

**PRÓBA WYKORZYSTANIA
ANALIZ AMPLITUDOWYCH ZAPISU SEJSMICZNEGO
DO OKREŚLENIA WŁASNOŚCI ZBIORNIKOWYCH
DOLOMITU GŁÓWNEGO**

**Attempt at using seismic amplitudes analyses in estimation
of reservoir features of Main Dolomite**

Kaja PIETSCH & Artur TATARATA

*Akademia Górniczo-Hutnicza; Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Zakład Geofizyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: pietsch@uci.agh.edu.pl, atalt@geolog.geol.agh.edu.pl*

Treść: Artykuł przedstawia próbę wykorzystania analiz amplitudowych zapisu sejsmicznego do rozpoznania zróżnicowania własności petrofizycznych utworów dolomitu głównego, pod kątem określenia perspektywiczności występowania złóż węglowodorów.

Teoretyczne pole falowe obliczone dla coraz bardziej złożonych modeli sejsmogeologicznych, opracowanych na podstawie szczegółowej analizy danych geofizyki otworowej, było podstawą do oceny przyczyn powstawania anomalii amplitudowych odbić od stropu dolomitu głównego oraz podstawą do opracowania filtrów usuwających z zapisu sejsmicznego efekt geometrycznego wzmocnienia amplitudy, który może występować w przypadku ośrodków cienkowarstwowych (zjawisko tuningu).

Wnioski z wykonanych wielowariantowych modeli sejsmicznych posłużyły do interpretacji zjawiska tuningu na obszarze platformy anhydrytowo-węglanowej objętej zdjęciem sejsmicznym Cychry – Namyślin 3D (Geofizyka Toruń Sp. z o.o. 1998).

Słowa kluczowe: sejsmika, tuning, analizy amplitudowe, dolomit główny

Abstract: This paper presents the application of seismic amplitudes analysis to characterization of the petrophysical properties of Main Dolomite in terms of hydrocarbons exploration.

Seismic modellings were used as a support tool at the presented interpretation. Various variants of seismogeological models were constructed on the basis of well log analyses. Theoretical wavefield computed for the obtained models were a basis for further assessment of the causes of anomalous amplitude effects coming from the top of Main Dolomite. Moreover, this approach was useful for proposing the construction of amplitude filters used to reduce an undesirable tuning effect, which occurs in thin beds formations.

The obtained results were helpful in the analysis of registered data from 3D seismic survey in Cychry – Namyślin area (Geofizyka Toruń Ltd. 1998).

Key words: seismics, tuning, amplitude analyses, Main Dolomite

WSTĘP

Artykuł poświęcony jest ocenie możliwości wykorzystania dynamiki zapisu sejsmicznego do określenia zróżnicowania własności petrofizycznych utworów dolomitu głównego. Problem jest istotny, ponieważ dolomit główny (Ca₂) jest jednym z podstawowych poziomów gazo- i roponośnych w Polsce. Perspektywiczne utwory dolomitu występują w formie budowli węglanowych o stosunkowo niewielkich miąższościach, charakteryzujących się zmiennymi przestrzennie parametrami zbiornikowymi. Pojawia się zatem pytanie, na ile informacje zawarte w zapisie sejsmicznym, głównie z powodu ograniczonej rozdzielczości sejsmiki, umożliwiają rozpoznanie dolomitu?

Do oceny możliwości rozpoznania dolomitu głównego za pomocą analiz amplitudowych wykorzystano dane zdjęcia sejsmicznego Cychry – Namyślin 3D (Geofizyka Toruń Sp. z o.o., 1998) zlokalizowanego na obszarze bloku Gorzowa, a także dane geofizyki otworowej pochodzące z otworów Cychry-2, Cychry-4, Cychry-6, Namyślin-1, Więclaw-1 i Witnica-1 usytuowanych w obrębie tego zdjęcia.

Dolomit główny występujący w tym rejonie powstawał w kilku strefach paleogeograficzno-facjalnych (Dyjażyński 1998), co spowodowało jego różne wykształcenie, a przede wszystkim zróżnicowanie miąższości (Tab. 1 na wklejce). Odwiert Witnica-1 zawiera dolomit wykształcony w strefie głębokowodnej, odwierty Namyślin-1 oraz Więclaw-1 na lokalnych podniesieniach w strefie głębokowodnej, odwiert Cychry-2 w strefie barierowej, a otwory Cychry-6 i -4 w strefie lagunowej. Dolomit nawiercony otworami Cychry-2, -4 i -6 charakteryzuje się dwudzielnością i obecnością w przestrzeni porowej gazu. W otworze Namyślin-1 zaobserwowano przyływ ropy naftowej.

Charakter zapisu sejsmicznego jest przede wszystkim uwarunkowany pionowym rozkładem współczynników odbicia, który jest funkcją impedancji akustycznej poszczególnych warstw ($V_{1p1} \neq V_{2p2}$) oraz ich miąższości. Zapis sejsmiczny, będący splotem sygnału sejsmicznego z sekwencją współczynników odbicia, dla układów cienkowarstwowych jest zapisem interferencyjnym, powstającym na skutek nakładania się sygnałów odbitych od położonych blisko siebie granic sejsmicznych (zjawisko tuningu). W takiej sytuacji amplituda rejestrowanych sygnałów jest nie tylko funkcją zróżnicowania parametrów petrofizycznych, ale również geometrii rozkładu warstw.

Podstawowym narzędziem, które wykorzystano do interpretacji cech dolomitu głównego w oparciu o analizy amplitudowe, były modelowania sejsmiczne. Pozwalają one na otrzymanie odpowiedzi sejsmicznej dla z góry założonego modelu ośrodka, co stwarza możliwość jednoznacznego powiązania anomalii zapisu sejsmicznego z wywołującymi je przyczynami i opracowania na tej podstawie wiarygodnych modeli sejsmogeologicznych analizowanego górotworu. Modelowania wykonano na komputerze klasy PC przy użyciu programu Struct wchodzącego w skład pakietu programów GeoGraphix (Landmark Graphics Corp.). Algorytmy tego programu opierają się na sejsmice promieniowej.

Teoretyczne pole falowe obliczane dla coraz bardziej złożonych modeli sejsmogeologicznych było podstawą do oceny przyczyn powstawania anomalii amplitudowych odbić od stropu dolomitu głównego oraz podstawą do opracowania filtrów usuwających z zapisu sejsmicznego efekt geometrycznego wzmocnienia amplitudy (efekt tuningu).

Stworzyło to możliwość podjęcia próby jakościowego oszacowania zmienności parametrów sejsmogeologicznych dolomitu głównego, zarówno wzdłuż arbitralnego profilu Cychry-2 – Cychry-6 – Cychry-4 (C-2 – C-6 – C-4), jak i na obszarze części zdjęcia sejsmicznego Cychry – Namyślin 3D, zlokalizowanej nad wyniesioną platformą anhydrytową.

PARAMETRY PETROFIZYCZNE

Realizacja postawionego zadania wymaga w pierwszej kolejności opracowania modeli sejsmogeologicznych i zdefiniowania tych cech dolomitu głównego, których identyfikacja stanowić będzie przedmiot niniejszej pracy.

