

Nowe elementy w interpretacji danych sejsmicznych dla utworów cenomańskich na przedgórzu Karpat

Halina Jędrzejowska-Zwinczak*, Eugeniusz Jawor**, Krzysztof Żuławiński*

New elements in interpretation of seismic data for the Cenomanian deposits of the Carpathian foreland

S u m m a r y . This paper reports results of the detailed study of continuity and uniformity of productive Cenomanian layer for east part of sedimentary basin in Carpathian Foredeep.

The problem to solve is explanation of differences between results of drilling and seismic section.

Data from seismic surveys are usually the most important sources of information for geological interpretation of explored region (Sheriff, 1977).

In presented case we have studied a few parallel SW-NE seismic profiles. One of them is presented on Fig 1. On standard processed seismic section we have followed a good seismic horizon connected with Cenomanian layer, supposed to be productive. Six wells were located according to assumption of continuity and uniformity of layer in question. Unfortunately results of drilling only partially have confirmed geological suggestion.

Having in mind, that distances between dry and productive wells are small, range of 500 m, sophisticated processing was decided. At the beginning the band with of 2.5 octave was ensured (Fig. 4).

In consequence, vertical resolution of 10.7 and horizontal resolution (first Fresnel zone) of 253.5 m were reached. Secondly, Hilbert transform was calculated. Very clear anomalies of seismic attributes were revealed (Fig. 10-11). New seismic image fully agrees with drillings result, what solves the problem. The most probable explanation is that, Cenomanian layer does not present so stable formation as we have supposed previously (Jędrzejowska-Zwinczak, 1994).

The procedure used is one of basic element of stratigraphic approach to seismic interpretation, allowed exclusively owing to modern processing capabilities.

Prace geologiczno-poszukiwawcze i geofizyczne na obszarze zapadliska przedkarpackiego ukierunkowane są na rozwiązanie trzech podstawowych zagadnień:

— rozpoznanie budowy geologicznej i poszukiwanie złóż gazu ziemnego w osadach miocenu;

— rozpoznanie budowy geologicznej i poszukiwanie złóż gazu ziemnego i ropy naftowej w utworach podłoża miocenu (cenoman, malm, dogger);

— rozpoznanie utworów paleozoicznych

(dolny karbon, dewon) oraz możliwości akumulacji w nich węglowodorów.

Wyniki dotychczasowych prac poszukiwawczych w tym rejonie są pozytywne; odkryto tu wiele złóż gazu ziemnego w utworach miocenijskich oraz ropy naftowej i gazu ziemnego w cenomanie i w jurze (malmie).

Niniejsze opracowanie poświęcone jest szczególnie zagadnieniu poprawnej lokalizacji pułapek dla złóż węglowodorów w utworach cenomańskich, gdzie poziomem zbiornikowym jest piaskowiec cenomański, często wypełniający paleomorfologiczne obniżenia w erozyjnej powierzchni jury.

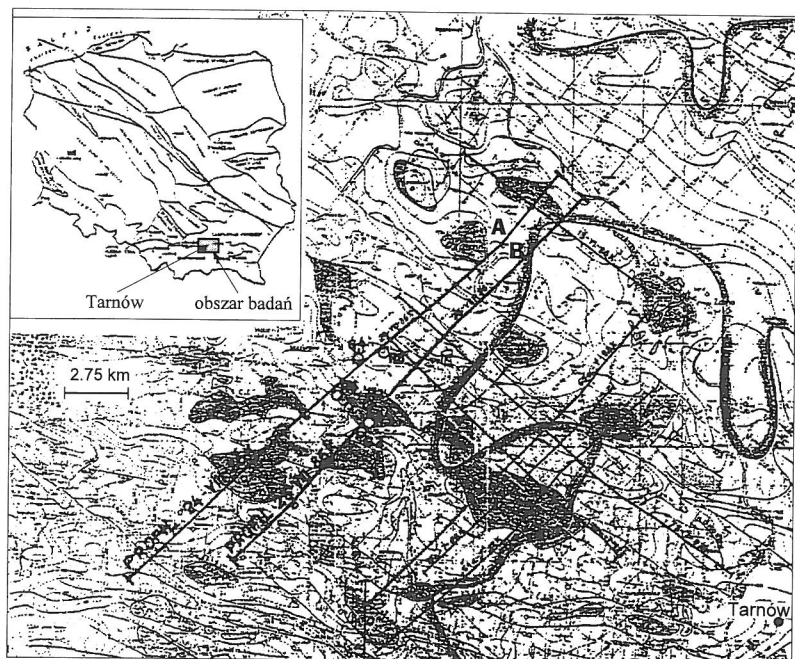
Udokumentowane tu złoża występują zasadniczo w dwóch strefach:

— w strefie brzeżnej basenu cenomańskiego w obszarze wyklinowywania się piaskowców (np. złoża Groble, Łąka, Swarzów), gdzie ich miąższość jest nieduża — kilkanaście metrów;

— w strefie środkowej basenu, w obszarze pełniejszego rozwoju piaskowców (np. złoża Ryłowa), gdzie ich miąższość osiąga już 40– 60 m.

Pomimo niewątpliwych sukcesów poszukiwawczych na przedgórzu Karpat, wielokrotnie wystąpiły sytuacje, gdy opracowany model geologiczny nie znajdował potwierdzenia w wynikach wierceń.

