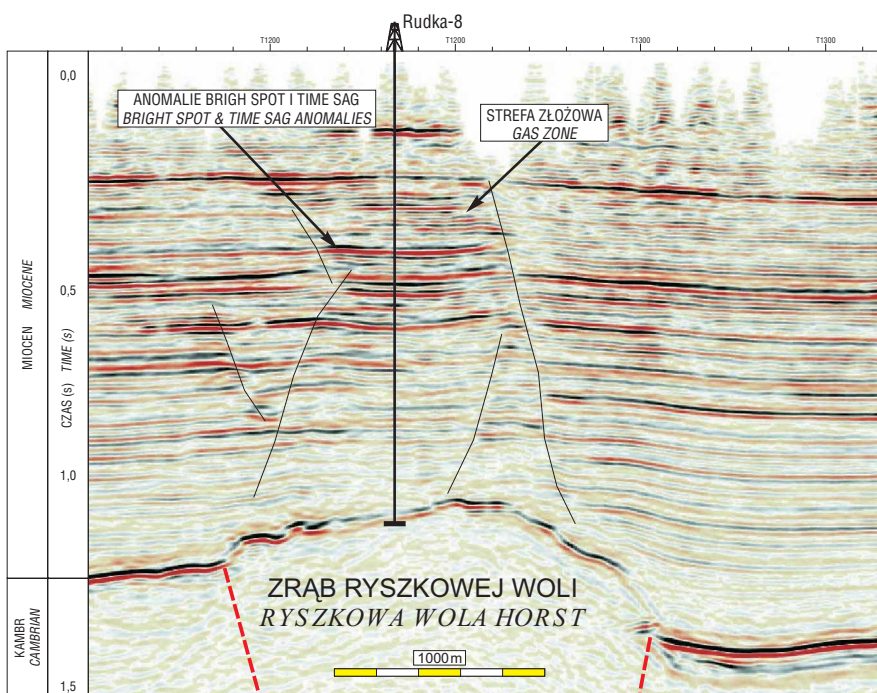
prawie płasko, upady wynoszą od 0 do 5°. Wykazują dużą zmienność facjalną. Wyklinowują się do stropu poziomu anhydrytowego.

Antyklina, która jest pułapką dla gazu ziemnego jest pochodzenia kompacyjnego. Gaz jest zakumulowany w piaskowcowych i piaskowcowo-mułowcowych, deltowych osadach sarmatu, natomiast skałami uszczelniającymi są łupki ilaste i osady ilasto-mułowcowe występujące w postaci cienkich przewarstwień.

Ogółem w złożu udokumentowano 1,01 mld Nm³ wysokometanowego gazu ziemnego. Zawiera on zawsze powyżej 98% metanu (maksymalnie 99,653%). Jedynie w jednym niedokumentowanym horyzoncie położonym w najniższej części osadów miocenu stwierdzono podwyższoną ilość siarkowodoru (0,354% obj.).

Podobnie jak w przypadku i innych złóż w cienkowarstwowym osadach miocenu, w części horyzontów gazonośnych akumulacje gazu ograniczone są zmianami facjalnymi i litologicznymi. W związku z tym tylko w niektórych horyzontach piaskowcowych możliwe jest określenie położenia konturu gaz/woda.

Porowatość skał zbiornikowych waha się w zależności od horyzontu od 13 do 31%, przy



Ryc. 10. Linia sejsmiczna przez złożo gazu Rudka ponad zrębem Ryszkowej Woli

Fig. 10. The seismic example showing the structural fault-related trap, the Rudka gas field over the Ryszkowa Wola horst

przepuszczalności sięgającej często 600 mD.

W rejonie północno-wschodnim odkryto również złoża gazu ziemnego Księżpol i Łukowa. Wielohoryzontowe złoża gazu Księżpol położone w obrębie piaszczysto-łupkowych osadów sarmatu odkryte zostało w 1996 r. otworem Księżpol 10. Wyniki złożowe kilku kolejnych odwiertów pozwoliły udokumentować 390 mln Nm³ wysokometanowego gazu ziemnego w 6 horyzontach. W obecnie dokumentowanych złożach Łukowa i Luchów odkryto odpowiednio ok. 700 i 250 mln Nm³ gazu.