Priorytetem badań sejsmicznych są poszukiwania węglowodorów. Ilość węglowodorów zgromadzonych w dolomicie głównym zależy od objętości przestrzeni porowej. Dlatego ważne jest zlokalizowanie stref charakteryzujących się zwiększoną porowatością. Zgodnie z powszechnie obowiązującymi modelami ośrodków wzrost porowatości przyczynia się do spadku prędkości fali sejsmicznej. Prędkość zależy także od rodzaju medium nasycającego pory. Dla ośrodka o danej porowatości wypełnionego odpowiednio: solanką, ropą lub gazem, wartości prędkości kolejno spadają. W przypadku ropy i solanki różnice są niewielkie, natomiast nasycenie gazem powoduje znaczące obniżenie prędkości fali sejsmicznej. Już nawet kilkuprocentowe nasycenie gazem przestrzeni porowej radykalnie zmniejsza prędkość (Bała 2001). Na prędkość fali sejsmicznej w przypadku dolomitu głównego w znacznie mniejszym stopniu wpływają zmiany litologiczne w szkielecie skały. Szkielet Ca2 zbudowany jest przede wszystkim z dolomitu, kalcytu, anhydrytu i niewielkiej ilości substancji ilastej. Zmienność proporcji poszczególnych składników wpływa wprawdzie na zmianę prędkości, ale są to zmiany niewielkie. Jest to związane z podobnymi wartościami prędkości propagacji fali w kolejnych składnikach szkieletu (dolomit – 7010; anhydryt – 6096; wapień – 6400–6800 m/s). Zmiany prędkości fali w dolomicie głównym można więc wiązać przede wszystkim ze zmianami porowatości i rodzajem nasycenia.

Analiza danych otworowych z otworów Cychry-4, Cychry-6, Cychry-2, Witnica-1, Namyślin-1 i Wieleń-1, dokonana pod kątem wyznaczenia parametrów petrofizycznych niezbędnych do przeprowadzenia modelowań sejsmicznych, objęła tylko te warstwy, których własności sprężyste mogą wpływać na zapis sejsmiczny dolomitu głównego: anhydryt górny (A1g), dolomit główny (Ca2), anhydryt podstawowy (A2) i sól starsza (Na2) (Tab. 1).

Poziomy anhydryt górny i soli starszej we wszystkich otworach osiągają znaczne miąższości, co zapewnia niewystępowanie zjawiska interferencji od zewnętrznych granic interpretowanej sekwencji. W związku z tym na informacje o parametrach Ca2, zawarte w rejestrowanych amplitudach, mogą mieć wpływ odbicia od następujących granic sejsmicznych: anhydryt górny/dolomit główny, dolomit główny/anhydryt podstawowy, anhydryt podstawowy/sól starsza. Wykonując interpretację danych otworowych, zwrócono dodatkowo uwagę na możliwość wystąpienia odbić w interwale dolomitu głównego, na granicy oddzielającej strefy o różnych porowatościach i wykształceniu litologicznym.

W miarę stałe parametry petrofizyczne anhydrytu podstawowego dają możliwość wykorzystania wielkości ujemnej amplitudy refleksu Ca2str ($V_{A2} > V_{Ca2}$) jako wskaźnika wielkości prędkości fali sejsmicznej w dolomicie i pośrednio jako nośnika informacji o porowatości, nasyceniu i litologii ośrodka.

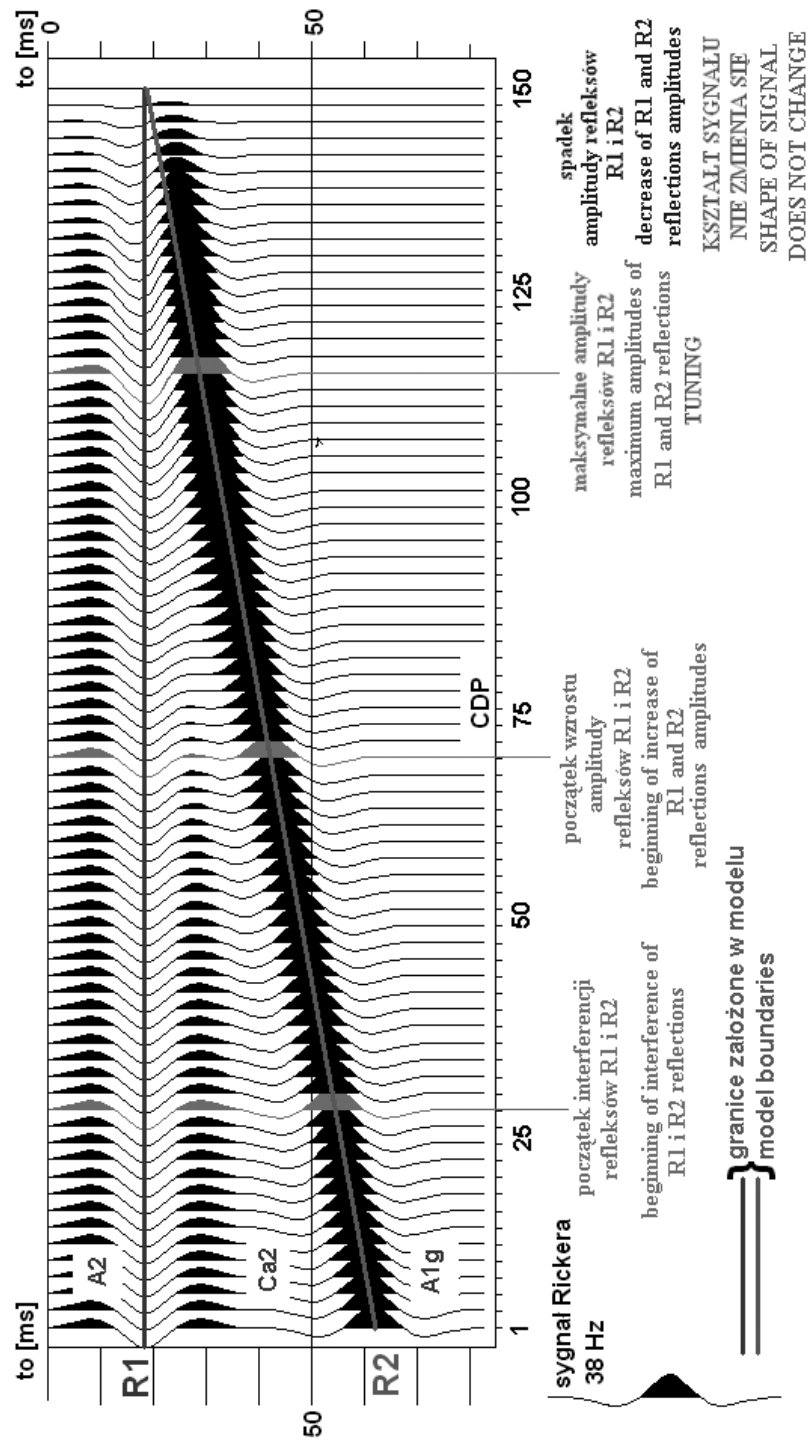


Fig. 1. Sekcja syntetyczna odpowiadająca wyklinowującej się warstwie dolomitu (A2 – anhydryt podstawowy $V = 5800$ m/s, Ca2 – dolomit główny $V = 4500$ m/s, A1g – anhydryt górny $V = 5800$ m/s)
Fig. 1. Seismic section for pinching out layer of dolomite (A2 – Basal Anhydrite $V = 5800$ m/s, Ca2 – Main Dolomite $V = 4500$ m/s, A1g – Upper Anhydrite $V = 5800$ m/s)

Niestety zmienna miąższość w zależności od strefy sedymentacyjnej A2 (od 3.5 m w odwiercie Witnica-1 do 30 m w odwiertach Cychry-2 i -6) powoduje, że refleksy od poszczególnych granic nakładają się na siebie. Stwarza to bardzo niekorzystną sytuację i uniemożliwia wyciągnięcie poprawnych wniosków litologicznych na podstawie analizy wielkości amplitud.

Sytuację tę obrazuje jednoznacznie syntetyczna sekcja sejsmiczna (Fig. 1) wygenerowana dla modelu klina dolomitu głównego. Wielkość amplitudy refleksów R1 i R2 w funkcji rzeczywistej miąższości, wyrażonej w jednostkach czasu, przedstawia diagram Widessa (Fig. 2, krzywe niebieska i zielona – lokalne ostre załamania na krzywych wynikają z przyjętego kroku próbkowania). Krzywa czerwona przedstawia zależność miąższości czasowej warstwy (odczytanej z sekcji sejsmicznej) od rzeczywistej miąższości. Widać, że do strefy maksymalnej interferencji (trasa 115) zależność ta jest w miarę liniowa. Poczawszy od tej strefy, spadek rzeczywistej miąższości nie odzwierciedla się na sekcji syntetycznej w postaci zmniejszania miąższości czasowej.