Wydało się więc prawdopodobnym, iż przyczyn niezgodności szukać należy w opracowaniu i interpretacji pod-

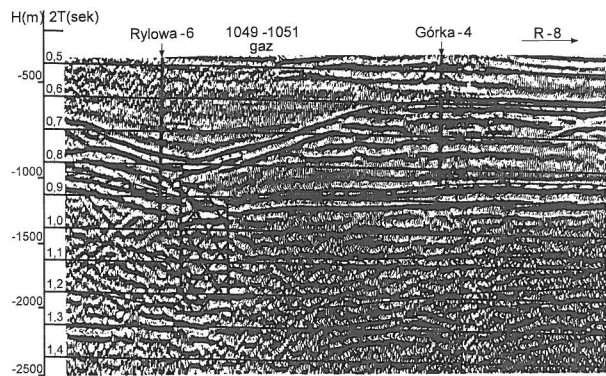


Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań i szkic sytuacyjny profili sejsmicznych

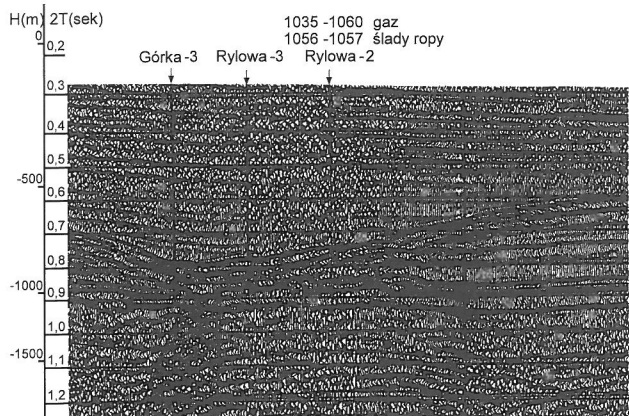
Fig. 1. Location of studied area and field outlines

*Instytut Górnictwa Naftowego i Gazownictwa, ul. Lubicz 25a, 31-503 Kraków

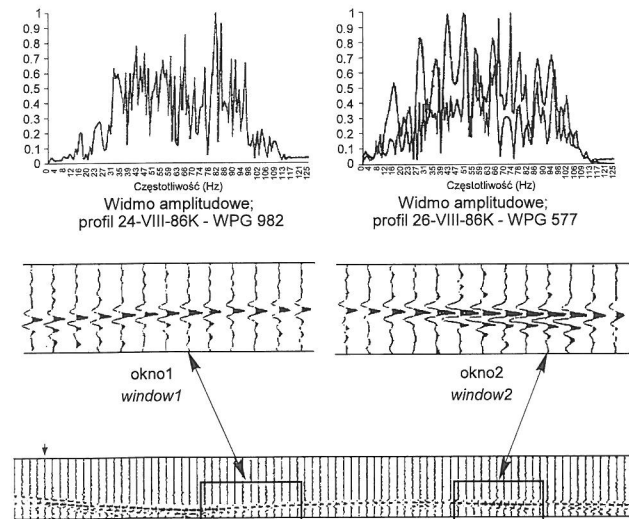
**Przedsiębiorstwo Poszukiwań Nafty i Gazu, ul. Lubicz 25, 31-503 Kraków



Ryc. 2. Profil A — sekcja sejsmiczna przetworzona konwencjonalnie
Fig. 2. Line A — standard processing



Ryc. 3. Profil B — sekcja sejsmiczna przetworzona konwencjonalnie
Fig. 3. Line B — standard processing

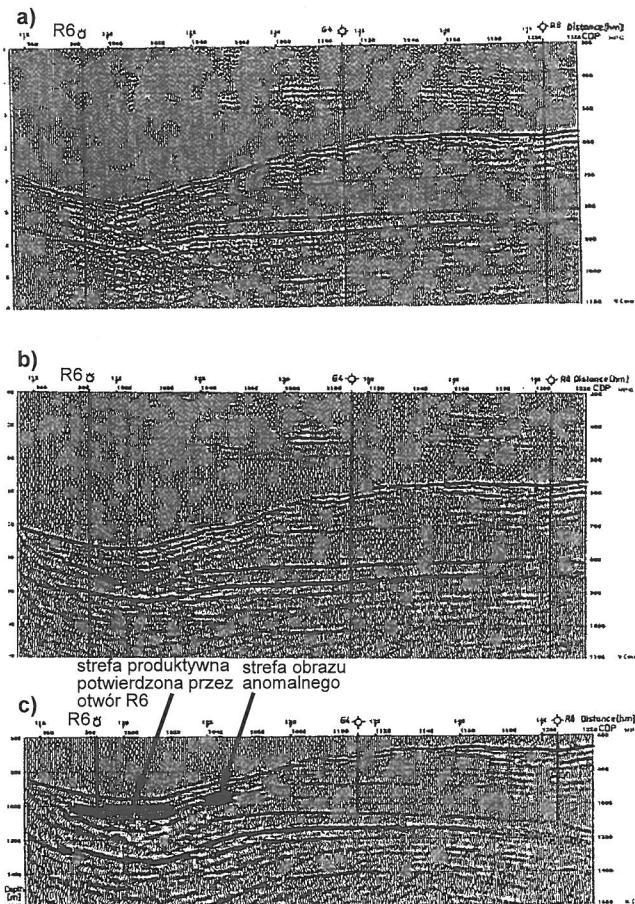


Ryc. 4. Fragment profilu sejsmicznego A po wykonaniu przetwarzania specjalistycznego (sekcja zerofazowa) i reprezentatywne widmo amplitudowe

