

## Wydzielanie pułapek węglowodorów w utworach poziomu dolomitu głównego poprzez rozpoznanie zmian litofacjalnych i strukturalnych na podstawie zintegrowanej interpretacji sejsmiki 3D i danych otworowych w rejonie Gorzowa

Maciej Górski\*, Elżbieta Król\*, Wiesława Kunicka-Górska\*, Małgorzata Trela\*, Helena Urbańska\*

*Koniec lat 80. i pierwsza połowa lat 90. przyniosły interesujące wyniki wierceń w rejonie Gorzowa. Dotyczyły one eksploracji poziomu dolomitu głównego w basenie permskim. Trend ten, wsparty przełomem technologicznym w pracach sejsmicznych i pomiarach geofizycznych w otworach, przyniósł znaczące w polskiej skali odkrycia złóż węglowodorów. Za najbardziej spektakularne można uznać odkrycie złoża ropno-gazowego BMB będącego największą akumulacją ropy w Polsce. Początkowe sukcesy zachęciły inwestora, PGNiG S.A., do systematycznej eksploracji strefy bariery i wewnętrznej laguny w osadach węglanowych wieku dolomitu głównego. Za podstawową przyczynę wzrostu efektywności poszukiwań należy uznać nową technologię akwizycji danych sejsmicznych — sejsmikę 3D. Wysoka jakość danych umożliwia zastosowanie nowych procedur interpretacji pozwalających wydzielić pułapki naftowe i określić ich geometrię i właściwości. Kluczem do sukcesu jest interpretacja litofacjalna integrująca dane sejsmiczne i pomiary geofizyki wiertniczej. Wyniki tych prac pozwoliły na ponowną ewaluację niektórych obiektów (Dzieduszyce, Stanowice, Marwice, Bogdaniec) i udokumentowanie nowych (Baczyna, Lubno, Marwice w poziomie Ca1). Potwierdzeniem poprawności stosowanych metod detekcji pułapek są pozytywne wyniki wierceń i niespotykana w polskich poszukiwaniach węglowodorów ich efektywność.*

**Słowa kluczowe:** basen permski, bariera dolomitu głównego, sejsmika 3D, geofizyka wiertnicza, litofacje, pułapki naftowe

Maciej Górski, Elżbieta Król, Wiesława Kunicka-Górska, Małgorzata Trela & Helena Urbańska — **Hydrocarbon traps determination in the Main Dolomite by means of identifying lithofacial and structural changes by integrated interpretation of 3D seismic and well data in the Gorzów area (western Poland).** *Prz. Geol.*, 47: 1080–1095.

*Summary. The late 80-ies and early 90-ies brought interesting results of drillings carried out in the Gorzów area. They concerned the exploration of the Main Dolomite formation in the Permian Basin. The research, backed by technological breakthrough in seismic and well logs, resulted in the significant discovery of hydrocarbon deposits in Poland. The most spectacular being BMB oil-gas deposit, which reveals the biggest accumulation of oil in the country. The initial successes encouraged PGNiG S.A., who acted as an investor, to commence systematic exploration of barrier and inner lagoon zone in carbonate deposits of the Main Dolomite age. A new technology in acquisition of seismic data, i.e. 3D seismic should be regarded as the basic factor that brought about the increase in exploration effectiveness. High quality of data made the application of new interpretation procedures possible, which in turn allowed for the determination of hydrocarbon traps, their geometry and properties. Lithofacial interpretation, which integrates seismic data and well logs, seems to be the key to the success. The results acquired in consequence of the said operation facilitated the re-evaluation of some structures (Dzieduszyce, Stanowice, Marwice, Bogdaniec) and documentation of new ones (Baczyna, Lubno, Marwice in Ca1). The positive results in exploration and the efficiency of drilling unprecedented in Poland confirms the accuracy of the applied method.*

**Key words:** Permian Basin, Main Dolomite barrier, 3D seismic, well logs, lithofacies, hydrocarbon traps

W kończącej się dekadzie lat dziewięćdziesiątych nastąpiło wyraźne przesunięcie wagi poszukiwań na obszar Niżu Polskiego. Sukcesy poszukiwawcze dokumentowane postępującymi odkryciami dużych i średniej wielkości złóż powodują, iż basen permski może być uznany za wiodący basen naftowy w Polsce. W początkach lat 90. nastąpił istotny przełom koncepcyjny i technologiczny, który rozpoczął dojrzłą fazę eksploracji basenu. Zagadnienia te zostały szerzej naświetlone w naszym poprzednim artykule (Górski i in., 2000). Powtórzmy jednak zasadnicze tezy, że przyczyn przełomu należy upatrywać w czynnikach:

□ koncepcyjnym, polegającym na dopracowaniu szczegółów gry naftowej (ang. *hydrocarbon play*),

□ technologicznym, powodującym pojawienie się nowej generacji danych sejsmicznych i otworowych.

Nowe technologie inspirowały postęp, ale głównym czynnikiem sprawczym osiągniętego przełomu jest twórczo wykorzystujący je i adoptujący do lokalnych warunków człowiek, geolog i geofizyk naftowy.

Osiągnięty przełom w poszukiwaniach dotyczy głównie dwóch poziomów zbiornikowych: wapienia cechsztyńskiego

go i dolomitu głównego. Zagadnienia związane z problematyką poszukiwań w utworach wapienia cechsztyńskiego zostały omówione we wspomnianym już poprzednim artykule. Obecnie zamierzamy skoncentrować się na rozwiązywaniu zagadnień dokumentowania pułapek złożowych w poziomie dolomitu głównego.

Mimo iż eksplorację całego Niżu Polskiego rozpoczęło odkrycie złoża ropy Rybaki w poziomie dolomitu głównego (1961) dalsze prace sejsmiczne i wiertnicze doprowadziły jedynie do odkrycia wielu mniejszych złóż. W rejonie Gorzowa na dużym obiekcie strukturalnym Cychry, stwierdzono co prawda złożę gazu (1973), jednak jego skład chemiczny (zaledwie 9,55% obj. węglowodorów, w tym CH<sub>4</sub> — 6,17% obj.) nie spowodował przemysłowego zainteresowania. Podobne wyniki przyniosło rozwiertanie obiektu Krobielewko (1980). Rejon Gorzowa przez wiele lat nie sprzyjał poszukiwaniom z kilku względów:

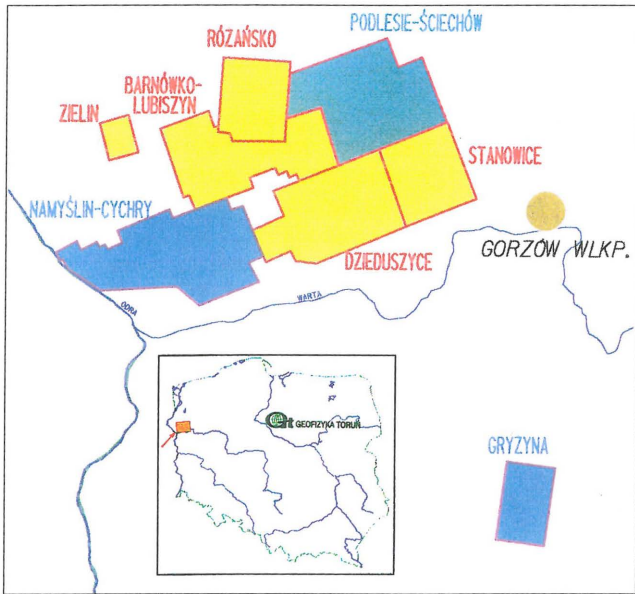
□ skomplikowanej geologii — rozpoznanie przebiegu strefy barierowej dolomitu, paleogeografii i modelu sedymentacji w czasie dolomitu głównego nastąpiło w początkach lat 80. (Antonowicz & Knieszner, 1984),

□ słabej jakości sejsmiki 2D w latach 70. i 80.,

□ słabej jakości pomiarów geofizyki otworowej wynikającej z jakości aparatury i analogowego systemu rejestracji,

\*Geofizyka Toruń Sp. z o.o., ul. Chrobrego 50, 87-100 Toruń; e-mail maciejgorski@geofizyka.torun.pl

□ ówczesnego stanu techniki wiertniczej nie zabezpieczającego występujących zagrożeń tj. wysokiego gradientu ciśnień złożowych i zawartości siarkowodoru w gazie i ropie (Mamczur i in., 1997),

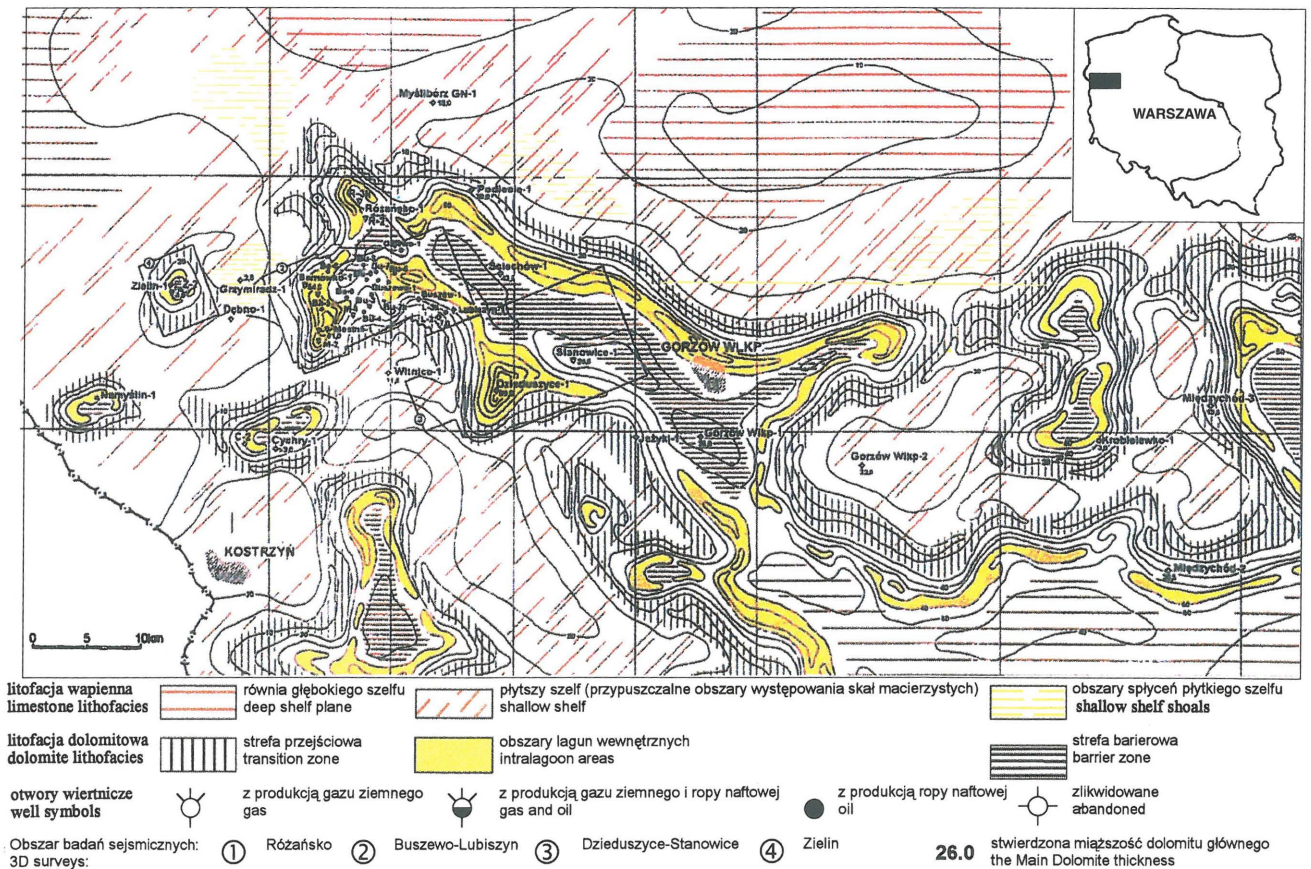


Ryc. 1. Lokalizacja rejonu badań, wykonanych i projektowanych zdjęć metodą sejsmiki 3D; kolor żółty — zdjęcia ukończone, niebieski — w trakcie przetwarzania, zielony — projektowane  
Fig. 1. Study area, location map of carried out and projected seismic surveys; yellow — carried out project, blue — in processing, green — projected

□ czynnika ekonomicznego wynikającego z braku popytu na gaz o tak niskiej zawartości węglowodorów (< 10%).

Zarysowująca się w drugiej połowie lat 80. większa efektywność sejsmiki i towarzyszący jej wzrost bezpieczeństwa wierceń doprowadziły do ponownego zainteresowania rejonem. Kolejne etapy prac sejsmicznych (2D) doprowadziły do odkrycia szeregu obiektów strukturalnych takich jak: Cychry, Barnówko, Buszewo, Dębno, Działuszyce, Jeniniec, Lubiszyn, Mostno, Namysłin, Podlesie, Różańsko, Zielin i in. Następujące po rozpoznaniu sejsmicznym prace wiertnicze zaczęły przynosić coraz bardziej pozytywne rezultaty, wszystkie dotyczyły poziomu dolomitu głównego: Jeniniec 1 — ropa, 1986; Górzycza 1 — ropa i gaz, 1989; Zielin 1 — ropa, 1992; Różańsko 1 — gaz, 1992; Lubiszyn 1 — ropa, 1992; Mostno 1 — gaz, 1993; Barnówko 1 — gaz, 1994; Buszewo 1 — ropa, 1994. Wszystkie prace prowadziło Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo S.A., a ich bezpośrednimi realizatorami były Zielonogórski Zakład Górnictwa Nafty i Gazu i Oddział Poszukiwania Nafty i Gazu w Pile. Prace sejsmiczne i pomiary geofizyczne w otworach, również na zlecenie PGNiG S.A. prowadziła Geofizyka Toruń.