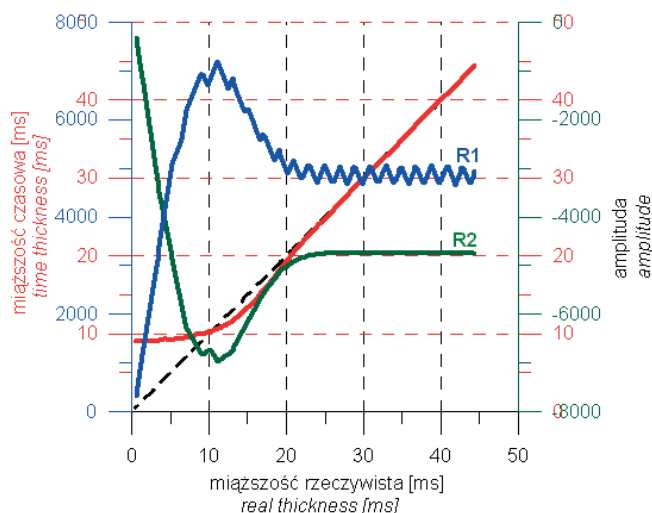


Fig. 2. Diagram Widessa

Fig. 2. Widess diagram

Ze względu na niewielkie miąższości anhydrytu podstawowego i dolomitu głównego zachodzi wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia wzmocnienia amplitudy (tuning) sygnałów odbitych od omawianych warstw. Zgodnie z teorią (Widess 1973), maksymalna interferencja zachodzi przy miąższości warstwy równej 1/4 dominującej długości fali. Miąższość taką nazywamy miąższością tuningu i wynosi ona

$$H_{\text{tun}} = V/4f,$$

gdzie:

- V – prędkość propagacji fali sejsmicznej,
- f – jej częstotliwość.

Nieuwzględnienie zjawiska tuningu może prowadzić do wyciągnięcia fałszywych wniosków geologicznych. Najistotniejszy i zarazem bardzo niekorzystny jest fakt, że efekt tuningu i anomalie amplitudowe wywołane obecnością gazu zaznaczają się bardzo podobnie na sekcji sejsmicznej.

MODELOWANIA SEJSMICZNE

Głównym narzędziem, które wykorzystano do interpretacji cech dolomitu głównego, były modelowania sejsmiczne, pozwalające na konstrukcję obrazu falowego ośrodka o założonych z góry parametrach. Stwarza to możliwość jednoznacznego powiązania wszystkich elementów zapisu sejsmicznego z wywołującymi je przyczynami. W tym konkretnym przypadku – zadaniem jest ocena przyczyn powstawania anomalii amplitudowych w zapisie odbić od dolomitu głównego, a co za tym idzie – ocena możliwości wykorzystania tych anomalii do lokalizacji stref złożowych.

Modelowania wykonano programem Struct wchodzącym w skład pakietu programów GeoGraphix. Zastosowano opcję programu Vertical Incidenc. Wynik takiego modelowania jest bowiem odpowiednikiem zmigrowanej sekcji sejsmicznej (Landmark 2003). Modelowania wykonano dla zerofazowego sygnału Rickera o częstotliwości dominującej 38 Hz, który w sposób bardzo dobry aproksymuje sygnały ekstrahowane z rejestrowanych tras sejsmicznych.

Jak wynika z analizy danych otworowych, za sejsmiczny obraz dolomitu głównego odpowiedzialne są: zmienność parametrów petrofizycznych i miąższości dolomitu głównego (Ca2) oraz zmienność miąższości anhydrytu podstawowego (A2).

Poszukując więc odpowiedzi na pytanie o możliwość wykorzystania cech dynamicznych zapisu sejsmicznego do oceny parametrów petrofizycznych dolomitu głównego, należy przeanalizować kolejno zmienność amplitudy w funkcji zmienności parametrów dolomitu głównego oraz jego miąższości, jak również wpływ zmiennej miąższości anhydrytu podstawowego.

Modelowania sejsmiczne, których celem była ocena zmienności zapisu sejsmicznego w zależności jedynie od zmienności dolomitu głównego, wykonano zakładając, że Ca2 wykształcony jest formie klina podścielonego utworami anhydrytu górnego i przykrytego utworami anhydrytu podstawowego o nieskończonych miąższościach i stałych parametrach petrofizycznych. Kolejnych pięć modeli sejsmogeologicznych, dla których wykonano obliczenia, różniło się wartościami impedancji w obrębie dolomitu (Tab. 2).

Wynik modelowania przedstawiony na figurach 1 i 2 oraz wyniki modelowań wykonanych w ramach realizacji pracy magisterskiej A. Tatarata (2004) pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- W miarę wzrostu wartości impedancji akustycznej w dolomicie zmniejsza się amplituda odbić od stropu (ujemna) i spagu (dodatnia) Ca2. Dolomit wykazujący niewielką porowatość i wypełniony wodą złożową staje się zatem słabo widoczny w zapisie sejsmicznym.
- W miarę wzrostu prędkości w interwale dolomitu rośnie miąższość tuningu. Można więc wyciągnąć wniosek, że dla dolomitu o dużej porowatości i/lub nasyconego gazem zjawisko tuningu pojawi się przy mniejszych miąższościach niż w przypadku dolomitu zbitego (Tab. 3).

Tabela (Table) 2

Parametry petrofizyczne modeli I–V
Petrophysical parameters of I–V models

Warstwa <i>bed</i>	Model I		Model II		Model III		Model IV		Model V	
	<i>V</i>	ρ	<i>V</i>	ρ	<i>V</i>	ρ	<i>V</i>	ρ	<i>V</i>	ρ
	[m/s]	[kg/m ³]	[m/s]	[kg/m ³]	[m/s]	[kg/m ³]	[m/s]	[kg/m ³]	[m/s]	[kg/m ³]
A2	5800	2950	5800	2950	5800	2950	5800	2950	5800	2950
Ca2	3500	2730	4000	2760	4500	2790	5000	2820	5500	2850
A1g	5800	2950	5800	2950	5800	2950	5800	2950	5800	2950

A2 – anhydryt podstawowy *Basal Anhydrite*

Ca2 – dolomit główny *Main Dolomite*

A1g – anhydryt górny *Upper Anhydrite*

Tabela (Table) 3

Miaższość tuningu i początku interferencji dla modeli I–V
Tuning thickness and thickness for the beginnings of interference for I–V models

Model <i>model</i>	Nr trasy <i>trace No.</i>	Miaższość tuningu <i>tuning thickness</i>	Miaższość początku interferencji <i>thickness of the beginning of interference</i>
I (<i>V</i> = 3500 m/s)	39	19.1	50
II (<i>V</i> = 4000 m/s)	37	22.3	56
III (<i>V</i> = 4500 m/s)	36	24	63
IV (<i>V</i> = 5000 m/s)	34	27	71
V (<i>V</i> = 5500 m/s)	32	30.5	–

Obok miaższości i parametrów petrofizycznych dolomitu na sejsmiczne odwzorowanie dolomitu głównego może mieć również wpływ anhydryt podstawowy, którego parametry petrofizyczne są w zasadzie stałe, ale zmienia się jego miaższość (Tab. 1). Dlatego ważne jest określenie miaższości warstwy, przy której występuje zjawisko tuningu. Wpływ anhydrytu przeanalizowano w oparciu o teoretyczne pole fali obliczone dla klina A2 znajdującego się pomiędzy nieskończonymi warstwami dolomitu głównego, o parametrach petrofizycznych identycznych jak w modelach Ca2, oraz soli starszej (Na2) o stałych parametrach (Tab. 4).

Analiza sekcji przedstawionej na figurze 3 oraz sekcji przedstawionych w pracy A. Tatarata (2004), jak i obliczonych na ich podstawie wykresów Widessa (Fig. 4) pozwala na sformułowanie poniższych wniosków.