Fig. 4. Portion of seismic line A after reprocessing (wavelet close to zero-phase) and corresponding frequency spectrum

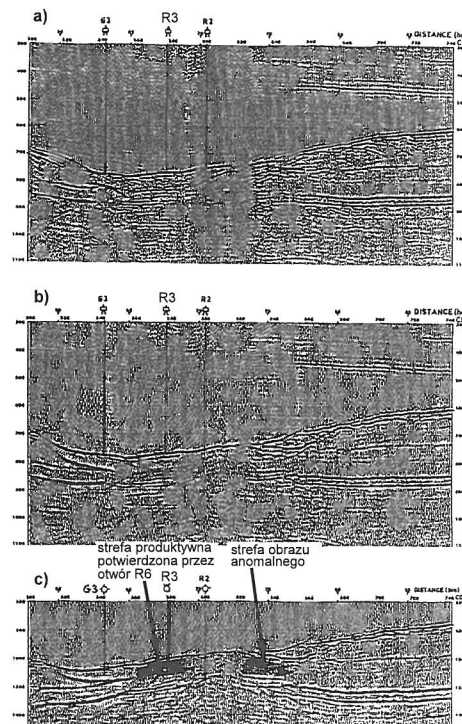
Ryc. 6. Profil B — wyniki zastosowanej sekwencji przetwarzania; a — sekcja sejsmiczna na której zrekonstruowano rzeczywiste relacje amplitud, b — sekcja sejsmiczna po migracji czasowej w domenie $K_x - \omega$, c — sekcja sejsmiczna po migracji głębokościowej metodą MGF — K

Fig. 6. Seismic line B; a — True Amplitude Recovery, b — Time $K_x - \omega$ migration, c — Depth MGF-K migration



Ryc. 5. Profil A — wyniki zastosowanej sekwencji przetwarzania; a — sekcja sejsmiczna na której zrekonstruowano rzeczywiste relacje amplitud, b — sekcja sejsmiczna po migracji czasowej w domenie $K_x - \omega$, c — sekcja sejsmiczna po migracji głębokościowej metodą MGF-K

Fig. 5. Seismic line A; a — True Amplitude Recovery, b — time $K_x - \omega$ migration, c — depth MGF-K migration



Ryc. 6. Profil B — wyniki zastosowanej sekwencji przetwarzania; a — sekcja sejsmiczna na której zrekonstruowano rzeczywiste relacje amplitud, b — sekcja sejsmiczna po migracji czasowej w domenie $K_x - \omega$, c — sekcja sejsmiczna po migracji głębokościowej metodą MGF — K

Fig. 6. Seismic line B; a — True Amplitude Recovery, b — Time $K_x - \omega$ migration, c — Depth MGF-K migration

stawowych materiałów wyjściowych, jakimi tu są sekcje sejsmiczne.

Poniżej zostaną pokazane wyniki bardzo szczegółowej analizy, przetwarzania i interpretacji sekcji sejsmicznych, które w pełni odpowiadają istniejącym danym otworowym.

Cel badań; obszar — lokalizacja

Celem prowadzonych badań było wyjaśnienie i lokalizacja prawdopodobnych niezgodności strukturalnych, których rozmiary nie mieszczą się w granicach rozdzielczości sejsmiki konwencjonalnej oraz wyjaśnienie prawdopodobnego występowania nieciągłości litologiczno-facjalnych w obrębie utworów cenomanu.

Powyższe wątpliwości pojawiły się wskutek braku pełnej korelacji między danymi sejsmicznymi oraz wynikami wierceń. Postanowiono więc wykonać *reprocessing* wybranych profili, mając na uwadze przede wszystkim zwiększenie rozdzielczości pionowej i poziomej zapisu sejsmicznego.

Obszar badań, zlokalizowany w rejonie Tarnowa, oraz szkielet sytuacyjny profili pokazuje ryc. 1.

Dane wejściowe, metodyka przetwarzania i interpretacji

Danymi wejściowymi były profile sejsmiczne zarejestrowane sposobem WPG przy 24-krotnym pokryciu, opracowane standardowo; na sekcjach oprócz wycinkowych analiz prędkości, praktycznie nie wykonano przetwarzania specjalistycznego.

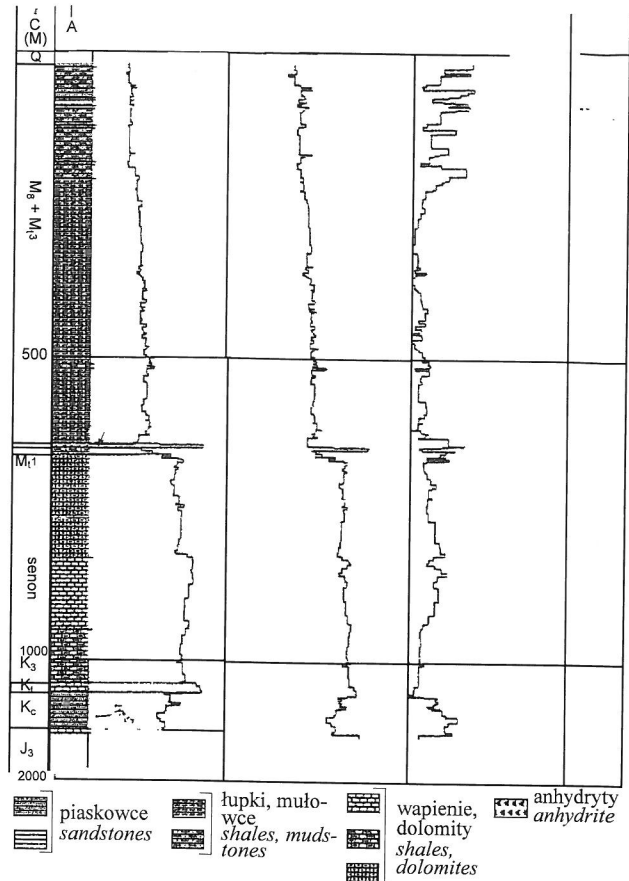
Zastosowana metodyka zaawansowanego przetwarzania relacjonowana będzie na przykładzie dwóch profili sejsmicznych A i B. Na ryc. 2 i 3 pokazano materiał wejściowy, na podstawie którego zlokalizowano pierwsze otwory wiertnicze. Są to sekcje standardowe bez dekonwolucji, na których nie zachowano rzeczywistych proporcji amplitud.