Pozytywne rezultaty w eksploracji tej części basenu permńskiego zbiegły się z rewolucją technologiczną na etapie prac sejsmicznych i geofizyki otworowej (Górski i in., 1998, 1999). W odniesieniu do prac sejsmicznych przełomem okazało się wprowadzenie sejsmiki trójwymiarowej (3D). Metoda ta, podobnie jak na całym świecie, zoptymalizowała poszukiwania dostarczając niespotykaną dotychczas ilość informacji umożliwiających zespołom geologów i geofizyków podjęcie interdyscyplinarnych studiów obejmujących

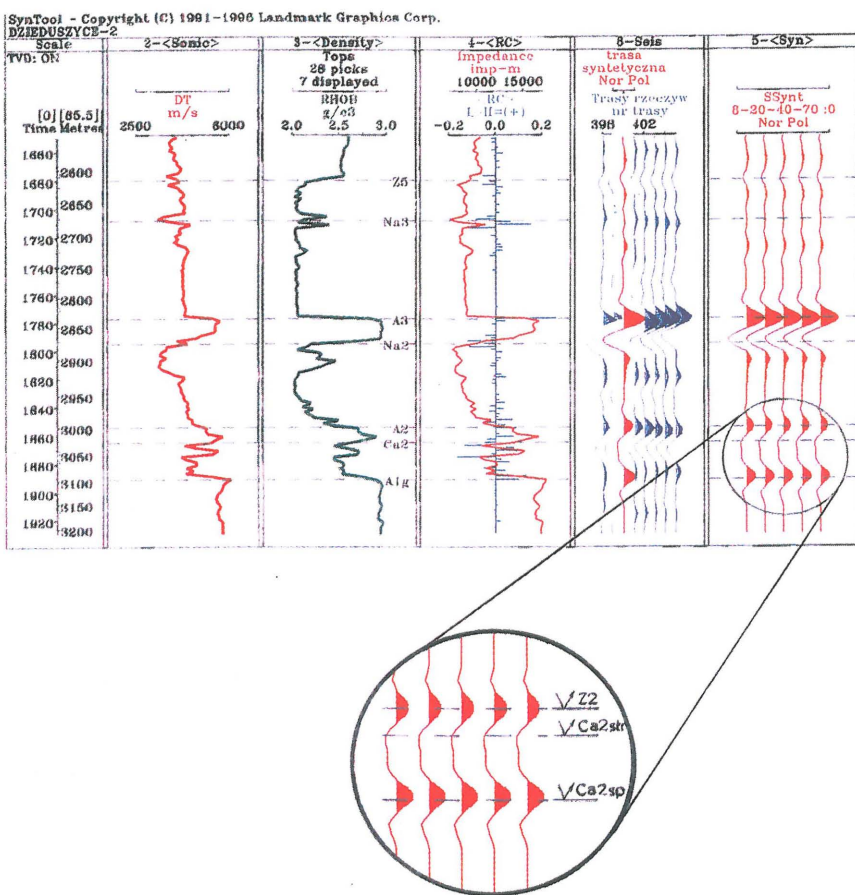


Ryc. 2. Mapa litofacjalna utworów dolomitu głównego w rejonie bloku Gorzowa (Pikulski, 1998)

Fig. 2. Main Dolomite lithofacial map in the Gorzów Block (Pikulski, 1998)

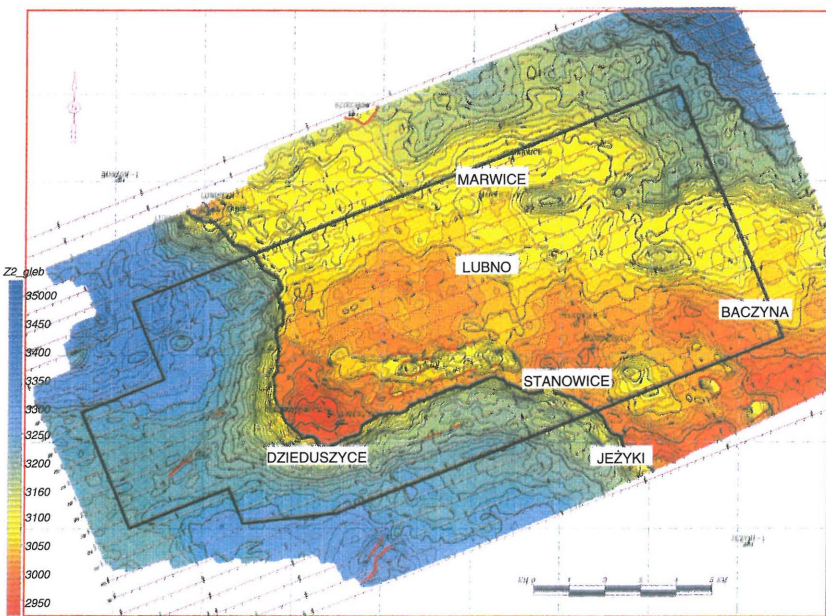
budowę strukturalno-tektoniczną, wydzielenie i analizę litofacji, sedimentologię, paleogeografię i in. Towarzysząca

zmianom w sejsmice rewolucja technologiczna w geofizyce wiertniczej, zwiększyła asortyment i jakość profilowań,



Ryc. 3. Zestawienie profilowań otworowych: akustyki i gęstości, pionowego diagramu współczynników odbić z krzywą impedancji oraz sejsmogramu syntetycznego i rzeczywistej trasy sejsmicznej dla otworu Dzeduszyce 2

Fig. 3. Composition of sonic log, density log, reflection coefficients diagram with impedance log and synthetic seismogram with real seismic trace for the well Dzeduszyce 2



Ryc. 4. Mapa izobat granicy refleksyjnej  $Z_2$  (strop anhydrytu podstawowego) w rejonie Dzeduszyce–Stanowice

Fig. 4. Top Basal Anhydrite depth map in the Dzeduszyce–Stanowice area

oraz spowodowała podniesienie poziomu interpretacji danych. Dane te integrowane z danymi sejsmicznymi pozwoliły na zrozumienie i interpretację większości anomalii w zapisie sejsmicznym.

Polska premiera sejsmiki trójwymiarowej miała miejsce właśnie w rejonie Gorzowa, gdzie w 1993 r. Geofizyka Toruń wykonała pierwsze zdjęcie tą metodą (75,5 km<sup>2</sup>) na strukturze Różańsko (Bukowicki i in., 1994). Pozytywne wyniki prac sejsmicznych, ich znacznie większa informatywność w połączeniu z pozytywnymi wynikami wierceń skłoniły inwestora — PGNiG S.A. do realizacji następujących zdjęć sejsmicznych metodą sejsmiki 3D. Efektem tej decyzji było największe w tym czasie w Polsce zdjęcie sejsmiczne Barnówko–Lubiszyn (181 km<sup>2</sup>) obejmujące rozpoznane sejsmiką 2D i otworami wiertniczymi struktury Barnówka, Buszewa, Lubiszyna i Mostna. Wdrożenie nowych metod interpretacji polegających na interaktywnym i interdyscyplinarnym wykorzystaniu wszystkich dostępnych danych skłoniło zespół interpretacyjny do postawienia ryzykownej tezy, iż „obiekty Barnówko, Mostno i Buszewo tworzą jedną wielką megastrukturę”. Proces interpretacji danych pozwolił na pełne potwierdzenie tej tezy zarówno w aspekcie geometrii pałapki, jak i właściwości zbiornikowych dolomitu pozwalających wnioskować o jednolitym mechanizmie hydrodynamicznym pałapki (Górski & Trela, 1996, 1997). Seria prac wiertniczych całkowicie potwierdziła wnioski wynikające z prac sejsmicznych, doprowadzając w rezultacie do całkowitego udowodnienia ryzykownej na etapie jej sformułowania tezy. W efekcie doszło do odkrycia największego złoża węglowodorów w Polsce: złoża ropno-gazowego Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB) o zasobach geologicznych 64,4 mln t ropy i 29,4 mld m<sup>3</sup> gazu (zasoby wydobywalne ostrożnie określono na 10,1 mln t ropy i 9,9 mld m<sup>3</sup> gazu) (Mamczur i in., 1997; Górski i in., 2000). Otwór Gajewo 1 zlokalizowany na pograżonym w czasie późniejszej przebudowy geologicznej podniesieniu Gajewo (Górski & Trela, 1996), a dziś w peryferyjnej strefie złoża BMB (Pikulski, 1998) pozwala wnioskować o możliwości zwiększenia zasobów złoża. To niewątpliwie spektakularne dla polskich poszukiwań węglowodorów odkrycie spowodowało podjęcie przez inwestora — PGNiG S.A. kon-

cepcji systematycznej penetracji strefy bariery i wewnętrznej laguny powstałej w czasie dolomitu głównego pracami sejsmiczno-wiertniczymi. Efektem tej decyzji były prace sejsmiczne metodą 3D:

- Dzieduszyce, 138,5 km<sup>2</sup>,
- Stanowice–Marwice, 81,6 km<sup>2</sup>,
- Zielin, 40 km<sup>2</sup>,
- Namyślin–Cychry, 201 km<sup>2</sup> (w trakcie przetwarzania),
- Gryżyna, 55,3 km<sup>2</sup> (w trakcie przetwarzania).

Ponadto na etapie projektowania znajduje się zdjęcie Podlesie–Ściechów obejmujące obszar 193 km<sup>2</sup>. Pozwoli ono scalić w jedną całość projekty: Różańsko, Barnówko–Lubiszyn, Dzieduszyce, Stanowice–Marwice. Od SW zostanie dołączony obszar Namyślin–Cychry. Sumarycznie w najbliższym czasie jednolitą akwizycją danych, przetworzeniem i interpretacją zostanie objęty obszar 870 km<sup>2</sup>, a obszar rozpoznania sejsmikią 3D strefy Gorzowa osiągnie prawie 1000 km<sup>2</sup> (ryc. 1).

Dane te stanowią bezcenne źródło informacji dla geofizyków, geologów i eksploatorów złóż. Wraz z informacjami z wierceń (rdzenie, profilowania otworowe, próbniki itp.) pozwalają one na głębokie rozpoznanie geologiczne, sedimentologiczne, paleogeograficzne itd. strefy platformy anhydrytowej w obrębie której, w czasie dolomitu głównego następowała sedimentacja osadów węglanowych w facji barierowej i wewnętrznej laguny. To właśnie one stanowią główny cel eksploracji w rejonie Gorzowa. Rezultaty tych prac pozwalają na wzbogacenie i rozwinięcie pierwotnych koncepcji Antonowicza & Kniesznera (1981, 1984), Peryta (1985, 1991), Wagnera (1994) i innych. Nowe opracowania uwzględniające rezultaty najnowszych prac pozwalają udokładnić stworzony przez poprzedników model paleogeografii, sedimentacji, tworzenia pułapek itd. (ryc. 2) i dopracować szczegóły gry naftowej (Dyjaczyński, 1996; Pikulski & Protas, 1997; Mamczur i in., 1997; Pikulski, 1998; Górski i in., 2000).

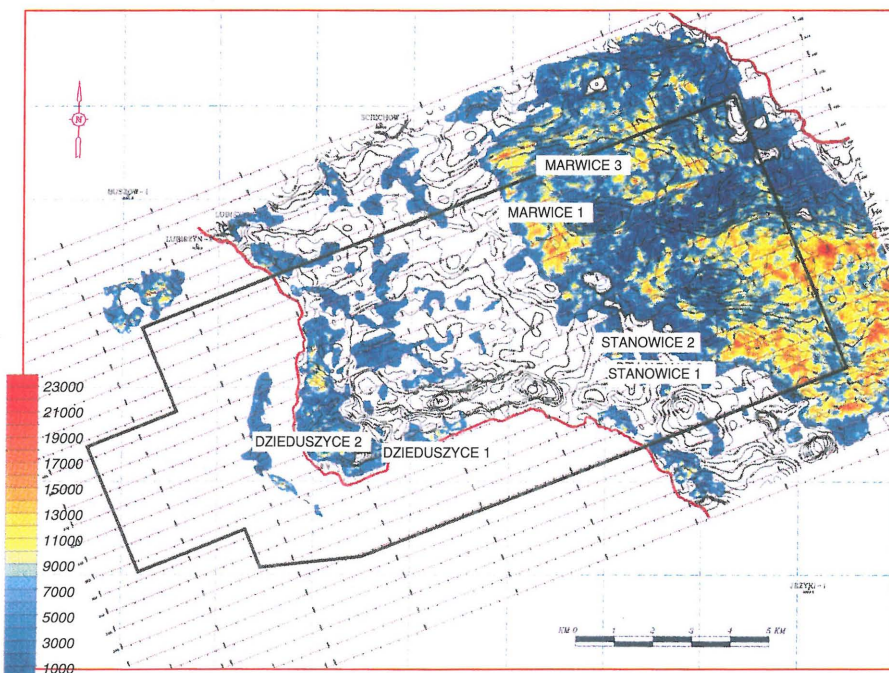
## Metodyka interpretacji danych

Podstawową bazą interpretacji są dane sejsmiki 3D. Sukces interpretacji, potwierdzony efektywnością poszukiwań, wymaga wyjątkowo wysokiego reżimu jakości na poprzedzających interpretację etapach akwizycji i przetwarzania danych. Zagadnienia te zostały szerzej omówione w naszym poprzednim artykule (Górski i in., 2000). W efekcie obiektem interpretacji powinny być dane charakteryzujące się wysoką homogenicznością rozumianą jako jednorodność określających ją parametrów: pokrycia, azymutów i offsetów oraz wysoką rozdzielczością w pionie i w poziomie, wiernością amplitud i zerofazowością (Górski, i in., 1998). Tylko dane zachowujące wysoki reżim jakości mogą być podstawą sukcesu interpretacji polegającej na wydzieleniu i określeniu właściwości zbiornikowych pułapek akumulujących węglowodory. Podstawą pełnego sukcesu interpretacji jest interpretacja litofacjalna szeroko obejmująca elementy sejsmostratygrafii. Polega ona na wydzieleniu w obrębie sekcji sejsmicznej, a w następstwie przestrzennego zbioru danych 3D poziomów litostratygraficznych. Możliwe do wydzielenia są jedynie poziomy o wyraźnym zróżnicowaniu właściwości sejsmoakustycznych i spełniające znane kryteria rozdzielczości. Modelowania 1D — sejsmogramy syntetyczne wykonane w oparciu o pomiary akustyki i gęstości w otworach wykazują znaczne zróżnicowanie prędkości i gęstości w profilu cechsztynu i dowodzą możliwości wydzielenia poziomu dolomitu głównego (ryc. 3). Możliwość ta została potwierdzona w procesie interpretacji zdjęć Barnówko–Lubiszyn (Górski & Trela, 1996, 1997) i Dzieduszyce–Stanowice (Górski i in., 1998).