Na miaższość tuningu anhydrytu podstawowego nie wpływają własności dolomitu. Zmienność tych własności wpływa jedynie na wielkość amplitudy od spągu anhydrytu.

Wyznaczona miaższość tuningu anhydrytu dla częstotliwości dominującej sygnału źródłowego 38 Hz wynosi ok 34 m. Przy miaższościach anhydrytu wyliczonego rzędu można spodziewać się najbardziej niekorzystnego wpływu interferencji na zapis sejsmiczny i tym samym interpretację własności litologicznych dolomitu.

Tabela (Table) 4

Parametry petrofizyczne modeli VI–IX
Petrophysical parameters of VI–IX models

Warstwa <i>bed</i>	Model VI		Model VII		Model VIII		Model IX	
	<i>V</i> [m/s]	ρ [kg/m ³]	<i>V</i> [m/s]	ρ [kg/m ³]	<i>V</i> [m/s]	ρ [kg/m ³]	<i>V</i> [m/s]	ρ [kg/m ³]
A2	4500	2100	4500	2100	4500	2100	4500	2100
Ca2	5800	2950	5800	2950	5800	2950	5800	2950
A1g	3500	2730	4000	2760	4500	2790	5000	2820

Na2 – sól starsza *Older Salt*

A2 – anhydryt podstawowy *Basal Anhydrite*

Ca2 – dolomit główny *Main Dolomite*

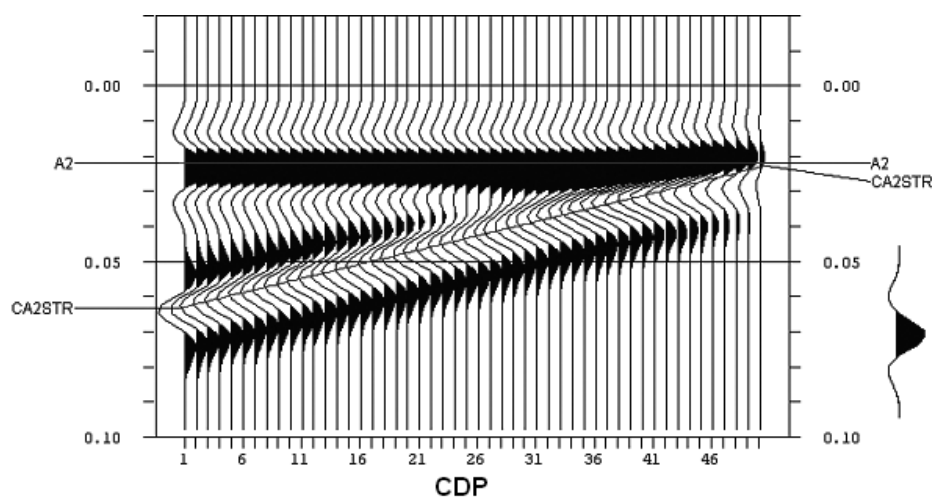


Fig. 3. Sekcja syntetyczna policzona w oparciu o model IV

Fig. 3. Synthetic section calculated for IV model

Wykonane dla prostych modeli sejsmogeologicznych modelowania pokazują rolę poszczególnych elementów górotworu w kształtowaniu pola falowego dolomitu głównego. Dopiero jednak model sumaryczny, zbierający różne geometryczne formy wykształcenia dolomitu o zmiennych parametrach petrofizycznych (Fig. 5) i obliczona na ich podstawie sekcja syntetyczna stanowi podstawę do analizy zapisu sejsmicznego pod kątem określenia zmienności litologicznej. Dzięki takiemu podejściu można określić efektywność poszczególnych narzędzi interpretacyjnych, ponieważ wyniki interpretacji odnoszone są do sekcji obliczonej dla z góry założonego modelu. Rozkład prędkości dla tego modelu przedstawiono na figurze 6. Otrzymałą sekcję sejsmiczną pokazuje figura 7. Jako sygnału źródłowego użyto sygnału Rickera o częstotliwości 38 Hz.