Jak widać, w omawianej strefie dobrze zarejestrowana jest granica odbijająca wiązana ze spągami miocenu (seria ewaporatowa) oraz powierzchnia erozyjna jury, znaczone na profilach sejsmicznych jako strop jury. Przypisywane tym granicom czasy oscylują kolejno wokół wartości 500–600 ms i 800–900 ms czasu podwójnego oraz wskali głębokościowej 500–600 i 1000–1100 m.

Zlokalizowane na profilu A (ryc. 4) trzy otwory wiertnicze Ryłowa-6, Górka-4, Ryłowa-8 (których cele geologiczne były różne) tylko w części potwierdziły przewidywaną budowę. W otworze Ryłowa-6 na głębokości 1050 m stwierdzono obecność gazu, natomiast w otworach Górka-4 i Ryłowa-8, które hipsometrycznie mają korzystniejszą lokalizację, stwierdzono jedynie wodę złożową.

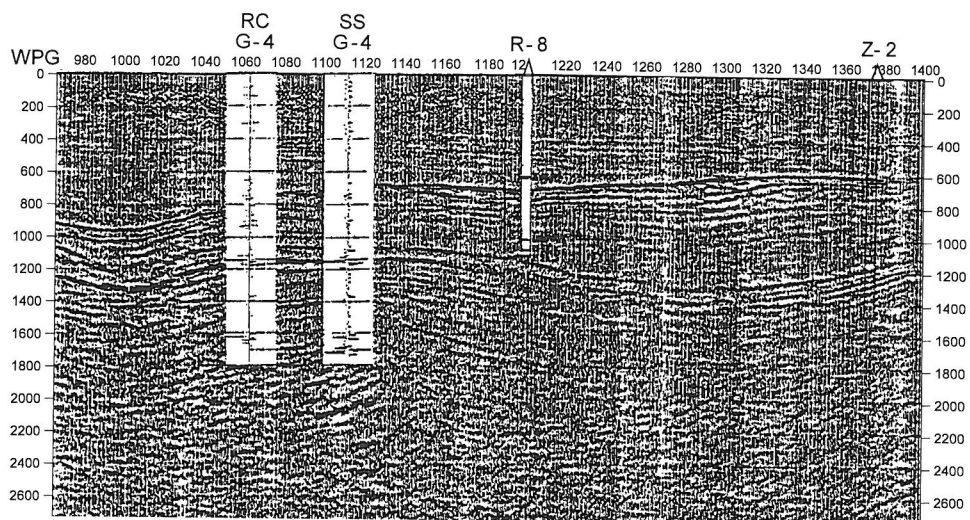
Należy więc mniemać iż utwory cenomanu, w których w otworze Ryłowa-6 stwierdzono obecność gazu, nie są jednorodne; może to dotyczyć zarówno obecności mikrouskoków o amplitudzie w zakresie poniżej

rozdzielczości sekcji jak i zmienności litofacjalnej, jak też



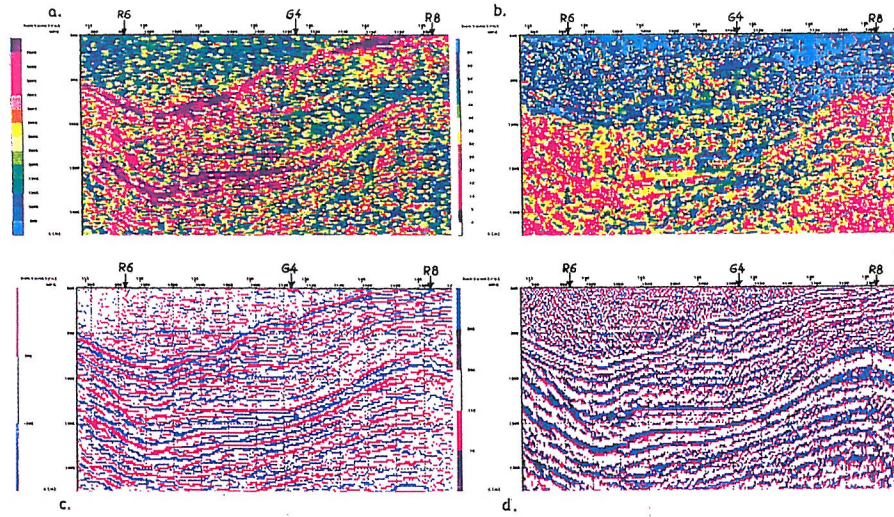
Ryc. 7. Zgeneralizowany przekrój litologiczny otworu G4 i odpowiadające mu krzywe profilowań PO i PA