Interpretacja litofacjalna zakłada pełne zrozumienie przez interpretatora analizowanej sekcji do środowiska sedimentacyjnego poszczególnych litofacji włącznie (Górski & Trela, 1997). Pozwala to na wypracowanie metodyki interpretacji polegającej na:

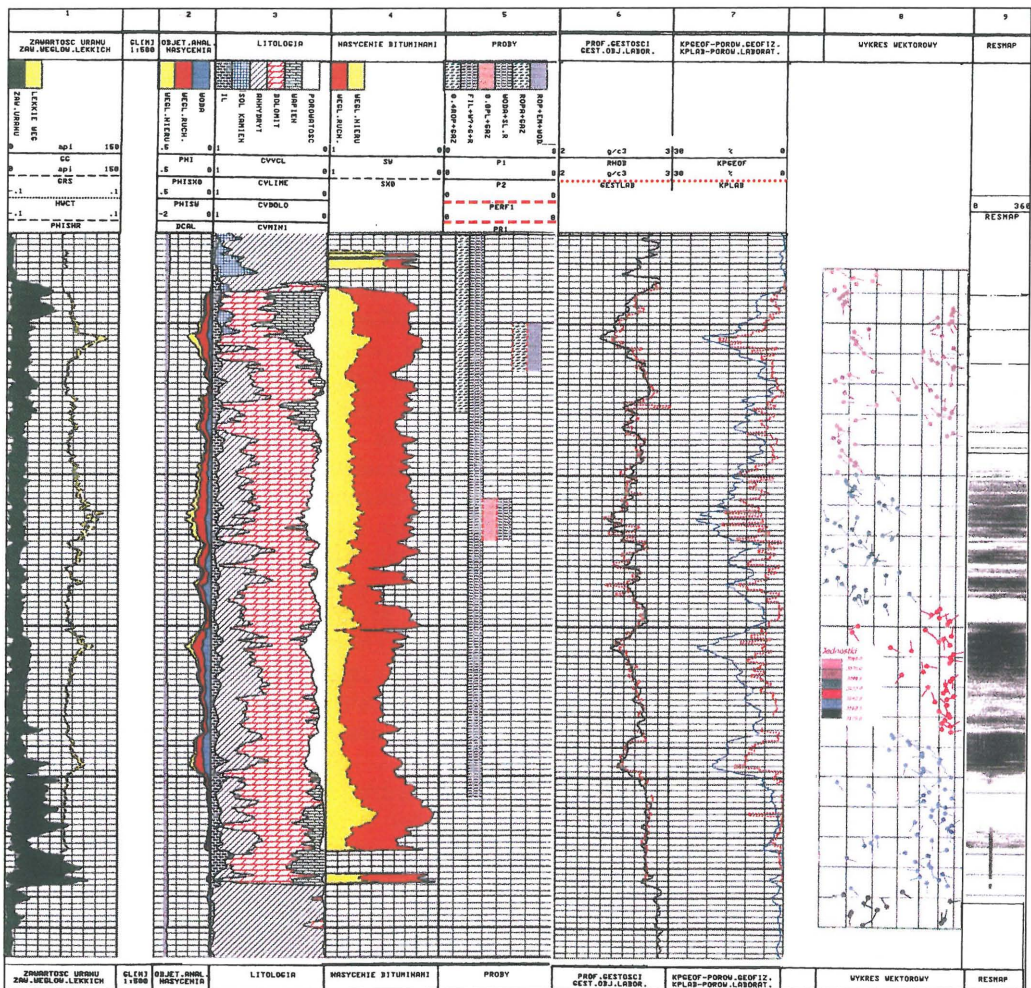
- wydzieleniu paleopodniesienia będącego podstawą sedimentacji platformy anhydrytowo-gipsowej,
- wydzieleniu platformy i określeniu jej zasięgu (dużą pomocą jest wyznaczenie zasięgu najstarszej soli kamiennej Na1),
- identyfikacji ponad platformą anhydrytowo-gipsową zespołu trzech refleksów Z<sub>2</sub>, Ca<sub>2str</sub> i Ca<sub>2sp</sub> charakterystycznych dla strefy bariery i wewnętrznej laguny, gdzie poziom dolomitu głównego występuje w facji pozwalającej na jego wydzielenie między anhydrytami podstawowym A2 i górnym Werry A1g.

W tej fazie interpretacji pełne zastosowanie znajdują elementy sejsmostratygrafii takie jak anomalie zapisu sejsmicznego polegające na zmianie układu refleksów (ang. *reflection pattern*) w interwale PZ1 + PZ2 (cyklotemy Werra i Stassfurt). Pomiary geofizyki wiertniczej i ich interpretacja służą do dowiązania gra-



Ryc. 5. Mapa sumarycznych bezwzględnych wartości amplitud granic refleksyjnych stropu: Ca<sub>2str</sub> i spagu: Ca<sub>2sp</sub> serii zbiornikowej w rejonie Dzieduszyce–Stanowice

Fig. 5. Composite horizon slice of the Ca<sub>2</sub> reservoir (summing the absolute values of amplitudes from the top: Ca<sub>2str</sub> and base Ca<sub>2sp</sub>) in the Dzieduszyce–Stanowice area



**Ryc. 6.** Otwór Dzieduszyce 1. Dolomit główny. Wyniki interpretacji programem ULTRA: ścieżka 1: zawartość uranu — kolor zielony, zawartość węglowodorów lekkich — kolor żółty; ścieżka 2: wykres ruchomej ropy: węglowodory nieruchome — kolor żółty, węglowodory ruchome — kolor czerwony, woda — kolor niebieski; ścieżka 3: skład litologiczny — oznaczenia w nagłówku ryciny; ścieżka 4: nasycenie bituminami: węglowodory nieruchome — kolor żółty, węglowodory ruchome — kolor czerwony; ścieżka 5: wyniki opróbowania — oznaczenia w nagłówku ryciny; ścieżka 6: porównanie gęstości geofizycznej (RHOB) — kolor czarny i gęstości laboratoryjnej (GESTLAB) — kolor czerwony; ścieżka 7: porównanie porowatości wyinterpretowanych (KPGEOF) — kolor niebieski i porowatości laboratoryjnych (KPLAB) — kolor czerwony; ścieżka 8: wykres wektorowy processingu SHIVA; ścieżka 9: mapa oporności ścian otworu RESMAP — gradacja szarości: kolor biały — wysokie opory, czarny — niskie

**Fig. 6.** Well Dzieduszyce 1. Main Dolomite. Output for ULTRA analysis: track 1: uranium concentration — green colour, light hydrocarbon — yellow colour; track 2: movable oil plot: residual hydrocarbon — yellow colour, moved hydrocarbon — red colour, water — blue colour; track 3: lithology — key symbols at top of figure; track 4: hydrocarbon saturation: residual hydrocarbon — yellow colour, moved hydrocarbon — red colour; track 5: test results — key symbols at top of figure; track 6: comparison well log density (RHOB) — black colour with core density (GESTLAB) — red colour; track 7: comparison calculated porosity (KPGEOF) — blue colour with core porosity (KPLAB) — red colour; track 8: SHIVA processing — vector plot; track 9: RESMAP in grey scale recording: white colour — high resistivity, black — low resistivity

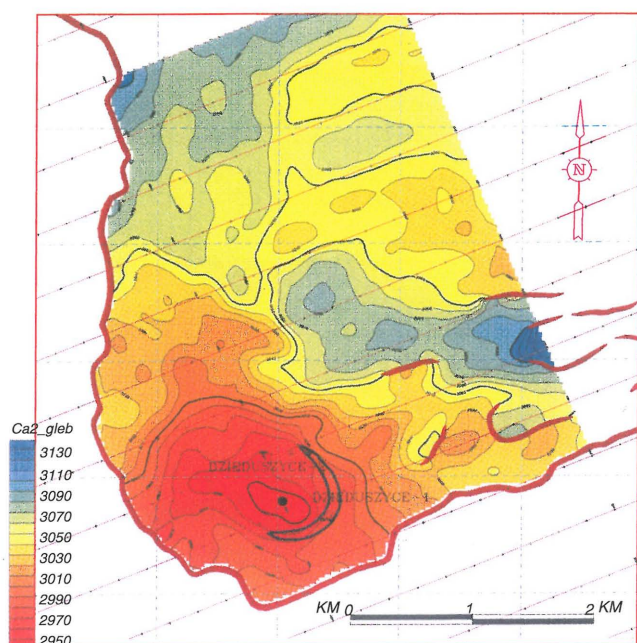
nic refleksyjnych, wyjaśnienia i pełnego zrozumienia anomalii identyfikowanych w zapisie sejsmicznym. Sejsmika 3D umożliwia przestrzenną analizę zjawisk (w naszym przypadku z dokładnością próbkowania — binowania: 2 ms, 25 m x 25 m). Pozwala to na przestrzenną analizę facji sejsmicznej rozumianej jako: „grupy refleksów sejsmicznych, których parametry (konfiguracja, amplituda, ciągłość, częstotliwość i prędkość interwałowa) odróżniają je od sąsiednich grup” (Mitchum, 1977). Kryteria analizy facji sejsmicznej serii węglanowej zostały zdefiniowane przez Hardage’a (1987). Obejmują one:

- kształt geometryczny anomalii,
- zmianę wewnętrznego układu refleksów,
- zmiany prędkości i gęstości w obrębie facji,

□ położenie w basenie.

Wszystkie te kryteria znajdują potwierdzenie w wypracowanej metodycie interpretacji litofacjalnej serii węglanowych w basenie permskim.

Głównymi atrybutami zapisu sejsmicznego poddawaniemu analizie w procesie interpretacji litofacjalnej są amplitudy i pseudoprędkości otrzymane w wyniku inwersji zbioru (Górski i in., 1998). Amplitudy granic refleksyjnych w przypadku zachowania wymogu zerofazowości i wier-noamplitudowości zbioru są miarą refleksyjności ośrodka wynikającej z jego charakterystyki sejsmoakustycznej (impedancji równej iloczynowi jego prędkości i gęstości). Mogą więc służyć za kryterium wnioskowania o zmienności facji sejsmicznej, a następnie po dowiązaniu informacji



Ryc. 7. Mapa izobat granicy refleksyjnej  $Ca2_{st}$  w rejonie struktury Dzieduszyce

Fig. 7. Top Main Dolomite depth map in the Dzieduszyce area

otworowych (profilowania, rdzenie) do danych sejsmicznych do zdefiniowania litofacji i określenia zmienności w jej obrębie. Amplitudowy zapis zerofazowy jest również podstawą do wykonania procesu inwersji zbioru, polegającej na określeniu struktury ośrodka w wersji pseudo-prędkości lub pseudoimpedancji. Schematy inwersji zakładają konwolucyjny model ośrodka, w którym trasa sejsmiczna jest spłotem serii współczynników odbici i sygnału elementarnego. Inwersja może mieć charakter ograniczony (wykorzystuje jedynie trasy sejsmiczne), bądź modelowy (wykorzystuje trasy sejsmiczne i model prędkościowo-gęstościowy ośrodka skonstruowany w oparciu o otworowe profilowania prędkości i gęstości).

Statystyczne zbiory wartości amplitud wzdłuż danej granicy refleksyjnej oraz zbiory amplitud i pseudoprędkości (pseudoimpedancji) w zadanych bramkach, odpowiadających analizowanym zmianom facji sejsmicznej pozwalają na konstrukcję odpowiednich map, na podstawie których można określić zmiany środowiska depozycyjnego w wybranym czasie geologicznym, bądź wnioskować o zmianach właściwości fizycznych w obrębie danej litofacji. Ostatnia procedura może polegać na porównawczej analizie ilościowej, opartej o zmienność amplitud, bądź mieć charakter kwantytatywny wynikający z ilościowych zmian pseudo-prędkości, lub wyliczonych w oparciu o formułę Wyllie'go (Wyllie i in., 1962) pseudoporowatości. W przypadku gdy podstawą wyliczeń jest inwersja z modelem wartości prędkości i porowatości są skalibrowane do reperów otworowych, a wiarygodność danych wzrasta.

Niezbędnych danych do poprawnej interpretacji sejsmiki dostarczają profilowania otworowe. Ich rodzaj, jakość, stopień i poziom przetwarzania określają zakres informacji, jaki z tej dziedziny geofizyki można uzyskać. Geofizyka wiertnicza jest metodą dostarczającą szczegółowych informacji o osadach występujących w otworze. Zastosowanie nowej generacji aparatów geofizycznych pozwoliło na znaczne rozszerzenie asortymentu profilowań geofizycznych i zapewniło bardzo wysoki poziom pozyskiwanych

danych. Na podstawie szerokiego wachlarza rodzajów profilowań, przy użyciu wyrafinowanych oprogramowań są dostarczane szczegółowe dane o przewierconym przekroju.