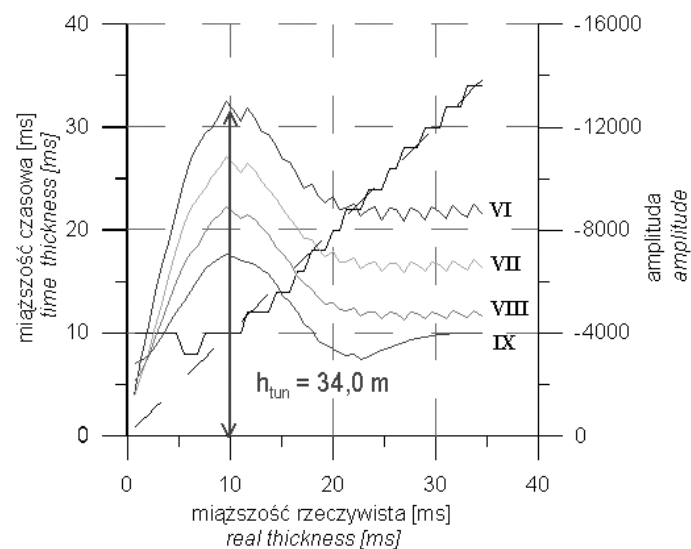


Fig. 4. Diagram Widessa dla modeli anhydrytu VI-IX

Fig. 4. Widess diagram obtained from VI-XI models

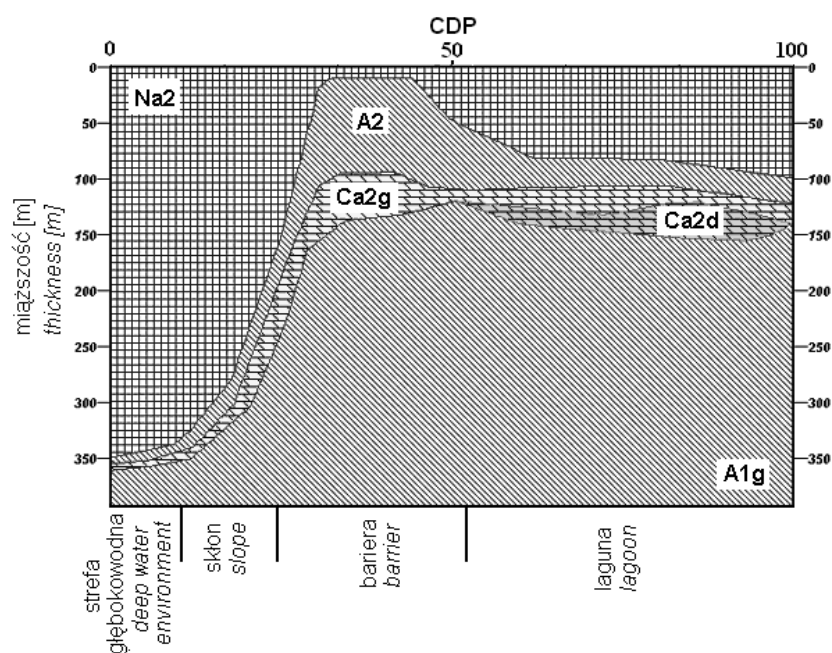


Fig. 5. Model dolomitu głównego w różnych strefach sedymentacyjnych

Fig. 5. Model of Main Dolomite in various sedimentation zones

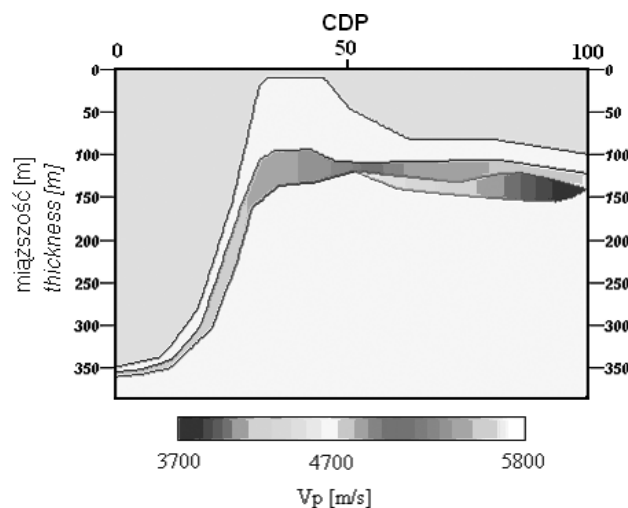


Fig. 6. Rozkład prędkości w modelu

Fig. 6. Velocity distribution in model

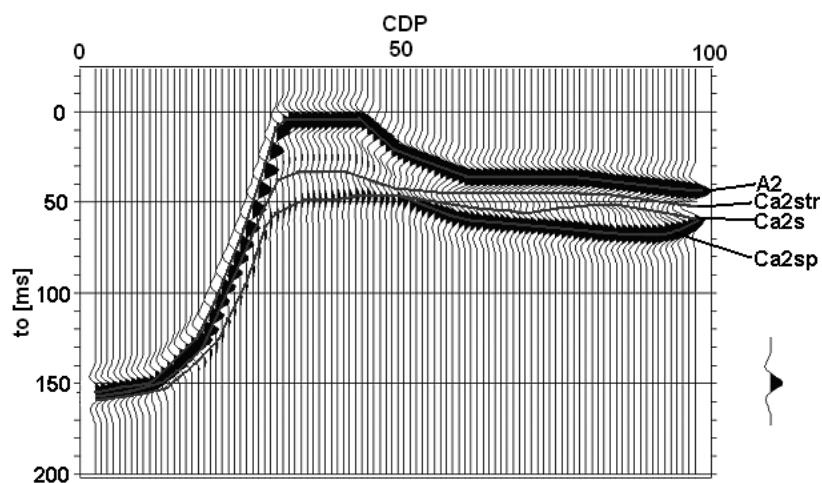


Fig. 7. Sekcja syntetyczna dla modelu dolomitu głównego w różnych strefach sedymentacyjnych

Fig. 7. Synthetic section calculated for Main Dolomite model in various sedimentation zones

INTERPRETACJA DANYCH MODELOWYCH

Wygenerowana sekcja syntetyczna (Fig. 7) stanowi podstawowy materiał wyjściowy do oceny efektywności poszczególnych narzędzi interpretacyjnych. Na jej podstawie podjęto próbę odtworzenia zmienności litologicznej w oparciu o dynamikę zapisu sejsmicznego.

Interpretacja faktycznie dotyczy strefy laguny i bariery, gdyż poza tymi strefami dolomit główny i anhydryt podstawowy mają niewielkie miąższości i refleksy od tych warstw silnie wzajemnie interferują.

Interpretacja standardowa

Pierwszy etap interpretacji – to interpretacja, przy której wykonaniu nie uwzględniono występowania zjawiska tuningu.

Jako pierwsza została przeprowadzona analiza odpowiednio zebranych zestawień amplitudowych. Jedno z nich polega na dodaniu bezwzględnych wartości amplitudy dla stropu i spągu warstwy (Fig. 8, krzywa z kółeczkami). Zakładając, że własności otaczających anhydrytów są niezmiennie, na podstawie tak obliczonej amplitudy możemy wnioskować o litologii. Duża wartość sumy świadczy o tym, że różnice w impedancjach akustycznych pomiędzy dolomit, a otaczającymi anhydrytami są znaczne. Pozwala to przypuszczać, że utwory dolomitu są silnie porowate i mogą występować w nich złoża węglowodorów.

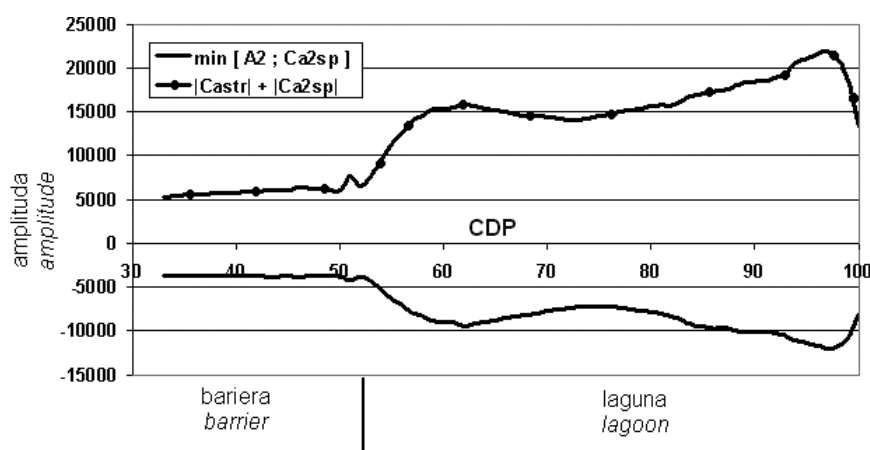


Fig. 8. Analizy amplitudowe sekcji syntetycznej

Fig. 8. Synthetic section amplitude analyses

Drugą z powszechnie stosowanych metod jest stworzenie zestawienia maksymalnych ujemnych wartości amplitud wyekstrahowanych z zapisu sejsmicznego w oknie czasowym pomiędzy stropem anhydrytu (refleks Z2) a spągiem dolomitu głównego (Ca2sp) (Fig. 8, krzywa bez kółeczek). Otrzymane w ten sposób wartości są utożsamiane z wielkościami amplitud pochodzącymi od stropu dolomitu głównego (Ca2sp). Może się jednak zdarzyć, że za maksymalne ujemne wartości zostaną uznane ujemne amplitudy wchodzące w skład bocznej oscylacji refleksu pochodzącego od stropu anhydrytu. Zjawisko to może mieć miejsce w strefach, w których anhydryt podstawowy ma dużą miąższość, a dolomit wykazuje podobne wartości impedancji akustycznej do otaczających anhydrytów.

Analizując wykresy obydwu zestawień (Fig. 8), można zauważyć ich inwersyjny układ. Wzrost sumy wartości bezwzględnych amplitud przy spadku maksymalnej ujemnej ampli-

tudy świadczy o spadku impedancji akustycznej w dolomicie. Szczególnie widać to zjawisko w przedziale tras od ok. 80 do 97, gdzie miąższość anhydrytu jest stała (por. Fig. 5). Nie można więc mówić tutaj o wpływie tuningu. W strefie bariery (trasy od 33 do 50) wartości bezwzględne uzyskane z obydwu zestawień amplitudowych są niższe od wartości w strefie lagunowej. Modelowania potwierdzają zatem występowanie zależności pomiędzy zmiennością wartości otrzymanych z zestawień amplitud a wielkością impedancji akustycznej w dolomicie głównym.

Metody analizy amplitud mogą doprowadzić niestety do interpretacji zawyżonych wartości impedancji w interwale dolomitu, spowodowanych występowaniem podwyższenia amplitudy, wywołanego niewielką miąższością nadległego anhydrytu podstawowego. Falszywe wnioski z powyższych analiz mogą zostać wyciągnięte szczególnie w strefie lagunowej. Mamy tam bowiem do czynienia z poziomem anhydrytu o niewielkiej miąższości. Dane otworowe wskazują także na występowanie w tej strefie podwyższonej porowatości. Nie można więc jednoznacznie powiedzieć, czy spadek wartości ujemnej amplitudy w stropie dolomitu wynika z obecności gazu. Dlatego też bardzo ważna staje się identyfikacja strefy tuningu na sekcji sejsmicznej.

Eliminacja efektów tuningu

Próba eliminacji zjawiska tuningu przedstawiona poniżej opiera się na zastosowaniu filtrów usuwających wzmocnienie amplitudy w strefie tuningu (Marzec 2004).