Fig. 7. Generalized lithologic description of the 1150 m continuons G-4 boring situated on the line A (with basic stratigraphic units and associated well-log date)



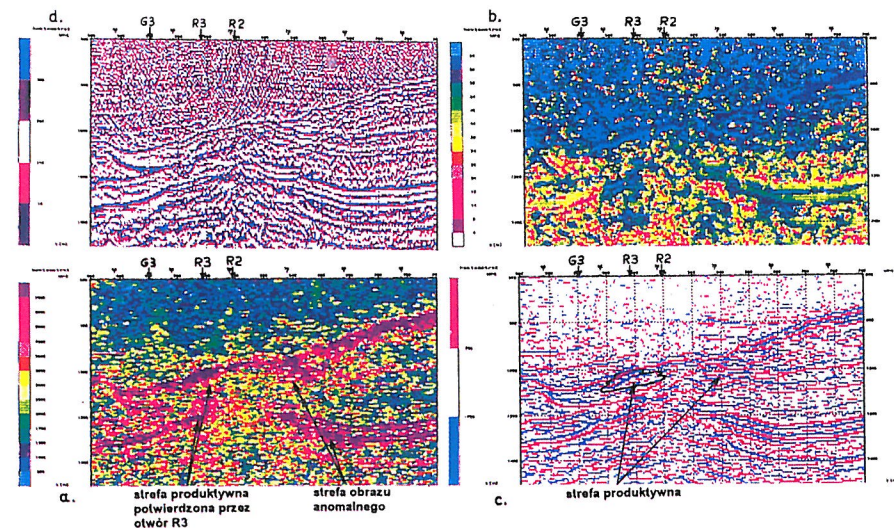
Ryc. 8. Rozkład współczynników odbicia i sejsmogram syntetyczny odpowiadający trasie sejsmicznej najbliższej otworowi G4

Fig. 8. Distribution of reflections coefficients and synthetic seismogram (T-Z transform) well tied seismic horizons



Ryc. 9. Profil A — sekcja sejsmiczna po transformacji Hilberta (wersja czasowa); a — amplituda, b — częstotliwość, c — polarność, d — faza

Fig. 9. Seismic line A — Hilbert parameters (time version): a — amplitude, b — frequency, c — polarity, d — phase



Ryc. 10. Profil A — sekcja sejsmiczna po transformacji Hilberta (wersja głębokościowa — model prędkościowy liczony na podstawie prędkości sumowania) a — amplituda, b — częstotliwość, c — polarność, d — faza

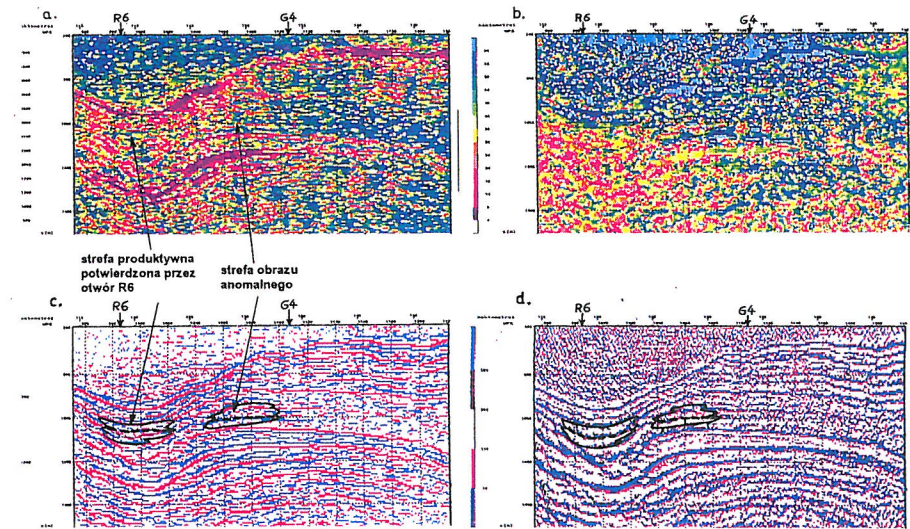
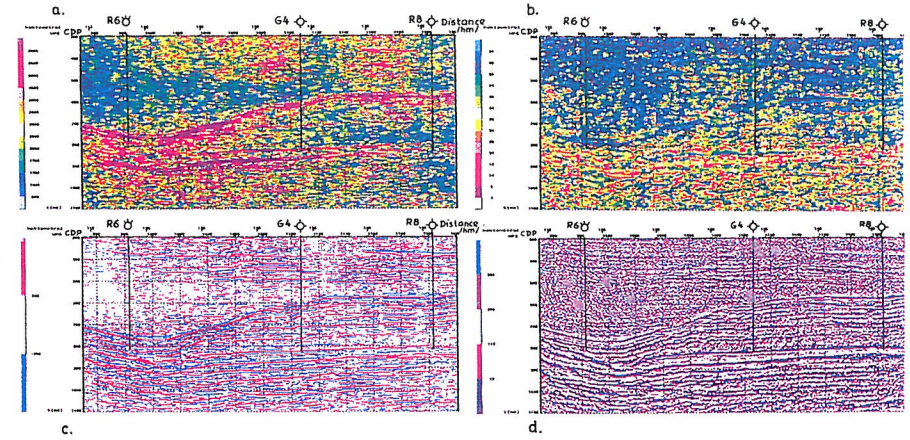
Fig. 10. Seismic line A — Hilbert parameters; depth version; velocity model modified (twice vertical exaggeration) a — amplitude, b — frequency, c — polarity, d — phase