Geofizyka wiertnicza dysponuje obecnie nowoczesnym zestawem profilowań do których należą:

- metody opornościowe — podwójny laterolog (o różnych zasięgach), sferyczne mikroprofilowanie oporności, podwójne profilowanie indukcyjne (o różnych zasięgach) wraz ze sterowanym profilowaniem oporności,

- metody radiometryczne — kompensacyjne profilowanie neutronowe, kompensacyjne profilowanie gęstościowe, kompensacyjne profilowanie litogęstościowe, spektrometryczne profilowanie gamma,

- metody akustyczne — kompensacyjne profilowanie akustyczne, profilowanie akustyczne o wydłużonym rozstawie

- metody specjalnego zastosowania — upadomierz sześcioramienny, telewizor akustyczny.

Zaletą geofizycznych informacji o przewierconym przekroju jest:

- ciągły sposób pozyskiwanych danych,

- rejestracja parametrów petrofizycznych w warunkach *in situ* (temperatura i ciśnienie),

- uwzględnienie rodzaju nasycającego medium wpływającego na rejestrowane wartości.

Jest wiele aspektów interpretacji profilowań geofizycznych, ale głównym zadaniem jakie stawiane jest przed geofizyką wiertniczą jest tzw. interpretacja litologiczno-złożowa, której celem jest:

- wyznaczenie w przekroju otworu miejsc usytuowania poziomów zbiornikowych,

- określenie ich litologii i porowatości,

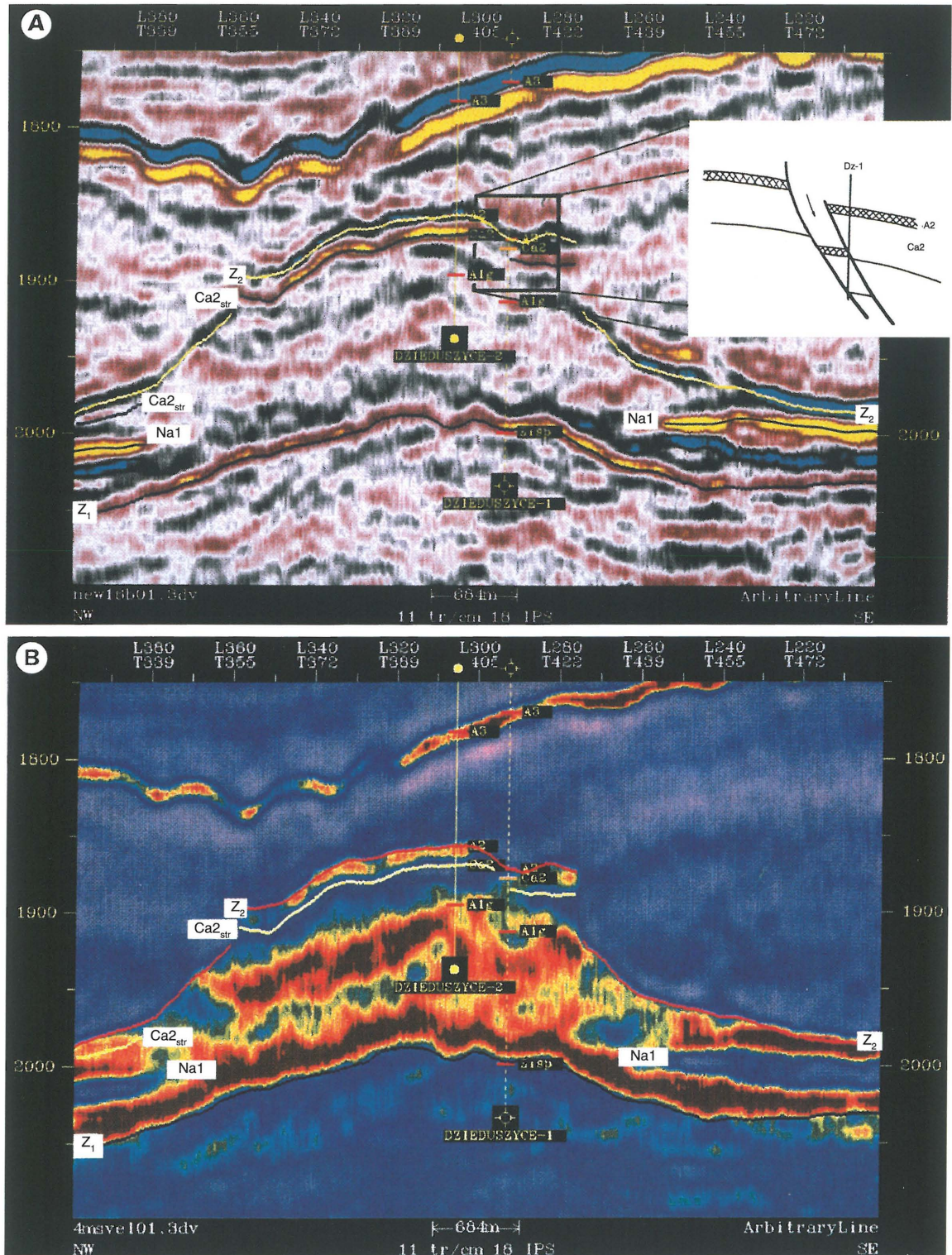
- scharakteryzowanie rodzajów i ilości fluidów wypełniających pory skalne.

Do poprawnego odwzorowania środowiska skalnego potrzebne jest wykorzystanie jak największej ilości danych pochodzących tak z profilowań geofizycznych (głównie), jak i w szerokim tego słowa znaczeniu danych geologicznych. Wykorzystywanie tych informacji powinno być równoczesne w cyklu interpretacji, zapewniając uwzględnienie całokształtu fizycznych uwarunkowań jakim poszczególne metody w konkretnych warunkach litologiczno-złożowych podlegają.

Takie warunki spełnia pakiet interpretacyjny ULTRA (firmy HALLIBURTON), który jest programem interaktywnym. Podczas przetwarzania interpretator może zmieniać modele interpretacyjne, parametry wejściowe i w czasie interaktywnego procesu doprowadza do uzyskania optymalnych wyników. W bardzo uproszczonym ujęciu, interpretacja wieloskładnikowego ośrodka skalnego polega na rozwiązywaniu układu równań, które są definiowane przez poszczególne (nie we wszystkich przypadkach) rodzaje profilowań i inne informacje zastosowane podczas przetwarzania. Im więcej danych, tym bardziej skomplikowany model może być wyinterpretowany. W wielu przypadkach, szczególnie w przekrojach węglanowych, finalne wyniki interpretacji pakietem ULTRA są uzupełniane innymi rodzajami profilowań dostarczającymi dodatkowych danych, m.in. o naturze przestrzeni porowej. Do takich należą: widmo sygnału akustycznego zarejestrowanego sondą akustyczną o wydłużonym rozstawie, profilowanie upadu warstw w wersji wykresu wektorowego, wykres FRACTURE LOG (wskaźnik szczelinowatości) oraz mapy oporności ścian otworu RESMAP i mapa akustycznych cech ścian otworu wygenerowana na podstawie pomiaru telewizorem otworowym.

Oba rodzaje danych, sejsmiczne i otworowe wzajemnie się uzupełniają pozwalają stworzyć synergicznie spójny model pułapki–złoża, a kolejne dane otworowe pozwalają na iteracyjną interpretację, zbliżającą model do rzeczywistej sytuacji geologicznej. Na podkreślenie zasługuje fakt wagi informacji pochodzących z badań sejsmicznych, które dostarczają, a w przypadku upadomierza poszerzają dane dotyczące sytuacji strukturalnej, w tym i tektonicz-

nej, w jakiej interpretowany otwór znajduje się. Dane takie są szczególnie istotne przy planowaniu programu opróbowania, a świadomość rzeczywistej, niekiedy skomplikowanej sytuacji tektonicznej może zmniejszyć ryzyko nieprawidłowego lub niepotrzebnego opróbowania. Kompleksowość wykorzystania danych optymalizuje proces rozpoznania pułapki, a w dalszej kolejności ułatwia eksploatację złoża.



**Ryc. 8.** Przekrój sejsmiczny przez strukturę Dzieduszyce: A — w wersji amplitudowej (*reverse SEG*), B — w wersji pseudoprędkości; Na1 — sól najstarsza, Z<sub>2</sub>, Ca<sub>2str</sub>, Z<sub>1</sub> — granice refleksyjne  
**Fig. 8.** Seismic section crossing the Dzieduszyce area: A — amplitude display (*reverse SEG*), B — pseudovelocity display; Na1 — the Oldest Halite, Z<sub>2</sub>, Ca<sub>2str</sub>, Z<sub>1</sub> — seismic reflectors

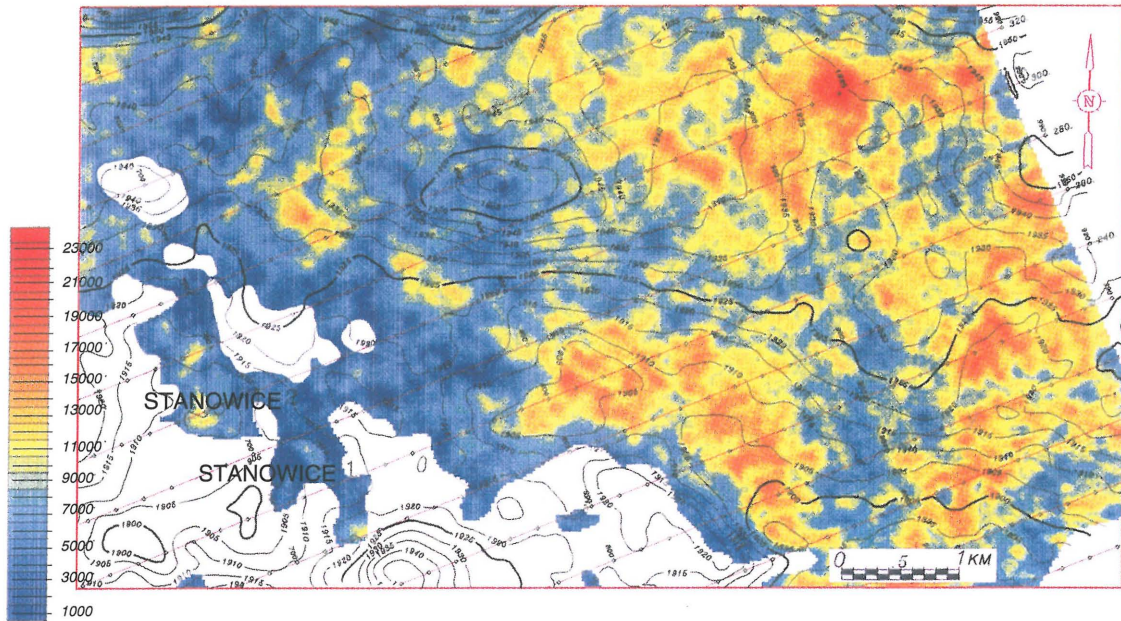




drytu i doskonale koresponduje z przedstawioną przez Pikulskiego (1998)(ryc. 2) mapą litofacjalną utworów dolomitu głównego. Występująca między NE i SW barierą dolomitu strefa wewnętrznej laguny, w której w warunkach niskoenergetycznych następowala sedimentacja bardziej mikrytowych facji z większym udziałem mułu węglanowego odpowiada strefie braku amplitud na mapie z ryc. 5. Wykonane analizy litofacjalne pozwalają zlokalizować

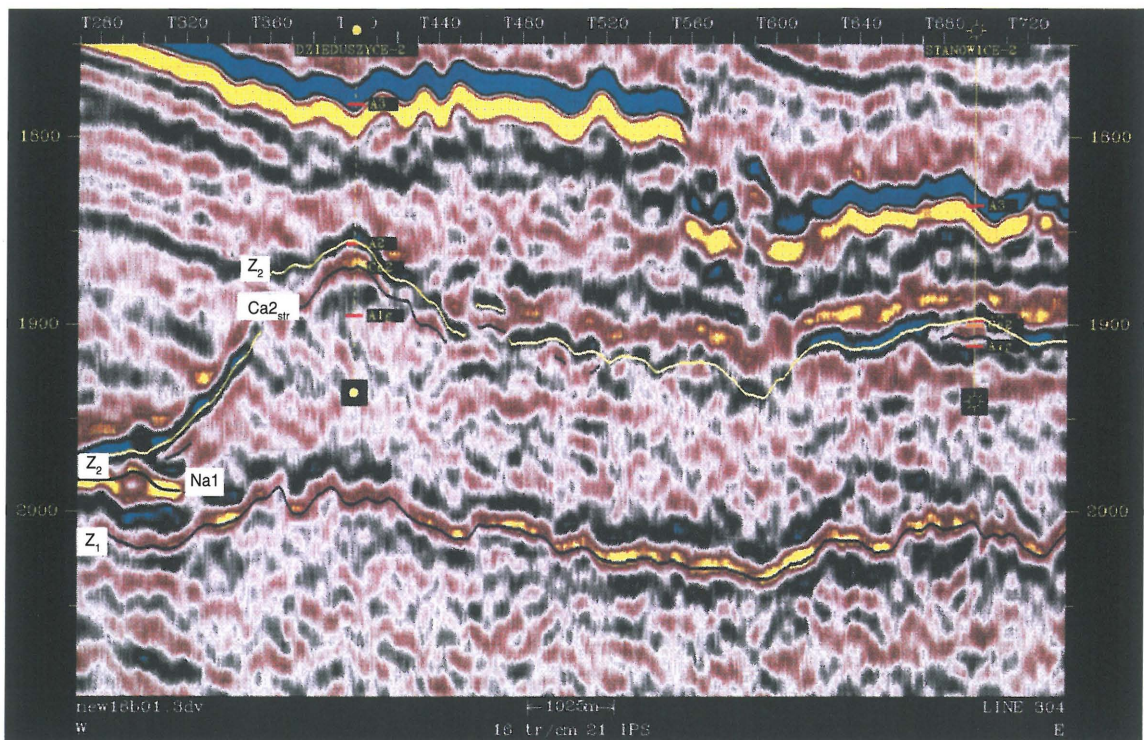
objekty Dzieduszyce i Bogdańca w strefie barier ciągnących się wzdłuż SW krawędzi szelfu, a obiekty Marwic i Baczynny w strefie barier wzdłuż NE krawędzi szelfu. Obiekty Stanowice i Lubno występują na pograniczu osadów strefy barierowej i wewnętrznej laguny.