Ważnym elementem strukturalnym, który ogranicza od południowego-zachodu północno-wschodnią część zapadliska jest zrąb Ryszkowej Woli. W rejonie położonym ponad zrębem w latach 60., 70. i 80. odkryto 5 małych złóż gazu ziemnego: Ryszkowa Wola, Chotyniec, Kuryłówka, Sarzyna i Rudka. Zrąb Ryszkowej Woli jest ważnym elementem tektonicznym w budowie wschodniej części zapadliska. Na terenie Polski ciągnie się na odcinku ok. 60 km od granicy z Ukrainą, aż po rejon Sarzyny. Poczynając od Sarzyny ku granicy, wysokość zrębu i zrzut ograniczających go dyslokacji znacznie się zwiększają. Wraz ze wzrostem wysokości zrębu następuje także zwiększanie jego szerokości. Przy szerokości zrębu ok. 2 km, w rejonie Rudki, wielkość zrzutu skrzydła SW wynosi ok. 100 m, a skrzydła NE ok. 300 m.

Uskoki ograniczające zrąb Ryszkowej Woli mają typowy dla tej części zapadliska kierunek NW–SE. Niewątpliwie mają starsze założenia, ale cechy osadów miocenu w strefach przuskokowych wskazują również na ich aktywność w czasie sedimentacji miocenijskiej.

Powstanie dyslokacji ograniczających zrąb Ryszkowej Woli ma ścisły związek z oddziaływaniem nasuwającego się ku północy orogenu karpackiego na zorientowane NW–SE struktury nieciągłe podłoża zapadliska przedkarpackiego (Krzywiec, 1999). Dyslokacje NW–SE zostały w miocenie reaktywowane w prawoskrętnym reżimie przesuwczym. Jego wynikiem stało się powstanie szeregu wypiętrzonych bloków podłoża w postaci pozytywnych struktur kwiatowych (Krzywiec, 1999). W ten sam sposób powstało szereg uskoków odwróconych w obrębie silnego refleksu korelowanego z serią anhydrytową (uskoki Mołodyczy, Woli Różanieckiej), (Myśliwiec, 1996). Przesuwczy charakter uskoków zrębu Ryszkowej Woli potwierdza interpretacja zdjęcia sejsmicznego 3D, na którym w osadach miocenu wyraźnie zaznacza się system uskoków kulisowych związanych ze składową przesuwczą w podłożu (ryc.9).

Zrąb Ryszkowej Woli o cechach pozytywnej struktury kwiatowej (Krzywiec, 1999) ograniczają dwa uskoki inwersyjne z których północny ma znacznie większy zrzut. Ponad strukturą inwersyjną w podłożu, w obrębie osadów miocenu występuje również system uskoków normalnych. Ich powstanie związane jest z kompaktacją nad wyniesieniem w podłożu lub z ekstensją w miocenijskiej pokrywie osadowej, która była następstwem synsedymacyjnego wypiętrzania podłoża. Prócz głównych uskoków listrycznych występuje tutaj system uskoków towarzyszących. Związane z uskokiemi antykliny przyskokowe typu *roll over* są możliwe do zidentyfikowania na sekcjach sejsmicznych (Krzywiec, 1999, ryc.10).

Rejon zrębu Ryszkowej Woli w porównaniu z innymi nie należy do najzasobniejszych w zapadlisku, ale i tutaj po

przeanalizowaniu danych sejsmicznych pod kątem obecności anomalii sejsmicznych odkryto kolejne bardziej zasobne akumulacje. Pierwszym w ten sposób badanym złożem było złożo Kuryłówka.

Złożo gazu ziemnego Kuryłówka

Prace poszukiwawcze w rejonie Kuryłówki rozpoczęto już w 1961 r. Odkryto wtedy złożo gazu ziemnego złożone z 7 horyzontów gazonośnych z zasobami 465 mln Nm³. Ponownie prace rozpoczęto w 1996 r. w oparciu o metodykę interpretacji anomalii sejsmicznych. Na podstawie wyników badań odwiercono 8 nowych otworów, z których 7 dało przemysłowy przyływ gazu. Ostatecznie na złożu wydzielono aż 20 horyzontów, z których 11 udokumentowano jako horyzonty o znaczeniu przemysłowym o łącznych zasobach 713 mln Nm³.

Powierzchniowo złożo Kuryłówka jest dość duże — ma 5,4 km długości i 1,3 km szerokości. Złożo jest typu strukturalnego, ekranowane również litologicznie. Poza sarmatem akumulacje gazu są również w osadach warstw baranowskich. W przeciwieństwie do gazu z sarmatu, który zawiera 98,42% obj. metanu, gaz z warstw baranowskich zawiera znacznie więcej azotu, nawet do 30% przy zawartości metanu 71,03%.