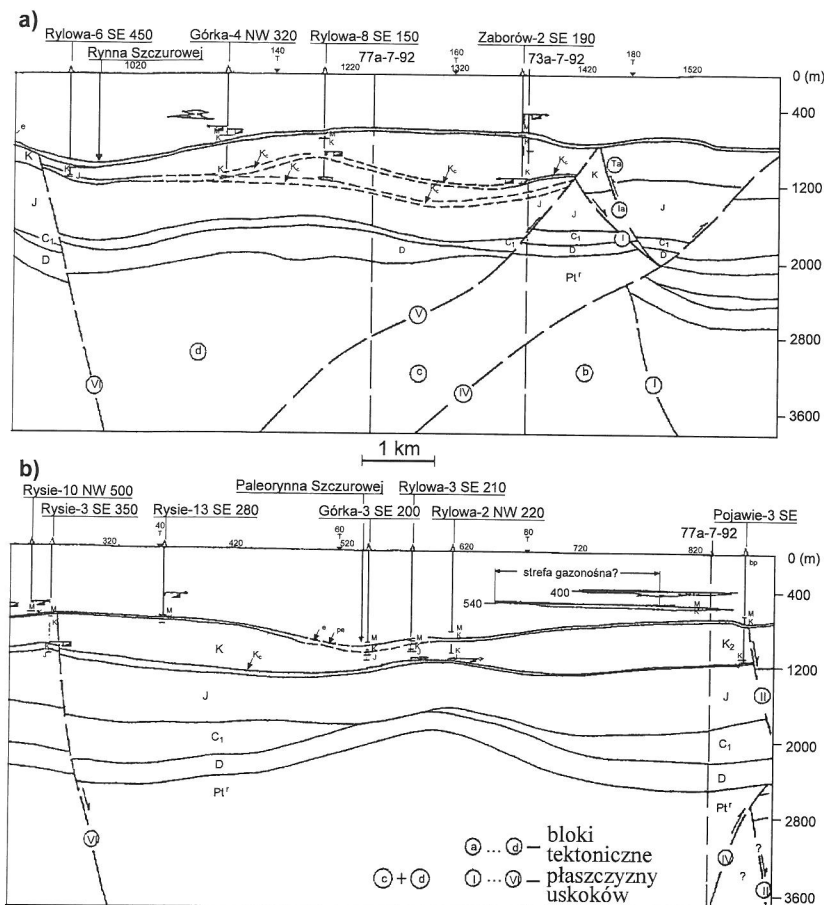
Ryc. 11. Profil A — sekcja sejsmiczna po transformacji Hilberta (wersja głębokościowa — model prędkościowy zweryfikowany na podstawie PA w otworze R8)

Fig. 11. Seismic line A — Hilbert parameters (depth version)

Ryc. 12. Profil B — sekcja sejsmiczna po transformacji Hilberta (wersja głębokościowa — model prędkościowy liczony na podstawie prędkości sumowania)

Fig. 12. Seismic line B — Hilbert parameters (depth version)





Ryc.13. Fragment przekroju geologicznego; a — profil A, b — profil B

Fig.13. Portion of geological section; a — line A, b — line B

nasyconej ropą naftową na kontakcie gaz-woda (~ 1056 m). W pozostałych otworach występuje jedynie woda złożowa. Przedstawiona sekcja standardowa wcale nie sugerowała jednoznacznie takiego efektu.

Ponieważ utwory cenomanu na przedgórzu Karpat uważane są w dalszym ciągu za perspektywne, przyjęto projekt badań, którego celem było wyjaśnienie możliwości śledzenia na sekcji sejsmicznej stref perspektywnych o bardzo małych rozmiarach.

Wykonano *reprocessing*, którego podstawowym zadaniem było poszerzenie pasma częstotliwościowego, zwiększenie rozdzielczości pionowej i poziomej oraz uzyskanie sekcji bliskiej zerofazowej. Uzyskana, istotną poprawę jakości sekcji potwierdzają wybiórczo przeprowadzone specjalistyczne analizy, np. badanie widma amplitudowego czy też zerofazowości rejestrowanych poziomów (ryc. 4a i 4b, profil A okno 600–800 ms, CDP 960–1100). Przeprowadzono korektę przyjętego modelu prędkościowego i wykonano migrację zarówno

w domenie czasu jak i głębokości.