Poniżej zamieszczamy kilka przykładów ewaluacji obiektów — potencjalnych pułapek opartej o zintegrowaną



Ryc. 11. Mapa sumarycznych bezwzględnych wartości amplitud granic refleksyjnych stropu: Ca2<sub>str</sub> i spągu: Ca2<sub>sp</sub> serii zbiornikowej w rejonie Stanowice

Fig. 11. Composite horizon slice of the Ca2 reservoir (summing the absolute values of amplitudes from the top: Ca2<sub>str</sub> and base Ca2<sub>sp</sub>) in the Stanowice area



Ryc. 12. Przekrój sejsmiczny przez rejon Dzieduszyce i Stanowice w wersji amplitudowej (reverse SEG); Na1 — sól najstarsza, Z<sub>2</sub>, Ca2<sub>str</sub>, Z<sub>1</sub> — granice refleksyjne

Fig. 12. Seismic section crossing the Dzieduszyce and Stanowice area — amplitude display (reverse SEG); Na1 — the Oldest Halite, Z<sub>2</sub>, Ca2<sub>str</sub>, Z<sub>1</sub> — seismic reflectors

interpretację litostratygraficzną uwzględniającą pomiary geofizyki otworowej i petrograficzne analizy rdzeni.

**Struktura Dzieduszyce.** Struktura Dzieduszyce została rozpoznana pracami sejsmiki 2D w latach 1988–1995 (Czulińska & Wietecha, 1995). Na podstawie wyników tych prac zlokalizowano otwór Dzieduszyce 1. Według aktualnej wówczas mapy strukturalnej został on usytuowany w południowej części kulminacji struktury i przewiercił nadspodziewanie dużo, bo aż 99 m utworów dolomitu głównego. W otworze tym podczas interpretacji profilowań geofizycznych napotkano wiele komplikacji, w związku z czym jako „przypadek szczególny” zostanie tu szerzej omówiony.

W otworze wykonano standardowy zestaw profilowań, a interpretacja została przeprowadzona na podstawie programu ULTRA. Wyniki przedstawiają się następująco (ryc. 6): dolomit główny zalega w głęb. 3068 m–3168 m i jest wykształcony jako dolomit nieco anhydrytyczny, w stropie z dodatkiem soli i wapieni, a w spagu wapieni (3 ścieżka prezentowanych wyników). Jego porowatości w całym interwale przyjmują wartości  $K_{p\dot{s}r} = 9\%$  z przedziału 0–23% (lewa obwiednia żółtego pola na drugiej ścieżce i lewa obwiednia białego pola na ścieżce trzeciej). Obecność węglowodorów zaznacza się w całej miąższości dolomitu głównego, przy czym na podstawie analizy całokształtu wyników przemysłowe nasycenie określone zostało od stropu poziomu do głęb. 3111 m. Poniżej tej głębokości wartość zawodnienia przeważnie rośnie, co może być wyrazem stopniowego wchodzenia w strefę przejściową ale również może być efektem zwiększenia głębokości strefy filtracji. Należy zaznaczyć, że dolomit główny był dowiercany płuczka o cięż. wł. 2,03 g/cm<sup>3</sup> co może być powodem powstania głębokiej strefy filtracji o zróżnicowanym zasięgu.

W czasie wiercenia został zapięty próbnik złoża w dwóch interwałach dolomitu głównego (ryc. 6, ścieżka 5: kol. 1, 2), a w wyniku uzyskano: w pierwszym interwale w stropowej części poziomu — słaby przyływ ropy i gazu, w drugim interwale obejmującym prawie całą miąższość dolomitu głównego — bardzo słaby przyływ ropy z gazem i prawdopodobnie wody. Po zarurowaniu otworu wykonano następane opróbowania: dwa w środkowej części dolomitu (słaby przyływ zgazowanej płuczki — w pierwszym, przyływ wody złożowej — w drugim) (ryc. 6, ścieżka 5: kol. 3, 4); i następane dwa w stropowej części dolomitu (przyływ ropy i gazu — w pierwszym, przyływ ropy, emulsji i wody — w drugim) (ryc. 6, ścieżka 5: kol. 5, 6).

Wyniki zapięcia próbników w czasie wiercenia są zgodne co do jakości medium z wynikami interpretacji, natomiast wyniki opróbowania po zarurowaniu otworu nie są spójne. Według opisu rdzeni dolomit główny jest wykształcony jako dolomit miejscami anhydrytyczny, bardzo często o dużej pierwotnej porowatości przepojony obecnie solą i anhydrytem. W niektórych miejscach powierzchniowa część rdzenia na skutek przemycia przez płuczkę i rozpuszczeniu soli jest bardzo porowata, a część wewnętrzna rdzenia jest silnie impregnowana solą. Dolomit główny do czasu wykonywania pomiarów geofizycznych był pod działaniem płuczki ok. 8 dni. Analiza tych faktów, jak i przesłedzenie opisów rdzeni w zestawieniu z wynikami interpretacji profilowania upadu warstw, jak również porównanie gęstości i porowatości laboratoryjnych i geofizycznych składają do sformułowania następującego poglądu. Na skutek procesu rozpuszczania soli powstał sztuczny 3-warstwowy układ stref, który jest ekwiwalentem

ośrodka porowatego, nasyconego bituminami. W takiej sytuacji wszystkie rodzaje profilowań o krótkim, a nawet średnim zasięgu rejestrują wartości nieprawidłowe. Taki stan rzeczy uniemożliwił wykonanie poprawnej interpretacji zarówno co do składu litologicznego, jak i co do rodzaju i ilości nasycającego medium.

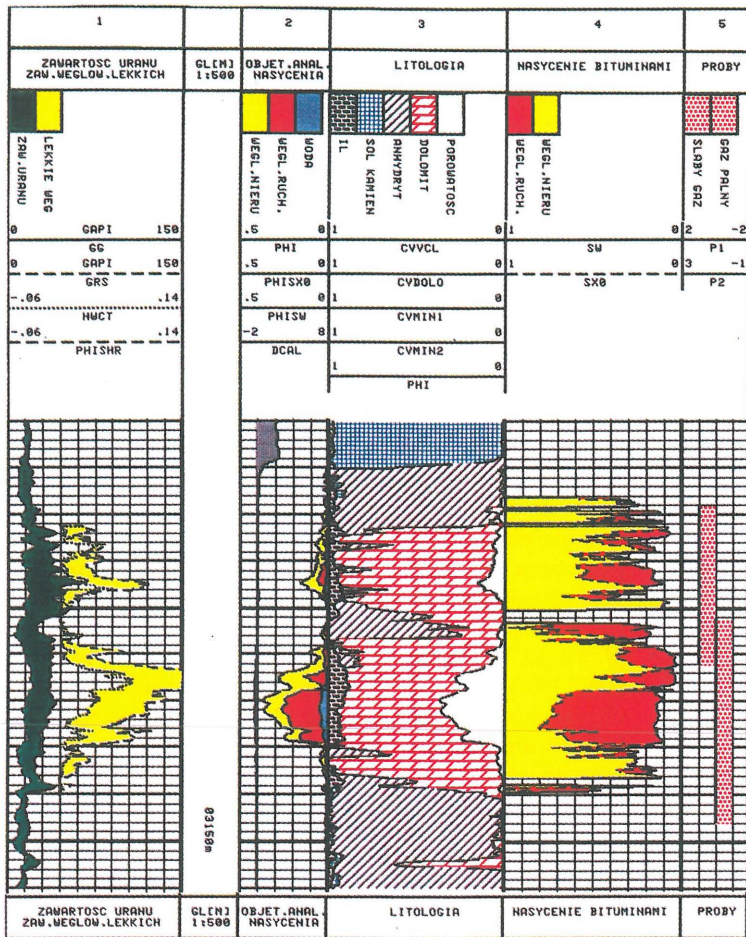
Na ryc. 6, na 6 ścieżce wyników interpretacji jest przytoczone porównanie gęstości wyznaczonych laboratoryjnie — czerwona linia i zarejestrowanych przez profilowanie gęstościowe — czarna linia. Te dwa rodzaje wartości zgadzają się ze sobą nadspodziewanie dobrze, a to z powodu zastąpienia wypłukanej soli o cięż. wł. 2,04 g/cm<sup>3</sup>, płuczka o cięż. wł. 2,03 g/cm<sup>3</sup>.

Spśród trzech profilowań porowatościowych dwie metody zarejestrowały wartości dające w efekcie zbyt duże porowatości, co w konsekwencji spowodowało wyinterpretowanie nieprawidłowych wartości tego parametru. Różnice te są widoczne na zestawieniu, na ścieżce nr 7, wyników interpretacji, gdzie kolorem czerwonym są wykreślone porowatości laboratoryjne, a kolorem niebieskim porowatości geofizyczne. Dodatkową komplikację mogła spowodować, już na etapie opróbowania, strefa w dolnej części dolomitu głównego, w interwale 3119 m–3168 m, określona wg Kiełta ([W:] Górski i in., 1997) jako strefa przyuskokowa i międzyuskokowa, ponadto w głęb. 3123 m i 3168 m zostały zlokalizowane uskoki o zmiennym upadzie. Interpretacja taka potwierdzona została późniejszymi badaniami sejsmiki 3D.

Opisany wyżej przypadek jest niemożliwy do prawidłowego zinterpretowania. Warunkiem uniknięcia tego rodzaju problemów jest dowiercanie penetrowanego poziomu płuczka nie powodującymi tak drastycznych zmian w strefie przyodwiertowej.

Ten w konsekwencji negatywny wynik otworu był powodem jego likwidacji. W efekcie, rejon struktury Dzieduszyce uznano za mało interesujący z punktu widzenia poszukiwania węglowodorów. Jednak rezultaty prac sejsmiki 3D uzyskane w wyniku interpretacji zdjęcia Barnówko–Lubiszyn 3D i w konsekwencji odkrycie największego złoża ropy naftowej (BMB), skłoniły PGNiG S.A. w Warszawie, do podjęcia decyzji o dalszym i konsekwentnym rozpoznawaniu strefy barierowej poziomu dolomitu głównego w rejonie Gorzowa. W pierwszej kolejności wykonano więc prace sejsmiczne metodą 3D w rejonie Dzieduszyce–Stanowice.

Przeprowadzona w toruńskim ośrodku interdyscyplinarna interpretacja danych sejsmiki 3D, wykorzystująca rezultaty profilowań otworowych (Król & Urbańska), profilowań upadu warstw (Kiełt [W:] Górski i in., 1997) oraz opracowania litologiczno-facjalnego utworów dolomitu głównego w otworze Dzieduszyce 1 (Depowska, 1997), dowiodła wyjątkowo niefortunnej lokalizacji odwiertu Dzieduszyce 1 zarówno z punktu widzenia strukturalnego, facjalnego, jak i tektoniki. Załączona mapa strukturalna granicy refleksyjnej w stropie dolomitu głównego (ryc. 7) wykazuje istnienie kulminacji na NW od otworu Dzieduszyce 1. Przekroje sejsmiczne w wersji amplitudowej i w wersji pseudoprędkości (ryc. 8) pokazują, iż otwór znajduje się w skomplikowanej strefie facjalno-tektonicznej, która mogła przyczynić się do zasolenia pierwotnie porowatego dolomitu. Strefa ta została niezależnie zidentyfikowana przez Depowską w oparciu o analizę litofacjalną rdzeni i przez Kiełta w procesie interpretacji danych upadomierza. Analiza wykonanych map takich jak: mapa bezwzględnych sumarycznych wartości amplitud w stropie i spagu serii zbiornikowej poziomu dolomitu głównego



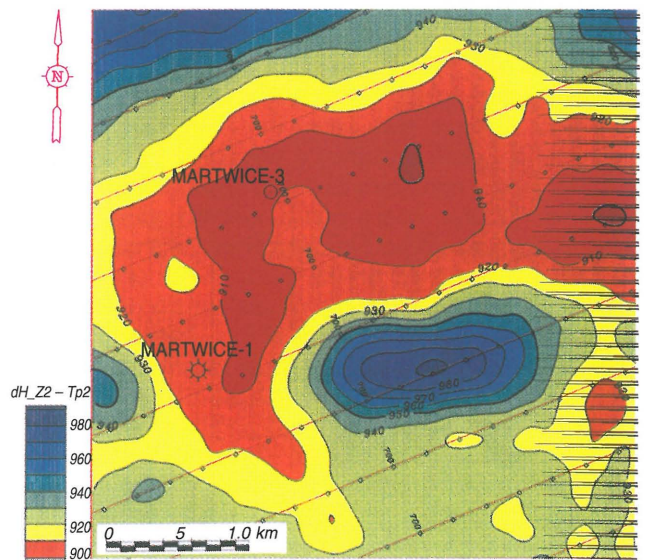
Ryc. 13. Otwór Stanowice 2. Dolomit główny. Wynik interpretacji na podstawie programu ULTRA: ścieżki 1, 2, 3, 4, 5 — oznaczenia jak na ryc. 6  
 Fig. 13. Well Stanowice 2. Main Dolomite. Output for ULTRA analysis: tracks 1, 2, 3, 4, 5 — indications as on fig. 6

(Ca<sub>2</sub> Composite Amplitude) (ryc. 9), mapa średnich wartości pseudoprędkości w interwale Ca<sub>2st</sub>–Ca<sub>2sp</sub> wykazała, że strefa ta obejmuje bardzo niewielki obszar w SE części struktury. Natomiast pozostały obszar charakteryzuje się dobrymi i bardzo dobrymi właściwościami zbiornikowymi. W obrazie sejsmicznym obserwujemy więc typowy dla takich stref układ trzech granic refleksyjnych: Z<sub>2</sub> — związanej z dodatnim współczynnikiem odbicia w stropie anhydrytu podstawowego, Ca<sub>2str</sub> — związanej z ujemnym współczynnikiem odbicia w stropie dolomitu głównego i Ca<sub>2sp</sub> — związanej z dodatnim współczynnikiem odbicia w stropie anhydrytu górnego.