Jeżeli dla układu cienkich warstw efekt geometrycznego wzmocnienia amplitudy $[F(x)]$ dodaje się do wielkości amplitudy wynikającej ze współczynnika odbicia $[Cu(x)]$, to całkowita amplituda międzyszczytowa $[Cm(x)]$

$$Cm(x) = Cu(x) + F(x) \quad (1)$$

Funkcja $F(x)$ określa zatem idealny filtr, którego wartości odjęte do wartości amplitudy międzyszczytowej dają w rezultacie amplitudy, wynikające tylko ze współczynnika odbicia.

W celu zaprezentowania metodyki eliminacji zjawiska tuningu stworzono model sejsmogeologiczny wyklinowującej się warstwy anhydrytu podstawowego ($Na2 - V = 4500$ m/s; $A2 - V = 5800$ m/s; $Ca2 - V = 4500$ m/s). Wygenerowana, z użyciem sygnału Rickera o częstotliwości 45 Hz, i zrotowana o 270 stopni, sekcja syntetyczna pokazana jest na figurze 9. Wykres wielkości amplitudy dodatniej (C1) i ujemnej (C2) fazy refleksu pochodzącego od stropu dolomitu głównego przedstawiono na figurze 10.

Jak widać na figurze 10, w miarę ściśnięcia się warstwy anhydrytu (trasy od 25 do 13) bezwzględne wartości amplitudy faz ujemnej i dodatniej rosną. Większą dynamikę widać w przypadku fazy dodatniej. Dla tras od 12 do 1 amplitudy w miarę zmniejszania się miąższości sukcesywnie maleją. Na figurze 10 zaznaczono także teoretyczne wielkości amplitudy obydwu faz refleksów (C1u, C2u) dla przypadku sygnału o nieskończonej częstotliwości, czyli przypadku, gdy nie ma tuningu.

W celu wyeliminowania geometrycznego wzmocnienia amplitudy należy więc określić wielkość filtra $F(x)$, który dla warstwy grubej, przy założeniu sygnału o nieskończonej częstotliwości, powinien przyjmować wartość 0.

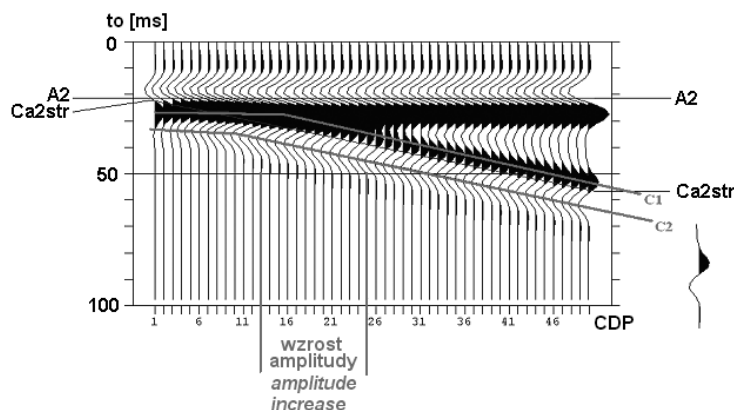


Fig. 9. Sekcja syntetyczna odpowiadająca wyklinowującej się warstwie anhydrytu (zrotowana o 270°)

Fig. 9. Synthetic section after phase rotation at 270 degrees calculated for the Basal Anhydrite model

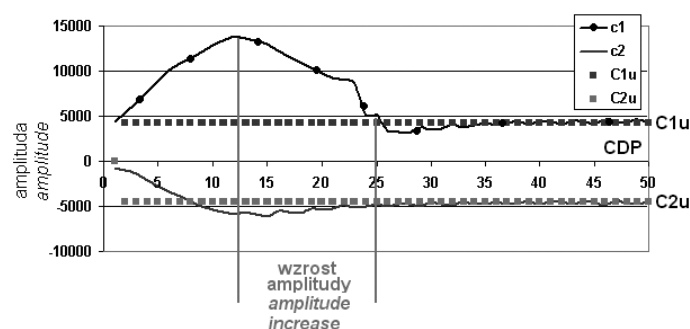


Fig. 10. Wartości amplitud C1 i C2 i wartości tych amplitud dla przypadku sygnału o nieskończonej częstotliwości (C1u i C2u)

Fig. 10. Values of C1 and C2 amplitudes and their values for the case of an infinite frequency signal (C1u and C2u)

Dla warstw cienkich wartość filtra F określamy na podstawie amplitudy międzyszczytowej ($C_m = C_1 + C_2$) wyznaczonej w oparciu o dane zarejestrowane – pierwsza estymata filtra (f_1). Jeśli dysponujemy choć jednym pomiarem otworowym (miąższość warstw oraz prędkość propagacji fali), możemy przybliżyć wartość filtra drugą estymatą (f_2), wykorzystując do tego celu parametr a wyznaczony na podstawie amplitud międzyszczytowych zapisu teoretycznego, obliczone dla cienkowarstwowego (C_{mmod}) oraz grubowarstwowego (C_{umod}) modelu sejsmogeologicznego. Obecność nawet jednego otworu w strefie maksymalnej interferencji umożliwia otrzymanie lepszej estymaty (f_2) filtra F .

Wykresy wartości filtrów F , f_1 , f_2 , a także wartości międzyszczytowe refleksów od stropu dolomitu dla przypadku występowania granicy A2 (C_m) i bez niej (C_u) przedstawiono na figurze 11. Efekt zastosowania estymat (filtrów f_1 i f_2) oraz idealnego filtra F_{mod} na wartość amplitudy międzyszczytowej (odpowiednio C_{uest1} i C_{uest2}) przedstawiono na figurze 12.

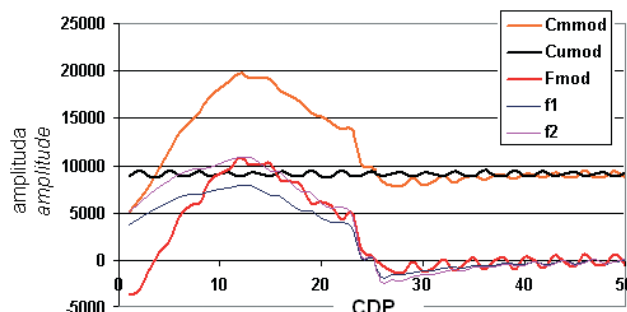


Fig. 11. Wartości filtrów F, f1, f2, wartości międzyszczytowe refleksów od stropu dolomitu dla przypadku występowania granicy A2 (Cm) i bez niej (Cu)

Fig. 11. Values of filters: F, f1, f2 and values of peak-to-trough amplitudes for reflections from Main Dolomite in the case of existence of A2 boundary (Cm) and without it (Cu)

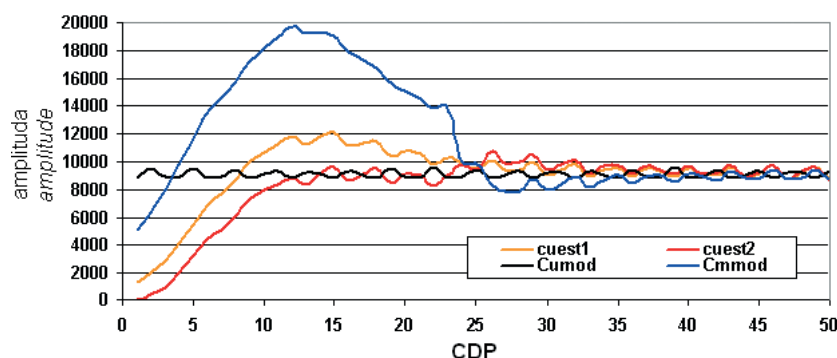


Fig. 12. Wyniki filtracji amplitudy międzyszczytowej w stropie dolomitu głównego: Cmmod – wartości rzeczywiste amplitudy międzyszczytowej, Cumod – wartości amplitudy międzyszczytowej po zastosowaniu filtra, Cuest1 – wartości amplitudy międzyszczytowej po zastosowaniu pierwszego przybliżenia filtra, Cuest2 – wartości amplitudy międzyszczytowej po zastosowaniu drugiego przybliżenia filtra

Fig. 12. Results of peak-to-trough amplitude filtration for Main Dolomite: Cmmod – real values of pick-to-trough amplitude, Cumod – values of pick-to-trough amplitudes after applying the filter, Cuest1 – values of pick-to-trough amplitudes after applying the first approximation of filter (geometrical approximation), Cuest2 – values of pick-to-trough amplitudes after applying the second approximation of filter (geometrical and well-logging-based approximation)

Zaprezentowana metodyka pozwala na identyfikację i eliminację efektu geometrycznego wzmocnienia amplitud. Jak widać (Fig. 12), początkowe wartości amplitud międzyszczytowych (krzywa niebieska) zostały obniżone w strefie maksymalnej interferencji do wartości wynikających ze współczynnika odbicia (krzywa czerwona i pomarańczowa). Opisane filtry podwyższyły jednakże nieco amplitudę międzyszczytową refleksów na trasach od 25 do 30. Poniżej miąższości maksymalnej interferencji, tam gdzie wartości początkowej amplitudy międzyszczytowej malały sukcesywnie, operacja filtracji obniżyła jej wartości.