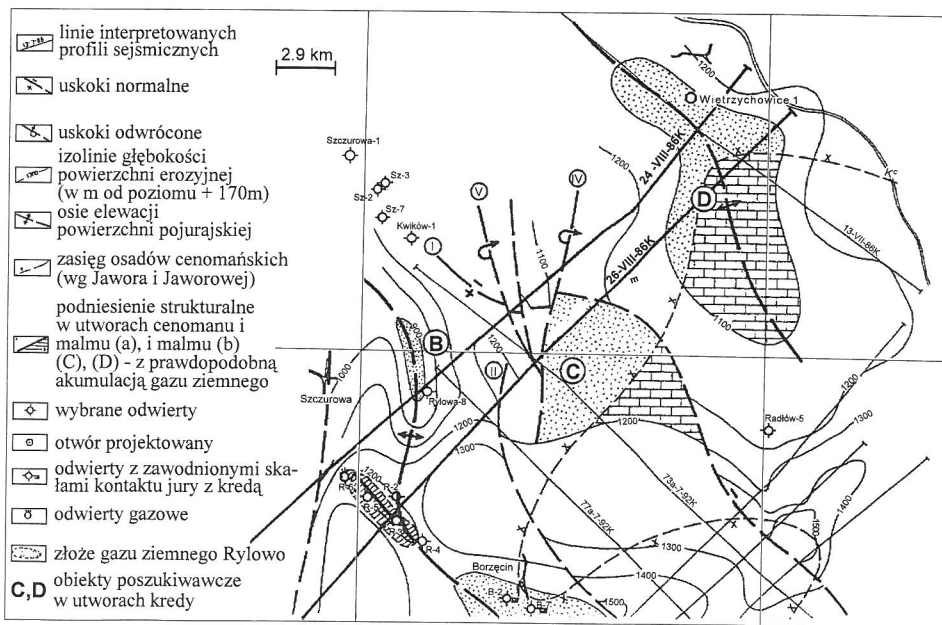
Mimo zastosowania ujednoliconego przetwarzania uzyskany sygnał symetryczny (ryc. 4b, okno 1) w niektórych przedziałach jest jednak zakłócony. Jest to m.in. związane z obecnością interferencji na trasach sejsmicznych, a w konsekwencji z mniejszą skutecznością zastosowanej dekonwolucji (ryc. 4, okno 2).

Ryciny 5 i 6 ilustrują sekcje sejsmiczne A i B po zastosowaniu dokładnego przetwarzania. Poprawa jakości materiału jest bezsporna.

zmienności własności ekranujących utworów nad, a szczególnie podścielających.

Analogiczną sytuację znaleziono na profilu B (ryc. 5), gdzie zlokalizowane są otwory Górka-3, Rylowa-3 i Rylowa-2. Nie ulega wątpliwości niedostateczna wartość informacyjna przedstawionego materiału.

Na omawianym profilu produktywnym okazał się jedynie otwór Rylowa-3, gdzie w interwale głęb. 1035–1 060 m stwierdzono obecność gazu ziemnego oraz cienkiej warstwy



Ryc. 14. Zweryfikowany szkielet strukturalny powierzchni erozyjnej utworów jurajskich w rejonie Szczurowa-Wietrzychowice (Połtowicz, Jędrzejowska-Zwinczak) Fig. 14. Revised depth structure for erosional surface of Jurassic sediments — region Szczurowa-Wietrzychowice (Połtowicz, Jędrzejowska-Zwinczak)

Uwzględniając znane już dane otworowe przeanalizowano dokładnie obraz sejsmiczny. Na prezentowanych sekcjach, gdzie wykonano dekonwolucję (przed i po sumie) oraz zrekonstruowano rzeczywiste relacje amplitud, a następnie przeprowadzono migrację $K_x - \omega$ (w dziedzinie czasu) — oraz migrację MGF-K w dziedzinie głębokości, (Kostecki & Półchłopek, 1994) obserwuje się znacznie więcej szczegółów.

Na profilu A (ryc. 5) w rejonie otworu Rylowa-6 na czasie 800–900 ms śledzi się chaotycznie ale wyraźnie pakiet refleksów, który po migracji czasowej nabiera charakteru pakietu wyklinowującego się ku SW i zanikającego (energetycznie) ku NE. Po migracji głębokościowej obraz ten staje się jeszcze bardziej przejrzysty. Nieco wcześniej ku SW począwszy od utworów kredy obserwuje się uskok o stosunkowo niewielkiej amplitudzie. Otwór Rylowa-6 znajduje się na skrzydle podniesionym (o ok. 60 m). Utwory kredy w tym rejonie mają miąższość ok. 70–80 m (rejon maksymalnej miąższości miocenu — Rynna Szczurowej) i istotnie (do 300 m) zwiększoną miąższość ku NE.

Refleks odpowiadający warstwie, z którą można by wiązać przyływ gazu, zmienia charakter; otwory Górka-4 i Rylowa-8 okazały się nieproduktywne. Jedynym wytłumaczeniem takiego zjawiska wydają się być wewnątrz-kredowe nieciągłości i niezgodności (Jędrzejowska-Zwinczak, 1994, 1995).

Na profilu A w jego końcowej, NE części, gdzie zlokalizowany jest otwór Rylowa 8, przeprowadzono ponadto weryfikację przyjętego modelu prędkościowego. Było to możliwe dzięki pomiarowi wykonanego tu profilowania akustycznego. W efekcie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że wykorzystanie prędkości sumowania do transformacji głębokościowej dało obraz geologiczny niezgodny z danymi otworowymi.

Powierzchnia erozyjna jury, przez zostosowanie niepoprawnych prędkości, została sztucznie wyniesiona o około 250 m. Dało to podstawę domniemania o istnieniu tu formy strukturalnej.

Wykorzystanie prędkości akustycznych znacznie uwiarygodniło obraz sejsmiczny. Obliczona z karotażu akustycznego funkcja refleksyjności ośrodka RC, jak też sejsmogramy syntetyczne SS (po transformacji T–Z) dobrze odpowiadają położeniu poszczególnych poziomów (ryc. 7 i 8).

Sekcje głębokościowe po migracji to informacja, na podstawie której skonstruowano przekroje geologiczne.