Drugim złożem ponad zrębem Ryszkowej Woli, w przypadku którego rozszerzono znacznie zasoby gazu było złożo Rudka.

Złożo gazu ziemnego Rudka

Złożo gazu ziemnego Rudka leży ponad zrębem Ryszkowej Woli podobnie jak złoża Sarzyna i Kuryłówka w kierunku północno-zachodnim oraz Ryszkowa Wola i Chotyniec na południowych-wschodzie.

Złożo w dwóch mało zasobnych, położonych bezpośrednio nad podłożem, horyzontach zostało odkryte już w latach 80. Negatywne wyniki kolejnych otworów wstrzymały dalsze prace poszukiwawcze. Dopiero w 1994 r. po wykonaniu nowego zdjęcia sejsmicznego i interpretacji bezpośrednich wskaźników węglowodorów, zdecydowano o ponownym rozpoczęciu poszukiwań. Odwiercono otwór Rudka 8, którym odkryto akumulację gazu o znaczeniu przemysłowym w 8 horyzontach (ryc.10). Późniejsze prace wiertnicze pozwoliły na udokumentowanie 290 mln Nm³ gazu ziemnego.

W obrazie strukturalnym złożo Rudka składa się z trzech łagodnych form antyklinalnych w utworach sarmatu dolnego. Położone są one ponad wypiętrzoną strefą zrębu Ryszkowej Woli (ryc.10). Pułapki są typu strukturalnego, częściowo z zamknięciem tektonicznym, częściowo również litologicznym (również pułapki stratygraficzne — wyklinowanie horyzontu XII do stropu serii anhydrytowej).

Skalami zbiornikowymi są skały piaszczyste i mułowcowe w osadach deltowych w obrębie piaszczystych nasypów akumulacyjnych czoła delty, głównie w pokrywach osadów nasypów przyujściowych, w piaszczystych wypełnieniach kanałów rozprowadzających oraz w przeławicających obie facje drobnoziarnistych i cienkoławicowych osadach stref wałów przykorytowych i glicfów. Horyzonty gazonośne zalegają na głębokościach

1245–1110 m i 650–450 m, przy miąższościach od 1,2 do 5,5 m. Skałami uszczelniającymi są łupki ilaste i ilasto-mułowcowe występujące w formie cienkich prze-warstwień.

Gaz ze złoża Rudka jest typowy dla sarmatu, zawiera od 98,87 do 95,59% obj. metanu.

Gaz ziemny w nowych horyzontach, w tym w osadach warstw baranowskich, odkryto również w rejonie już znanego wcześniej złoża Sarzyna na północny-zachód od Kuryłówki. Podobnie jak w przypadku Rudki i Kuryłówki, pozytywny efekt złożowy przyniosła poprawna interpretacja anomalii sejsmicznych.

Wnioski

Złoża gazu ziemnego w północno-wschodniej części zapadliska przedkarpackiego zostały odkryte dzięki zastosowaniu wyników badania wpływu nasycenia gazem skał zbiornikowych na obraz falowy rejestrowany na danych sejsmicznych. Poprawna identyfikacja anomalii sejsmicznych typu *bright spot* i *time sag* pozwoliła na zlokalizowanie złóż położonych nie tylko w pułapkach strukturalnych ponad wyraźnymi wyniesieniami podłoża, takimi jak Dzików, czy Wola Obszańska, ale również złóż w złożonych pułapkach strukturalno-stratygraficznych, gdzie amplitudy struktur są bardzo niewielkie (złoże Biszcz). Dzięki opracowaniu metody poszukiwawczej opartej o badanie anomalii sejsmicznych, co miało miejsce w północno-wschodniej części zapadliska, możliwe były kolejne odkrycia zasobnych złóż gazu w rejonie Rzeszowa i Żołyni.

Pierwszy etap poszukiwań w północno-wschodniej części zapadliska jest obecnie finalizowany poprzez zagospodarowywanie odkrytych złóż. Obejmuje ono łącznie ok. 5,0 mld Nm³ gazu wysokometanowego w złożach Dzików, Wola Obszańska, Książpol, Łukowa, Luchów i Biszcz. Ich zagospodarowywanie rozpoczęto od Dzikowa i Woli Obszańskiej. W fazie dokumentowania są złoża Łukowa i Luchów. Obecnie przygotowany jest kolejny program poszukiwań obejmujący rejon starych złóż Lubaczów i Uszkowce, rejon na północ od złoża Lubaczów oraz położony na NE od nich rejon Sierakowa.