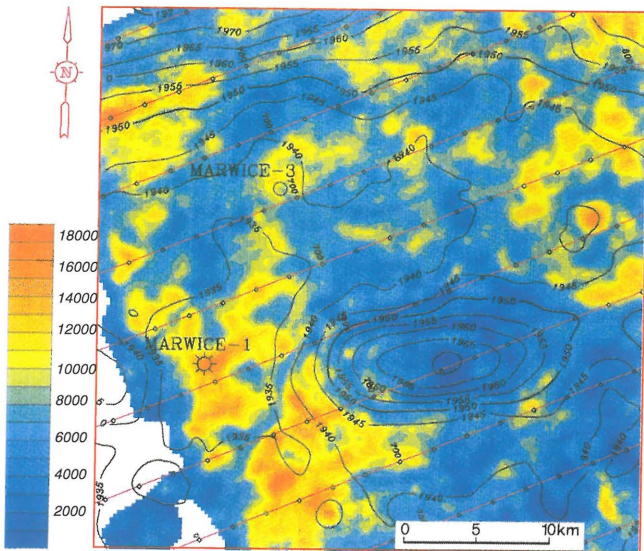
Tak więc interdyscyplinarna interpretacja struktury Dzieduszyce pozwoliła na ponowną, tym razem pozytywną ewaluację obiektu, w wyniku której geolodzy z ZZGNiG zaprojektowali nowy otwór Dzieduszyce 2, zlokalizowany w środku struktury (ryc. 7). Zrealizowany w 1998 r. otwór przewiercił 69 m profil utworów dolomitu głównego. Modelowanie 1D w postaci sejsmogramu syntetycznego, wykonane w oparciu o geofizyczne profilowania akustyki i gęstości w otworze (ryc. 3), w pełni potwierdziło interpretację danych sejsmicznych polegającą na wydzieleniu typowego układu trzech granic refleksyjnych i wnioskowanie o dobrych właściwościach dolomitu. Zjawisko to jest widoczne na sekcjach sejsmicznych przecinających otwór (ryc. 8).

Otwór Dzieduszyce 2 został zlokalizowany w znacznie korzystniejszej sytuacji strukturalnej. Strop dolomitu główne-

go znajduje się tu o 32 m wyżej w stosunku do stropu tego poziomu w otworze Dzieduszyce 1, a jego spąg zalega powyżej głębokości domniemanego kontaktu ropa–woda. Wynik interpretacji poziomu dolomitu głównego w otworze Dzieduszyce 2 przedstawiony jest na ryc. 10. Zalega w głęb. 3029,0–3098,0 m i jest wykształcony (3 ścieżka wyników interpretacji) jako dolomit z bardzo małymi domieszkami anhydrytu, a w stropie soli i anhydrytu. Porowata część dolomitu obejmuje prawie całą jego miąższość i charakteryzują ją porowatości średnie Kp<sub>sr</sub> = 16% z przedziału 1,5–29%. W całym poziomie występuje akumulacja węglowodorów (2 i 4 ścieżka wyników interpretacji). Kształt wykresu wielkości zawodnienia Sw wykazuje tendencję wzrostową ku spągowi poziomu, a wartość tego parametru w ściśle spagowej części może wskazywać na strefę przejściową złoża. Ta duża wartość zawodnienia może być również wywołana szczelinowatością, spowodowaną bliskością strefy uskokowej (interpretacja profilowania upadu warstw wg M. Kiełta — inf. ust). Wykres określający zawartość lekkich węglowodorów prezentowany na pierwszej ścieżce wyników wskazuje, że dolomit jest nasycony ropą naftową z niewielką zawartością węglowodorów lekkich w ściśle stropowej części poziomu. Próbnik zapięty w stropowej części dolomitu jest potwierdzeniem takiej interpretacji, bowiem w wyniku opróbowania uzyskano przyływ emulsji ropnej silnie zgazowanej gazem palnym (piąta ścieżka). Na szóstej ścieżce omawianej ryciny załączono porównanie porowatości określonych laboratoryjnie i porowatości uzyskanych w wyniku interpretacji. W przeciwieństwie do Dzieduszyce 1 obydwa rodzaje wartości wykazują bardzo dobrą zgodność. Opisy rdzeni informują o sporadycznym pojawianiu się soli (głównie w stropie) w obrębie dolomitu głównego. Poza tym ze względu na odkryte miąższe warstwy soli płuczka była najprawdopodobniej w stanie roztworu nasyconego.



Ryc. 14. Mapa miąższości interwału H (Z<sub>2</sub>–Tp<sub>2</sub>)  
 Fig. 14. Izopach map of the H (Z<sub>2</sub>–Tp<sub>2</sub>) interval



Wyniki otrzymane z badań otworu Dzieduszyce 2, całkowicie potwierdziły poprawność ponownej ewaluacji struktury i dowiodły tezę o występowaniu przemysłowej



Ryc. 15. Mapa sumarycznych bezwzględnych wartości amplitud granic refleksyjnych stropu: Ca<sub>2str</sub> i spągu: Ca<sub>2sp</sub> serii zbiornikowej w rejonie Marwice

Fig. 15. Composite horizon slice of the Ca<sub>2</sub> reservoir (summing the absolute values of amplitudes from the top: Ca<sub>2str</sub> and base Ca<sub>2sp</sub>) in the Marwice area

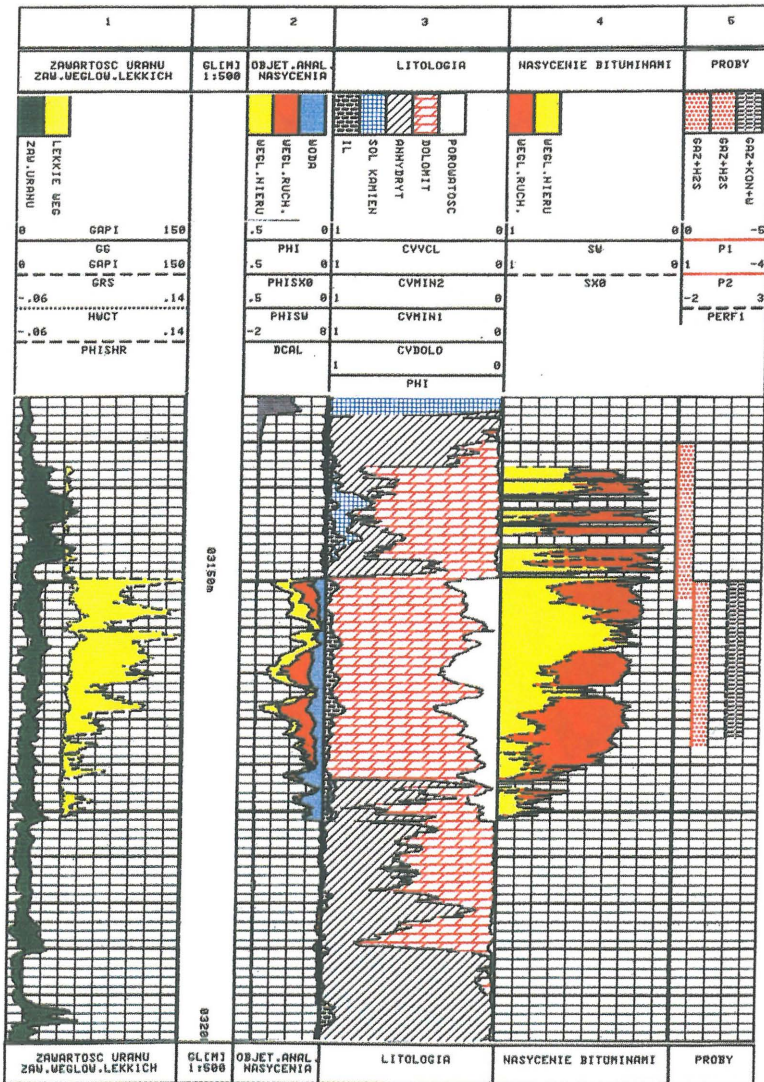
akumulacji węglowodorów w pułapce, zarazem potwierdzając anomalną lokalizację otworu Dzieduszyce 1 w lokalnej strefie dyslokacyjnej. Potwierdziła się również ocena wysokiej porowatości dolomitu: 14,5% określone z sejsmiki w stosunku do 16% na podstawie geofizyki otworowej.

**Struktura Stanowice.** Struktura Stanowice była sygnalizowana sejsmiką 2D i została zweryfikowana otworem Stanowice 1. Jego profil nawiercił 26 m utworów poziomu dolomitu głównego nasyconego gazem. Obiekt ten został dokładniej rozpoznany pracami sejsmiki 3D. Jego obecny kształt przedstawia mapa izobat granicy refleksyjnej Z<sub>2</sub> (ryc. 4), która tradycyjnie jest wykorzystywana do oceny budowy strukturalno-tektonicznej stropu poziomu dolomitu głównego (otwór Stanowice 1 przewiercił tylko 4 m anhydrytu podstawowego). Analizy

facjalne utworów dolomitu wykonane na podstawie sejsmiki 3D (ryc. 11) nie wykazują występowania w obrębie kulminacji struktury dobrych właściwości zbiornikowych. Niewielkiego polepszenia właściwości utworów dolomitu należy oczekiwać w NW części struktury. Wiąże się to z faktem występowania obiektu Stanowice w strefie przejściowej pomiędzy facjami barierową i wewnętrzną laguny.

Zaprojektowany na podstawie tych danych otwór Stanowice 2 (ryc. 12) przewiercił 27,5 m utworów dolomitu głównego w korzystnej facji nasyconej gazem. Strop dolomitu głównego został nawiercony w głęb. 3116 m, tj. wyżej o 3 m w stosunku do otworu Stanowice 1. Wyniki interpretacji wykonane programem ULTRA przedstawia ryc. 13. Dolomit główny budujący dolomity przeważnie z niewielkimi domieszkami anhydrytu, za wyjątkiem części środkowego interwału, gdzie ich udział znacznie wzrasta (3 ścieżka wyników). W obrębie całego poziomu zaznacza się niewielki dodatek frakcji ilastej. Dobre właściwości zbiornikowe zlokalizowane są głównie w spągowej części poziomu (2 i 3 ścieżka), gdzie Kpśr = 26% z przedziału 10–37%. Cały poziom dolomitu głównego nasycony jest gazem, na co wskazuje wykres zawodnień (4 ścieżka) oraz zawartość lekkich węglowodorów (1 ścieżka).

**Struktura Marwice.** Element Marwice także został zasygnalizowany pracami sejsmiki 2D w postaci dwu pułapek strukturalnych o niewielkich amplitudach. W dzisiejszym planie strukturalnym, wynikającym z interpretacji sejsmiki 3D, ma on kształt pograżającego się nosa strukturalnego z niewielką kulminacją u jego nasady (ryc. 4). Zastosowanie analizy paleogeograficznej (Górski i in., 1998) poprzez analizę map paleostrukturalnych wskazuje, iż stanowił on

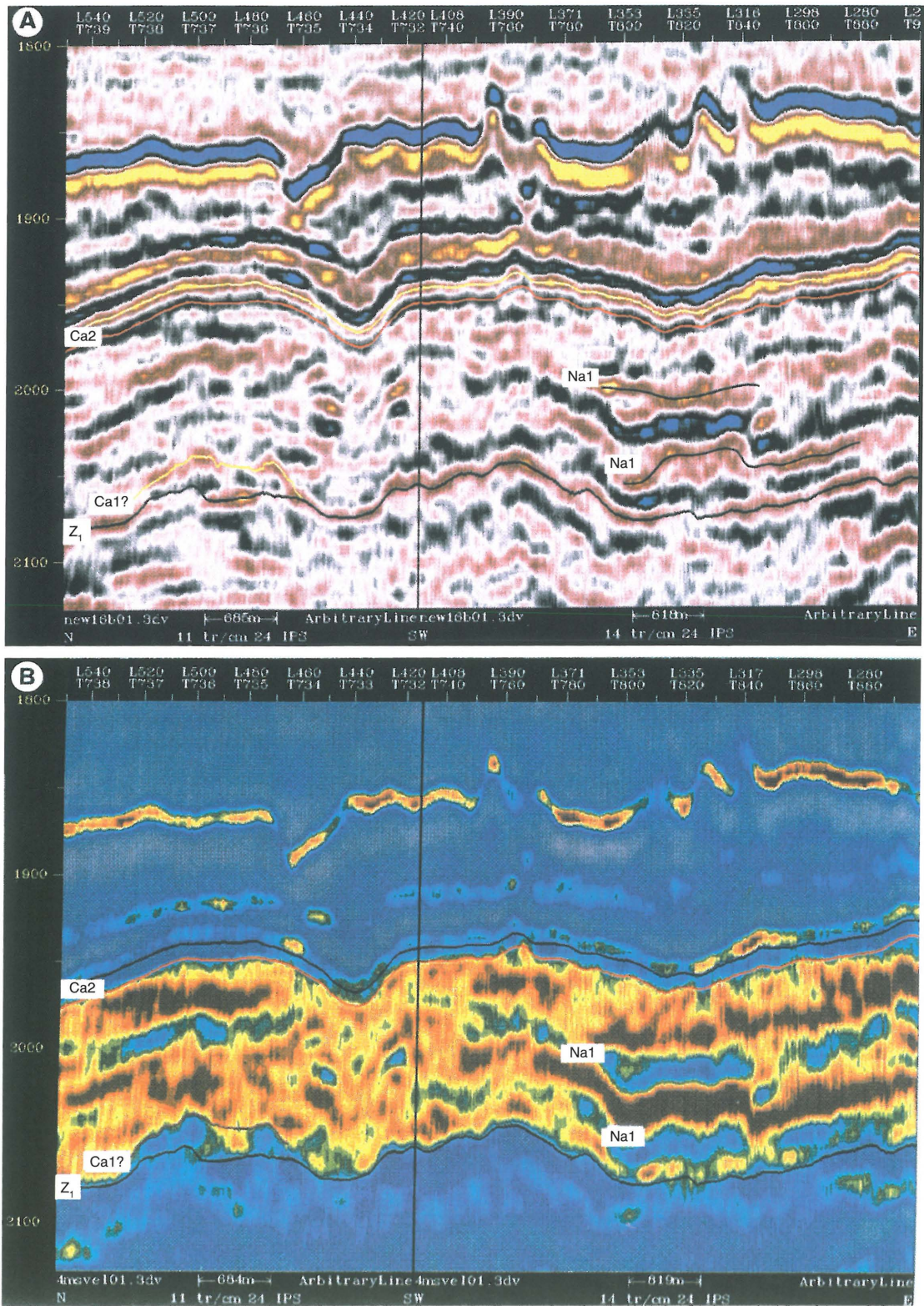


Ryc. 16. Otwór Marwice 1. Dolomit główny. Wynik interpretacji programem ULTRA: ścieżki 1, 2, 3, 4, 5 — oznaczenia jak na ryc. 6