Jak wynika z obliczeń wykonanych przy założeniu różnych parametrów petrofizycznych dolomitu głównego (Tatarata 2004), wartość parametru a zależy od wielkości impedancji akustycznej w dolomicie i zmienia się od 1.38 dla $V = 4500$ m/s; poprzez 1.36 dla $V = 5000$ m/s do 1.32 dla $V = 5350$ m/s.

INTERPRETACJA DANYCH RZECZYWISTYCH

Wnioski z analizy danych modelowych zostały wykorzystane do interpretacji danych rzeczywistych. Interpretację wykonano dla arbitralnego profilu 2D (C-2 – C-6 – C-4) (Fig. 13) przechodzącego przez odwierty Cychry-2, Cychry-4 i Cychry-6, a także dla danych 3D obejmujących platformę anhydrytową.

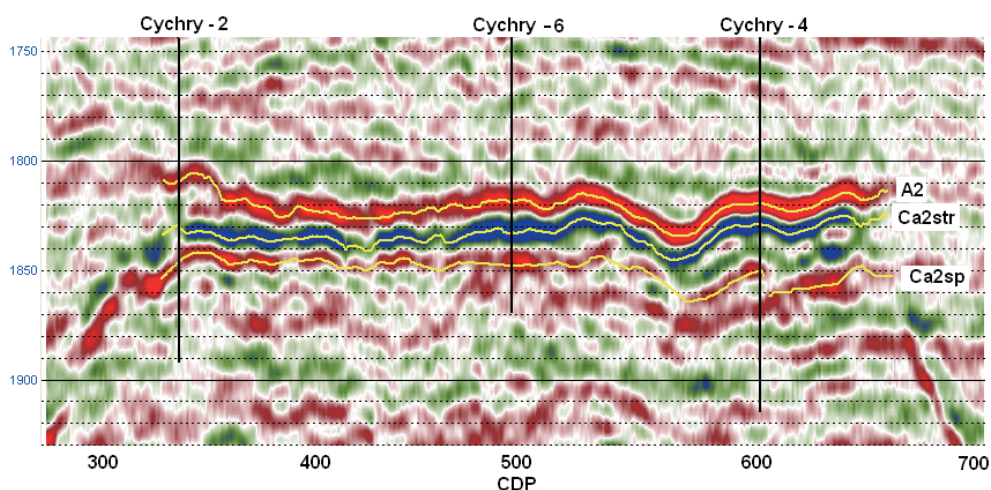


Fig. 13. Arbitralny profil sejsmiczny C-2 – C-6 – C-4 przechodzący przez otwory Cychry-2, Cychry-6 i Cychry-4

Fig. 13. Arbitrary seismic profile C-2 – C-6 – C-4 through: C-2, C-6, C-4 wells

Pierwszą przeprowadzoną dla profilu arbitralnego (Fig. 13) analizę stanowią zestawienia amplitud: maksymalnej ujemnej amplitudy w interwale Z2 – Ca2sp (krzywa niebieska – zestawienie I) i sumy bezwzględnych wartości amplitud Ca2str i Ca2sp (krzywa czerwona – zestawienie II) (Fig. 14). Przy przyjęciu stałych wartości impedancji akustycznej w anhydrytach otaczających dolomit można założyć, że zmiany wielkości zestawionych amplitud korelują z własnościami serii zbiornikowej. W przypadku zestawienia I – im niższa jego wartość, tym mniejsza prędkość w dolomicie. W przypadku zestawienia II – duża wartość amplitudy także wskazuje na małą prędkość. W celu uchwycenia ogólnego trendu w zmienności amplitud obliczono krzywe trendu (linie czarne).

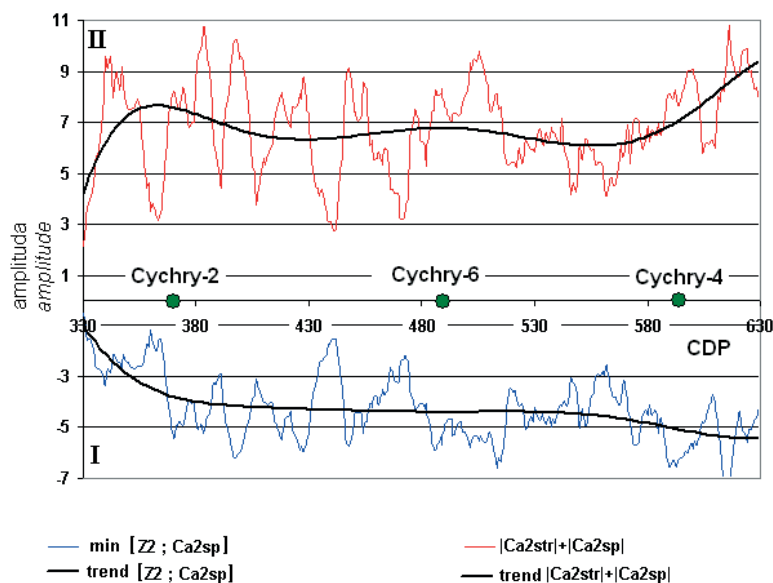


Fig. 14. Analizy amplitudowe wzdłuż profilu arbitralnego C-2 – C-6 – C-4

Fig. 14. Amplitude analyses along the C-2 – C-6 – C-4 arbitrary seismic profile

Ogólnie, wartości bezwzględne obu zestawień rosną od otworu Cychry-2 do otworu Cychry-4. Posiłkując się wykonanymi analizami, a nie uwzględniając efektów tuningu, można powiedzieć, że najmniejsze prędkości, co w praktyce przekłada się na największe porowatości i/lub nasycenie gazem, występują dla tras z przedziału 570–630 (Fig. 13). W pozostałej części profilu widać bardzo silne oscylacje wartości zestawień amplitudowych. Wydaje się, że w przypadku maksymalnej ujemnej amplitudy są one mniejsze. Dla tras z przedziału 330–350 wartości zestawienia I są najwyższe, co odpowiadałoby zmniejszeniu kontrastu impedancji pomiędzy dolomitami głównymi a otaczającymi anhydritami.

W celu zweryfikowania przeprowadzonych analiz sporządzono przekrój rozkładu porowatości i prędkości fali P, opierając się jedynie na wynikach analiz geofizyki otworowej (Fig. 15).

Wyniki z analiz amplitudowych i danych otworowych zgodnie potwierdzają, że największe prędkości występują w obszarze otworu Cychry-2. Mniejsze wartości prędkości występują dla otworu Cychry-6, co także znajduje odzwierciedlenie na krzywych zestawień amplitudowych. Wartości zestawień amplitudowych nie korelują z danymi otworowymi w przypadku otworu Cychry-4. Widać bowiem, że zestawienia amplitudowe wykazują wartości podobne do wartości w pobliżu otworu Cychry-6, co świadczyłoby o podobnych właściwościach dolomitów głównych w obu otworach, natomiast wg danych otworowych prędkości są znacznie większe (porowatości są porównywalne), najprawdopodobniej z powodu występowania w profilu otworu C-4 wkładek anhydritowych, które podnoszą prędkość fali. Lokalne zaburzenie w wartościach zestawień amplitud dla tras z przedziału 520–630 może być wywołane zjawiskiem tuningu, spowodowanym niewielką miąższością anhydrytu podstawowego (30.0 m w otworze C-6 i 21.5 m w C-4).