Trwają również prace polegające na włączeniu do sieci gazowej złóż położonych nad zrębem Ryszkowej Woli. W złożach Kuryłówka i Rudka udokumentowano łącznie 1,1 mld Nm³ gazu ziemnego, a kolejne odkryte horyzonty gazonośne będą dokumentowane w złożu Sarzyna.

Zagospodarowanie i włączenie do sieci złóż gazu ziemnego odkrytych w latach 1994–2003 w północno-wschod-

niej części zapadliska pozwoli na realizację najważniejszego elementu strategii PGNiG S.A., który polega na utrzymaniu udziału gazu krajowego na poziomie 30%, mimo prognozowanego zwiększenia jego zużycia. Ponieważ gaz krajowy jest wysokiej jakości i znacznie tańszy od gazu importowanego, realizacja tak sformułowanej strategii firmy jest kluczowa nie tylko dla jej stanu, ale również dla stanu całości gospodarki.

Literatura

- BORYS Z., MADEJ K. & MYŚLIWIEC M. 1998 — Preliminary results of the New Methodology of Gas Exploration in the North–Eastern part of the Carpathian Foredeep (Poland). Conference and Exhibition Modern Exploration and Improved Oil and Gas Recovery Methods, Kraków.
- BORYS Z., MYŚLIWIEC M. & TRYGAR H. 2000 — New Gas Discoveries in the Carpathian Foredeep, Poland, As the Result of the Seismic Anomalies Interpretation. Oil and Gas News from Poland, 10: 69–80.
- BORYS Z. & MYŚLIWIEC M. 2000 — Kierunki poprawy efektywności poszukiwań w zapadlisku przedkarpackim. Nafta–Gaz, 9: 457–465.
- Dokumentacja** geologiczna złoża gazu ziemnego Biszcz, Jasło, 1998
- Dokumentacja** geologiczna złoża gazu ziemnego Dzików, Jasło, 2001
- Dokumentacja** geologiczna złoża gazu ziemnego Wola Obszańska, Jasło, 2000.
- Dokumentacja** geologiczna złoża gazu ziemnego Książpol, Jasło, 2003.
- IKOKU CHI U. 1984 — Natural Gas Engineering, John Wiley & Sons, New York: 7–10.
- KRZYWIEC P. 1999 — Miocenska ewolucja tektoniczna wschodniej części zapadliska przedkarpackiego (Przemysł–Lubaczów) w świetle interpretacji danych sejsmicznych. Pr. Państw. Inst. Geol., 168: 249–273.
- MYŚLIWIEC M. 2004a — Poszukiwania złóż gazu ziemnego w osadach miocenu zapadliska przedkarpackiego na podstawie interpretacji anomalii sejsmicznych — podstawy fizyczne i dotychczasowe wyniki. Prz. Geol. 52: 299–306.
- MYŚLIWIEC M. 2004b — Poszukiwania złóż gazu ziemnego w osadach miocenu zapadliska przedkarpackiego na podstawie interpretacji anomalii sejsmicznych — weryfikacja anomalii. Prz. Geol. 52: 307–314.
- MYŚLIWIEC M. & BACZYŃSKI A. 1999 — Pomiaru właściwości petrofizycznych w skałach słabo i nieskonsolidowanych, Nafta–Gaz, No 2: 70–76.
- MYŚLIWIEC M., BORYS Z. & TRYGAR H. 1999 — New Gas Discoveries in the Carpathian Foredeep, Poland, as the Result of the Seismic Anomalies Interpretation. 61st Conference and Technical Exhibition, Extended Abstracts, Vol. 1, Helsinki.
- RACZKOWSKI J. 2002 — Weryfikacja zatwierdzonych zasobów gazu ziemnego w Polsce, arch. Ośrodka BG Geonafte — Południe w Jaśle.
- SHERIFF R.E. 1997 — Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics, Society of Exploration Geophysicists.

Przegląd Geologiczny jest do nabycia: Back issues of the Polish Geological Review are available for purchase:

— Państwowy Instytut Geologiczny, w Warszawie: ul. Rakowiecka 4, Punkt Sprzedaży, Budynek A, pok. 1 w godz. 9–15; Kiosk na Wydziale Geologii UW, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa;
Subscription price (2001) is 240 ZL including surface postage and handling (airmail is available for an additional fee)
Subscriptions should be sent to the Polish Geological Institute, Selling Dept., 4 Rakowiecka Street, 00-975 Warsaw, Poland