Fig. 16. Well Marwice 1. Main Dolomite. Output for ULTRA analysis: tracks 1, 2, 3, 4, 5 — indications as on fig. 6

oddzielną formę strukturalną pogrzebaną w wyniku laramijskiej przebudowy (ryc. 14). Nasuwa się więc pytanie, czy mimo tak znacznej przebudowy strukturalnej mógł on pozostać pułapką akumulującą węglowodory w pierwszej fazie migracji? Analiza wykonanej na podstawie sejsmiki

3D mapy bezwzględnych sumarycznych wartości amplitud w stropie i spągu serii zbiornikowej (ryc. 15) sugeruje, że otaczająca od południa element Marwic strefa zdecydowanie gorszych właściwości zbiornikowych dolomitu związana ze strefą strukturalnie obniżoną, mogła stanowić



Ryc. 17. Przekrój sejsmiczny przez rejon Marwic: A — w wersji amplitudowej (*reverse SEG*), B — w wersji pseudopędności; Na1 — sól najstarsza, Ca2 — dolomit główny; Ca1?, Z<sub>1</sub> — granice refleksyjne  
 Fig. 17. Seismic section crossing the Marwic area A — amplitude display (*reverse SEG*), B — pseudovelocity display; Na1 — the Oldest Halite, Ca2 — Main Dolomite; Ca1?, Z<sub>1</sub> — seismic reflectors

barierę ewentualnej remigracji węglowodorów z pułapki. W tym układzie Marwice mogą stanowić pułapkę o charakterze strukturalno-facjalnym. Cały element charakteryzują dobre i bardzo dobre właściwości zbiornikowe.

Zaprojektowany i zrealizowany ma podstawie powyższych analiz, otwór Marwice 1 przewiercił 53 m utworów wieku dolomitu głównego. Wynik reinterpretacji utworów dolomitu głównego przedstawiony jest na ryc. 16. Dolomit zalega w głęb. 3137–3190 m i jest odmiennie wykształcony w stosunku do strefy Dzieduszyc, czy Stanowic. Poziom ten pod względem składu litologicznego, jak i właściwości zbiornikowych jest trójdzielny (2 i 3 ścieżka wyników). Stropowa część poziomu to dolomity anhidrytyczne z niewielką domieszką soli, praktycznie nie posiadające właściwości zbiornikowych. Część środkowa jest zbudowana z dolomitów, a w najniższym odcinku z dolomitów ze znacznym dodatkiem anhidrytu i śladowej ilości soli. Dolna część, to prawie w jednakowych proporcjach mieszanina anhidrytu i dolomitu praktycznie pozbawiona właściwości zbiornikowych. Zwiększone wartości porowatości występują jedynie w środkowej części w interwale 3150–3176 m, gdzie  $K_{p\dot{s}r} = 18\%$  z przedziału 3–36%. Oprócz porowatości międzyziarnowej, występuje najprawdopodobniej szczelinowatość, na co wskazuje kilka rodzajów profilowań geofizycznych oraz przebieg procesu interpretacji.

Na podstawie uzyskanych wyników reinterpretacji na wykresie zawodnień można wydzielić dwie strefy: 3150 m–3166 m i 3166 m–3176 m. W obydwu strefach widoczny jest wzrost wartości zawodnienia, przy czym w części dolnej wartości te wzrastają znacznie szybciej i może ona odpowiadać strefie zawodnionej. W trakcie wiercenia dwukrotnie zapięto próbnik złoża, a w wyniku otrzymano przyływ gazu, wody złożowej nie stwierdzono. Ponowne opróbowanie po zarurowaniu otworu prawie tego samego przedziału głębokości dało w wyniku testu produkcyjnego przyływ gazu, wody złożowej i kondensatu. Przedstawiona interpretacja jest zgodna z wynikiem testu produkcyjnego.

Następnie został odwiercony otwór Marwice 3 zlokalizowany poza zamknięciem strukturalnym ale w obrębie wyraźnej anomalii amplitud (ryc. 15). Niestety wyniki otworu Marwice 3 nie potwierdziły prognozy o litofacjalnym charakterze pułapki Marwic. Przewiercony profil dolomitu wynosi 32 m (3143 m–3175 m), a jego strop zalega 17 m niżej niż w otworze Marwice 1. W wyniku opróbowania stropu porowatej części dolomitu otrzymano przyływ solanki i gazu z zawartością  $H_2S$ . Należy jednak odnotować fakt bardzo wysokich porowatości dolomitu w interwale 3152 m–3174 m:  $K_{p\dot{s}r} = 21\%$  z przedziału 10–32%.

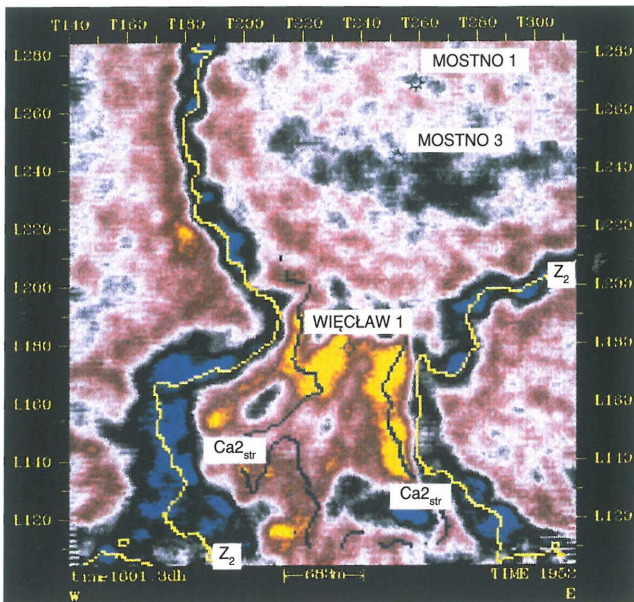
W takiej sytuacji należy odpowiedzieć na pytanie co jest przyczyną anomalii sejsmicznej widocznej na mapie amplitud (ryc. 15)? Przyczyn należy upatrywać w fakcie, iż amplituda zapisu sejsmicznego jest wypadkową oddziaływania kilku czynników (Brown, 1991), które trudno rozdzielić w procesie interpretacji. Jednym z nich jest porowatość warstwy, która w omawianym przypadku jest wysoka (21%). Czynnikiem dodatkowym jest fakt nasycenia przestrzeni porowej medium, w którym zawartość węglowodorów można oszacować na poziomie 30% (na podstawie analizy ULTRA). Badania wykazały (Domenico, 1976), że nawet niewielkie nasycenie gazem (ok. 5%) powoduje spadek prędkości fali podłużnej (*P-wave*) i że dalszy wzrost nasycenia prawie nie wpływa na prędkość. Oba te czynniki w wystarczający sposób tłumaczą występowanie wyraźnej anomalii amplitud na pogrążającym się nosie strukturalnym elementu Marwic.

Dodatkowym, interesującym zjawiskiem jest fakt występowania w obrębie elementu Marwic anomalii amplitud w spagu utworów Werry. Tego typu anomalia świadczy o występowaniu facji o niskich wartościach impedancji akustycznej. Zjawisko to jest bardzo dobrze widoczne na sekcjach czasowych i sekcjach w wersji pseudoprędkości (ryc. 17). Ten typ anomalii może być zinterpretowany jako występowanie na paleowyniesieniu porowatych utworów węglonowych wieku wapienia cechsztyńskiego lub występowanie innych utworów o podobnych właściwościach sejsmoakustycznych. W tym przypadku anomalia okazała się pułapką interpretacyjną. Otwór Marwice 3 udokumentował bowiem pod utworami cechsztynu występowanie wylewów wieku autuńskiego.

**Elementy strukturalne Jeżyki i Baczyzna.** Bardzo interesujące okazały się również rezultaty interpretacji w najbardziej SE części obszaru badań. Udokumentowano w niej występowanie rozległych obszarowo obiektów strukturalnych, których zamknięcia powinny znajdować się poza obszarem rozpoznany sejsmiką 3D.

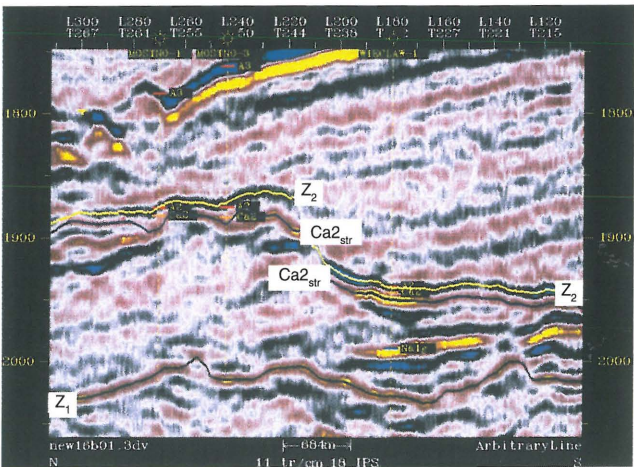
Położony od zachodu element Jeżyki (ryc. 4) jest częścią rozpoznanego sejsmiką 2D obiektu Bogdaniec–Jeżyki. Otwór Jeżyki 1 nie wykazał obecności węglowodorów w profilu dolomitu. Wyniki wiercenia i analiza przewierconego profilu (duża miąższość utworów anhidrytu podstawowego: 60 m, znaczne zasolenie pierwotnie porowatego dolomitu) pozwalają dopatrywać się pewnej analogii do strefy Dzieduszyc. Polega ona na hipotezie występowania strefy dyslokacyjnej będącej drogą obiegu solanki przyczyniającej się do likwidacji pierwotnej porowatości. Element Baczyzny (ryc. 4) widoczny jako pogrążający się ku NW nos strukturalny jest nowym obiektem nierozpoznanym wcześniej sejsmiką 2D. W strefie NE skłonu elementu porowatości wyliczone z poddanych inwersji danych sejsmicznych wykazują wartości rzędu 11–16%. Obiekty te można zlokalizować w strefie występowania facji barierowej dolomitu, a rozdzielająca je strefa osadów wewnętrznej laguny wyraźnie zawęża swą szerokość (ryc. 5). Wykonane analizy facjalne wykazują dobre właściwości zbiornikowe dolomitu w obrębie obu obiektów. Powinny one zostać rozpoznane sejsmiką 3D, a następnie wierceniami.

**Element Więclaw.** Na zakończenie pragniemy omówić interesujący przypadek interpretacyjny dotyczący rejonu na S od złoża BMB pomiędzy otworami w rejonie Mostna a strukturą Cychry (ryc. 2). Górski & Trela (1996) rozpoznali w tym obszarze interesujący obiekt Więclaw mogący stanowić niestrukturalną (litofacjalną) pułapkę na drodze migracji węglowodorów do złoża BMB. Interpretacja sekwencji poziomych sekcji czasowych (*ang. time slices*) wykazała występowanie w tym rejonie zjawiska „rozerwania” granicy refleksyjnej  $Z_2$  (ryc. 18). Zjawisko to zostało zinterpretowane jako podmorski spływ (osuwisko) części serii zbiornikowej dolomitu z wyżej położonej strefy barierowej w rejonie Mostna. Przyczyną zjawiska mogły być drobne ruchy tektoniczne naruszające stabilność skarpy. Spowodowały one osunięcie porowatego dolomitu o ok. 100 m w dół. Na pionowej sekcji sejsmicznej (ryc. 19) zdecydowanie poniżej strefy Mostna widzimy typowy dla stref występowania porowatego dolomitu trójdzielny układ refleksów:  $Z_2$ ,  $Ca2_{str}$ ,  $Ca2_{sp}$ , w niestrukturalnej pozycji nad solą najstarszą. Silna anomalia amplitud mogła wynikać z faktu występowania porowatego i nasyczonego węglowodorami dolomitu.