Najbardziej jednak spójny z danymi otworowymi obraz prezentują sekcje (w wersji kolorowej) po transformacji Hilberta zarówno w wersji czasowej (np. profil A, ryc. 9), jak i głębokościowej (profil A i B, ryc. 10–12).

Na ryc. 10 i 11 pokazano sekcje parametrów chwilowych w wersji głębokościowej przy zastosowaniu dwóch różnych modeli prędkościowych. Rycina 10 ilustruje wynik transformacji Hilberta po migracji głębokościowej, gdzie posłużono się prędkościami sumowania. Stanowi bardzo spektakularny przykład trudności wynikających z niedokładnych informacji prędkościowych. Rycina 11 została przetworzona z wykorzystaniem pomiaru PA.

Na przekroju głębokościowym (ryc. 13a i b) zaznaczono obydwa rozwiązania i wynikające stąd różne przebiegi poziomu odpowiadającego powierzchni erozyjnej jury (Jędrzejowska-Zwinczak i in., 1995).

Sekcje parametrów chwilowych potwierdzają sugestię o niezgodności strukturalnej i nieciągłości warstwy cenomańskiej. Wydaje się, że otwór Rylowa-6 jest usytuowany w pobliżu NE zamknięcia strefy produktywnej — widać to zarówno na anomalii amplitudowej jak i na zarysie powie-

rzchni fazy i polarności. Ponadto na polarności zwracają uwagę strefy niskich prędkości (kolor niebieski) otoczone powierzchniami dodatniego współczynnika odbicia (kolor fioletowy), sygnalizujące prawdopodobnie obecność skały uszczelniającej. Podobnie ciekawe spostrzeżenia nasuwa analiza profilu B biegnącego równolegle do profilu A, oddalonego ku SE o ok. 2,5 km (ryc. 12). W tej części profilu obraz sejsmiczny jest bardzo podobny do omówionego wyżej. Otwór Górka-3 usytuowany jest w sensie strukturalnym w identycznej pozycji jak Rylowa-6 — niestety nie wykazał przyływu. Przesunięty natomiast ku NE o niecałe 500 m otwór Rylowa-3 dał przyływ gazu. Potwierdza to obraz sejsmiczny — szczególnie sekcja po migracji i parametry chwilowe, zarówno w relacji czasowej jak i głębokościowej.

Otwór Rylowa-3 znajduje się jeszcze w strefie anomalii dodatniej, natomiast Rylowa-2 już poza nią, podobnie jak położony bliżej ku SW otwór Górka-3. Następna strefa anomalna rysuje się ok. 400 m w kierunku NE. Widać tu istotne przesłanki sugerujące istnienie pułapki węglowodorów — silną anomalię amplitudową, lokalne obniżenie częstotliwości, płaskorównoległość powierzchni fazowych oraz odpowiadającą złożu przemienność współczynnika odbicia. Pozycja strukturalna anomalii nie wyklucza tej hipotezy.

Interesujące wnioski wynikają z porównania sekcji sejsmicznej A i B, za punkt wspólny przyjmując oś rynny miocenijskiej (ryc. 5 i 6 oraz 11 i 12).

Doprowadzając do położenia koincydencji otwory Rylowa-6 i Górka-3, na sekcji A dostrzegamy analogiczny pakiet jak na sekcji B, gdzie usytuowany jest otwór produktywne Rylowa-3.

Przeprowadzenie takich i podobnie szczegółowych analiz nie byłoby możliwe bez doprowadzenia do dostatecznie wysokiej rozdzielczości sekcji sejsmicznej i to zarówno pionowej jak i poziomej, które — jak wspomniano na wstępie — w omawianym przypadku wynosiły kolejno 10,7 i 253,5 m. Współczesny, zaawansowany poziom przetwarzania danych sejsmicznych w istotnym już stopniu może poszerzyć rozumienie obrazu sejsmicznego (Knapp, 1991; Sheriff, 1977) oraz jego powiązanie z modelem geologicznym (ryc. 13, 14).

Przeprowadzona interpretacja pozwoliła na rewizję istniejących tu geologicznych szkiców strukturalnych oraz udokładnienie szczegółów, które niewątpliwie mają wpływ na sytuowanie wierceń poszukiwawczych.

W świetle powyższych rozwiązań uzasadnione wydaje się postulowanie przeprowadzenia konsekwentnej reinterpretacji danych geofizycznych, a zwłaszcza sejsmicznych, szczególnie w rejonach o wysokiej randze poszukiwawczej.

Literatura

- KOSTECKI A. & PÓŁCHŁOPEK A. 1994 — Pr. IGNiG, 81: 1–78.
 JĘDRZEJOWSKA-ZWINCZAK H. 1994 — Nafta-Gaz, 101: 449–466.
 JĘDRZEJOWSKA-ZWINCZAK H., POŁTOWICZ S. & ŻUŁA-WIŃSKI K. 1995 — Analiza i interpretacja sejsmostratygraficzna danych sejsmicznych w obrębie stref złożowych w miocenie, jurze i ewentualnie w utworach starszych oraz ocena słuszności ekstrapolowania wyników na obszary o zbliżonej charakterystyce geologicznej, Arch. IGNiG. 2862 NCR.
 KNAPP R.W. 1991 — Geophysics, 56: 354–359.
 SHERIFF R.E. 1977 — Limitation on resolution of seismic reflections and geologic detail derivable from them, in Payton C.E. Ed., Seismic Stratigraphy — Applications to hydrocarbon exploration, AAPG Tulsa.