Ryc. 18. Pozioma sekcja sejsmiczna w rejonie elementu Więclaw; Z<sub>2</sub>, Ca<sub>2str</sub> — granice refleksyjne

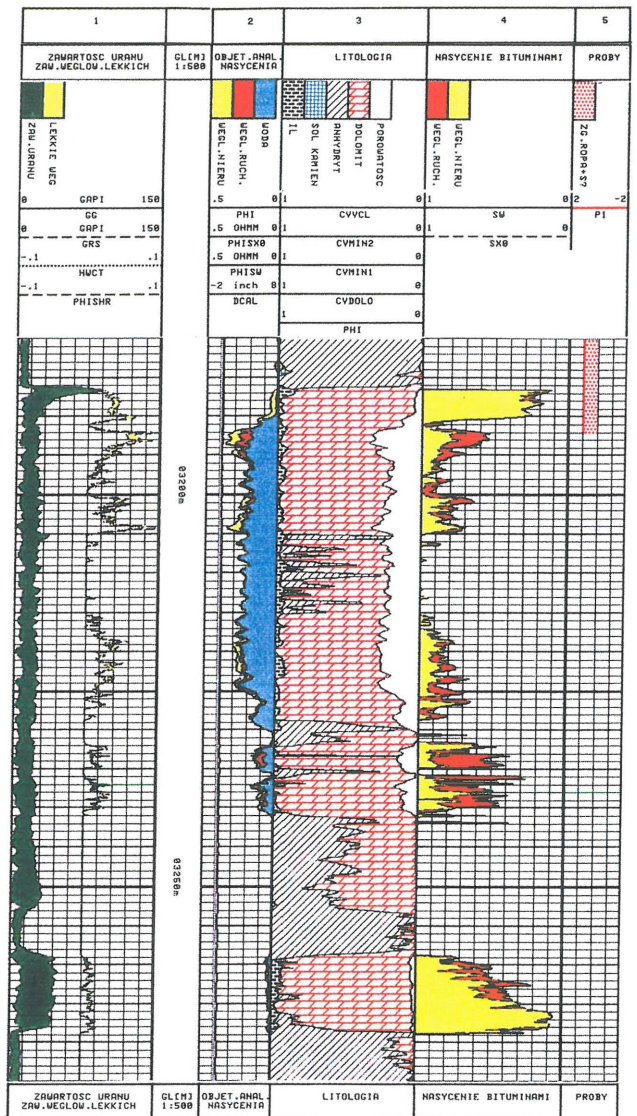
Fig. 18. Time slice in the Więclaw area; Z<sub>2</sub>, Ca<sub>2str</sub> — seismic reflectors



Ryc. 19. Przekrój sejsmiczny w rejonie Mostno–Więclaw w wersji amplitud (*reverse SEG*); Z<sub>2</sub>, Ca<sub>2str</sub>, Z<sub>1</sub> — granice refleksyjne

U nasady osuwiska zlokalizowano otwór Więclaw 1. Nawiercił on poziom dolomitu głównego na głębokości 3186 m–3253 m (ryc. 20). Litologicznie jest to dolomit z niewielkimi domieszkami anhydrytu w środkowej części i znacznym jego udziałem w części spągowej. Dobrymi właściwościami zbiornikovymi charakteryzuje się górna część dolomitu, gdzie w interwale 3190–3226 m Kpśr = 24%. Ściśle spągowa część dolomitu jest nieporowata. W poziomie tym oprócz porowatości międzyziarnowej są sygnalizowane geofizyczne oznaki szczelinowatości. Bituminy znajdują się tu tylko w ilości śladowej, co potwierdza również próbnik zapiearty w czasie wiercenia, obejmujący ściśle stropową część poziomą; w wyniku uzyskano słaby przyływ lekko zgazowanego słonego płynu z minimalnymi śladami ropy (5 ścieżka wyników).

Wyniki otworu wykazały, że znaczna anomalia amplitud jest niestety związana wyłącznie z porowatością dolo-



Ryc. 20. Otwór Więclaw 1. Dolomit główny. Wynik interpretacji programem ULTRA: ścieżki 1, 2, 3, 4, 5 — oznaczenia jak na ryc. 6 (Szczerbowska, 1998b)

Fig. 20. Well Więclaw 1. Main Dolomite. Output for ULTRA analysis: tracks 1, 2, 3, 4, 5 — indications as on fig. 6 (Szczerbowska, 1998b)

mitu, a anomalnie wysokie wartości amplitud wynikają z nadspodziewanie wysokich wartości porowatości (24%), a nie przemysłowego nasycenia węglowodorami. W interpretacji zjawiska należy bowiem również uwzględnić omówiony w przypadku otworu Marwice 3 tzw. efekt Domenico (1976).

## Wnioski

Wydzielanie pułapek akumulujących węglowodory, określenie ich geometrii i właściwości (porowatości, zasięgu nasycenia przez poszczególne media) jest zagadnieniem z zakresu logistyki i ekonomiki poszukiwań. Oba te czynniki są wzajemnie powiązane, gdyż optymalizacja logistyki (polegająca na eliminowaniu zbędnych etapów poprzez maksymalne wykorzystanie danych) prowadzi do optymalizacji (redukcji) kosztów poszukiwań.

Omawiane w artykule zagadnienia lokują się w trzecim i dalszych etapach eksploracji po wstępnym zdjęciu 2D i

## Literatura

pierwszych rezultatach wierceń. Konfrontacja zastosowanego aparatu badawczego (metodyka interpretacji), efekty osiągniętych w wyniku jego zastosowania oraz wyniki weryfikujących je tzn. metodykę i efekty interpretacyjne wierceń zdecydowanie pozytywnie weryfikuje powyższe prace. Metodyka badań polegająca na interdyscyplinarnym podejściu i poszukiwaniu synergii poszczególnych komponentów prowadzi do wyboru optymalnych wariantów interpretacyjnych. Z kolei zastosowanie czynnika litofacjalnego jako dominującego w interpretacji pozwoliło na wydzielenie pułapek, określenie ich geometrii i właściwości. Pozytywne wyniki złożowe (otwory: Dzieduszyce 2, Marwice 1, Stanowice 2) uzyskane w wyniku rozwiercania kolejnych po BMB, Lubiszynie i Różańsku pułapek dowodzą:

□ wysokiej perspektywiczności osadów poziomu dolomitu głównego facji barierowej i wewnętrznej laguny w strefie Gorzowa,

□ skuteczności metod detekcji i ewaluacji pułapek opartych o procesy interdyscyplinarnej interpretacji danych sejsmiki 3D z dominacją czynnika litofacjalnego,

□ konieczności wszechstronnego wykorzystywania danych otworowych (rdzenie, profilowania, upadomierz) i rezultatów ich interpretacji,

□ celowości systematycznego badania i pokrycia zdjęciami sejsmiki 3D strefy występowania dolomitu w facji barierowej i wewnętrznej laguny,

Odrębnym zagadnieniem jest unikanie pułapek interpretacyjnych. Wyniki wierceń Marwice 3 (w odniesieniu do obu poziomów węglanowych) i Więclaw 1 (w odniesieniu do osadów poziomu dolomitu głównego) wykazują, że problem niejednoznaczności interpretacyjnych jest otwarty. Zapis sejsmiczny pozwala wnioskować o właściwościach ośrodka. W obu przypadkach mieliśmy do czynienia z anomaliami związanymi ze spadkiem wartości impedancji akustycznej, które mogły zostać zinterpretowane zarówno pozytywnie (jako anomalie złożowe) lub negatywnie (jako anomalie wywołane innymi przyczynami). Czy można podobnego typu niejednoznaczności rozwiązać na drodze interpretacji danych sejsmicznych? Jest to bardzo trudne, chociaż pojawiają się metody zwiększające prawdopodobieństwo jednej z wersji.

Zastosowanie wyrafinowanych metod interpretacji danych sejsmicznych pozwoliło nie tylko na intensyfikację poszukiwań (kolejne odkrycia), ale również, w wyniku zdecydowanej poprawy trafności wierceń na redukcję kosztów poszukiwań. Nasz cykl dwóch artykułów wykazał, że metody te bardzo dobrze sprawdzają się w odniesieniu do obu poziomów zbiornikowych wieku cechsztyńskiego. Najstarszym poziomem zbiornikowym w basenie permskim są piaskowce wieku czerwonego spągowca. Podejmowane próby interpretacyjne w oparciu o zbliżone metody nie przyniosły dotychczas podobnie spektakularnych rezultatów. Wynika to z małych kontrastów impedancji akustycznej, generowaniem przez ośrodek fal krotnych trudnych do wytłumienia na etapie przetwarzania danych i mniejszą ilością propagowanej energii fali sejsmicznej związanej z ekranującym charakterem silnych reflektorów w cechszynie.

Autorzy obu opublikowanych artykułów dotyczących detekcji i rozpoznania pułapek węglowodorów w utworach węglanowych w basenie permskim dziękują dyrekcji PGNiG S.A. Oddz. BG Geonafra w Warszawie za zgodę na wykorzystanie użytych w artykule materiałów.

ANTONOWICZ L. & KNIESZNER L. 1981 — Reef of the Main Dolomite, set out on the basis of paleogeomorfologic analysis and the results of modern seismic techniques. Intern. Symp. Central European Permian Proc.: 356–368.

ANTONOWICZ L. & KNIESZNER L. 1984 — Zechstein reefs of the Main Dolomite in Poland and their seismic recognition. Acta Geol. Pol., 34: 81–93.

BROWN A. R. 1991 — Interpretation of three-dimensional seismic data. AAPG, 42, third edition.

BUKOWICKI J., PIETRZYK K., SKALNY A. & WILK M. 1994 — 3D Seismic Survey of the Różańsko Region. Oil and Gas News from Poland, 4: 69–73.

CZULIŃSKA A. & WIETECCHA B. 1995 — Opracowanie Badań Sejsmicznych 2D w rejonie Dzieduszyce–Gorzów. Arch. BG Geonafra.

DEPOWSKA A. 1996 — Opracowanie litologiczno-facjalne utworów dolomitu głównego w otworze Dzieduszyce 1. Arch. BG Geonafra.

DOMENICO S. N. 1976 — Effect of brine-gas mixture on velocity in an unconsolidated sand reservoir. Geophysics, 41: 882–894.

DYJACZYŃSKI K. 1996 — Mapa paleogeograficzna — facjalna osadów dolomitu głównego. Arch. BG Geonafra.

GÓRSKI M., GIERSZEWSKA D., KRÓL E., URBAŃSKA H. & WILK W. 2000 (w druku) — Interpretacja litofacjalna danych sejsmiki 3D kluczem do sukcesu w detekcji ciał rafowych w poziomie wapienia cechsztyńskiego w basenie permskim na przykładzie rafy Kościan. Prz. Geol., 48.

GÓRSKI M., KUNICKA-GÓRSKA W., PIĄTEK J., TRELA M. & WILK W. 1998 — Polish Zechstein Basin — new discoveries, new perspectives the impact of 3D seismic surveys. Konferencja East meets West, Kraków.

GÓRSKI M., KUNICKA-GÓRSKA W. & TRELA M. 1997 — Opracowanie Badań Sejsmicznych 3D w rejonie Dzieduszyce–Stanowice. Arch. BG Geonafra.

GÓRSKI M., MASSAKA V. & PIETRZYK K. 1998 — Lithofacial interpretation success key in the Polish part of the Permian Basin — from acquisition design, through processing to final interpretation. Workshop, Konferencja East meets West, Kraków.

GÓRSKI M., RADECKI S. & WOJTKOWIAK Z. 1999 — Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB): the largest crude oil deposit in Poland. Petrol. Geosc., 5: 5–15.

GÓRSKI M. & TRELA M. 1996 — Opracowanie Badań Sejsmicznych 3D w rejonie Barnówko–Lubiszyn. Arch. BG Geonafra.

GÓRSKI M. & TRELA M. 1997 — Układ geometryczny i ocena właściwości serii zbiornikowej złoża Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB) — największego złoża ropy naftowej w Polsce — na podstawie zdjęcia sejsmicznego 3D. Prz. Geol., 45: 685–692.

GÓRSKI M., TRELA M. & KUNICKA-GÓRSKA W. 1998 — Palaeostructure and palaeogeography from 3D seismic interpretation: examples from the Permian Basin in Poland. Petrol. Geosc., 4: 221–226 (from EAEG, Geneva 1997).

HARDAGE B. A. 1997 — Seismic Stratigraphy. PPS Bartlesville Oklahoma.

MAMCZUR S., RADECKI S. & WOJTKOWIAK Z. 1997 — O największym złożu ropy naftowej w Polsce Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB). Prz. Geol., 45: 582–588.

MITCHUM R. M. 1977 — Glossary of terms used in seismic stratigraphy. AAPG, 26: 205–212.

PERYT T. M. 1985 — Permian beach in the Zechstein dolomites of western Poland. J. Petrol. Geol., 8: 463–464.

PERYT T. M. & DYJACZYŃSKI K. 1991 — An isolated carbonate bank in the Zechstein Main Dolomite Basin, western Poland. J. Petrol. Geol., 14: 445–458.

PIKULSKI L. 1998 — Sedymentacja oraz rozwój litofacjalny utworów dolomitu głównego (Ca2) w rejonie złoża Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB), zachodnia Polska. Prz. Geol., 46: 426–435.

PIKULSKI L. & PROTAS A. 1997 — Warunki sedymentacji oraz rozwój litofacjalny utworów dolomitu głównego w rejonie bloku Gorzowa. Nafta i Gaz, 9: 400–406.

SZCZERBOWSKA M. 1998a — Opracowanie wyników pomiarów geofizycznych wykonanych w otworze Dzieduszyce 2. Arch. BG Geonafra.

SZCZERBOWSKA M. 1998b — Opracowanie wyników pomiarów geofizycznych wykonanych w otworze Więclaw 1. Arch. BG Geonafra.

WAGNER R. 1994 — Stratygrafia osadów i rozwój Basenu Cechsztyńskiego na Niżu Polskim. Pr. Państw. Inst. Geol., 146: 1–64.

WYLLIE M. R., GREGORY A. R. & GARDNER G. H. F. 1962 — Studies of elastic wave attenuation in porous media. Geophysics, 27: 569–589.