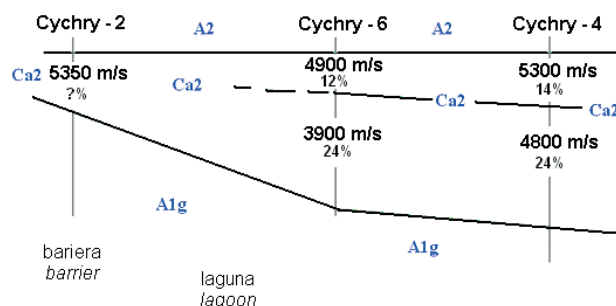


Fig. 15. Rozkład porowatości i prędkości fali P w dolomicie głównym sporządzony na podstawie danych geofizyki otworowej

Fig. 15. Porosity and P-wave velocity distribution in Main Dolomite on the basis of well logs data

Podczas przedstawionej analizy nie uwzględniano przecież wpływu zjawiska tuningu. W celu jego identyfikacji i eliminacji wykonano, zgodnie z metodyką przedstawioną wcześniej, filtrację amplitudy międzyszczytowej na profilu arbitralnym oraz na części zdjęcia 3D, obejmującej platformę anhydritową. Wartości parametru a otrzymane z danych modelowych ekstrapolowano na cały analizowany obszar. Wyniki filtracji amplitudowej dla arbitralnego profilu 2D: C-2 – C-6 – C-4 przedstawiono na figurze 16. W przedziale tras 330–360 wielkości amplitudy międzyszczytowej po filtracji przewyższają amplitudy przed filtracją, co jest spowodowane dużą miąższością anhydrytu (ponad 100 m) i niewielką dolomitu głównego (ok. 20 m). Dla tras z przedziału 360–500 amplitudy międzyszczytowe w stropie dolomitu przed filtracją i po filtracji są bardzo podobne, natomiast począwszy od trasy 500 do trasy 630, filtracja obniżyła wartości amplitudy międzyszczytowej.

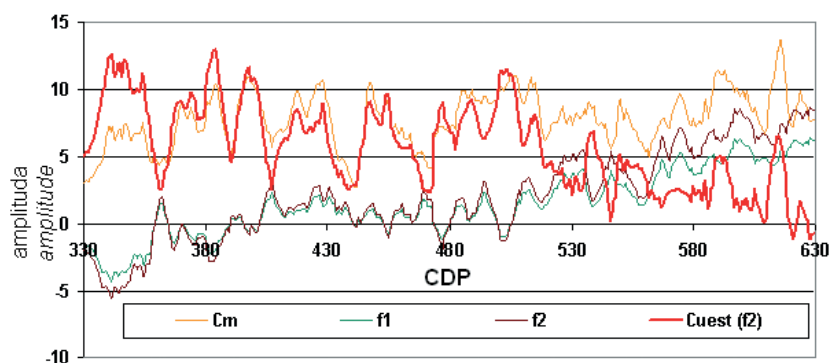


Fig. 16. Wyniki filtracji amplitudy międzyszczytowej dla dolomitu głównego dla danych rzeczywistych: Cm – amplituda międzyszczytowa, f1 – pierwsze przybliżenie filtra, f2 – drugie przybliżenie filtra, Cuest (f2) – wartości amplitudy międzyszczytowej po zastosowaniu drugiego przybliżenia filtra

Fig. 16. Filtration of pick-to-trough amplitudes for Main Dolomite (real data): f1 – the first approximation of filter (geometrical approximation), f2 – second approximation of filter (geometrical and well-logging-based approximation), cuest (f2) – values of pick-to-trough amplitudes after applying the second approximation of filter (geometrical and well logging based approximation)

Zbieżność wielkości amplitudy przed filtracją i po filtracji może świadczyć o braku wpływu bądź niewielkim wpływie zjawiska tuningu na wielkości sporządzonych zestawień amplitud. W takich strefach (trasy 360–500) wnioski wyciągnięte na podstawie tych zestawień są więc najbardziej wiarygodne. Natomiast w obszarach, w których filtracja obniżyła wartość amplitudy międzyszczytowej (trasy 500–630), należy się spodziewać wpływu efektów zjawiska tuningu na wielkość ujemnej amplitudy refleksu od stropu dolomitu głównego. W tych obszarach analizy amplitudowe I i II (Fig. 14), czyli bez uwzględnienia tuningu, wskazują na obniżenie prędkości fali w dolomicie głównym. Obniżenie amplitudy międzyszczytowej po filtracji (Fig. 16 – krzywa pomarańczowa) świadczy o zmniejszeniu kontrastu pomiędzy impedancją warstwy A2 i Ca2, a tym samym świadczy o wzroście prędkości w dolomicie.

W celu szerszej analizy tuningu wykonano filtrację amplitudy międzyszczytowej na obszarze zdjęcia 3D. Dokonano jej za pomocą programu Strata z pakietu oprogramowania Hampton-Russell (2001). Mapę, wyekstrahowaną z zapisu sejsmicznego, amplitud międzyszczytowych przedstawiono na figurze 17. Efekt filtracji przy użyciu filtrów f1 i f2, wyznaczonych na podstawie analizy danych modelowych i otworowych, przedstawiono na figurach 18 i 19.

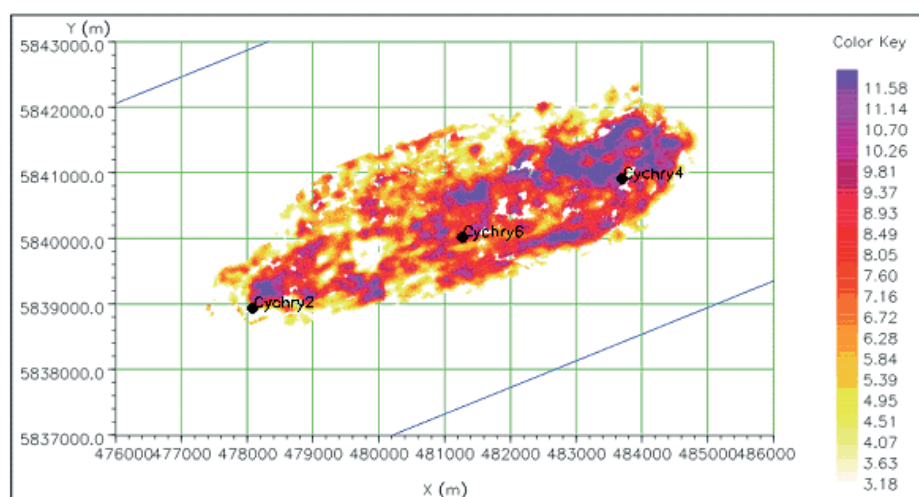


Fig. 17. Amplitudy międzyszczytowe stropu dolomitu głównego ekstrahowane z bloku danych 3D

Fig. 17. Pick-to-trough amplitudes of the top of Main Dolomite derived from 3D data

Analiza map amplitudowych przed filtracją (Fig. 17) i po filtracji (Fig. 18 i 19) pozwala stwierdzić, że wielkość amplitudy międzyszczytowej w stropie dolomitu w pobliżu otworu C-4 jest zawyżona. Mapy amplitudowe po filtracji pokazują bowiem zmniejszenie amplitudy międzyszczytowej w tym rejonie, co świadczy o interferencji odbić od dolomitu głównego i od stropu anhydrytu podstawowego o niewielkiej miąższości. Świadczy to o tym, że standardowe analizy amplitudowe, wykonywane bez uwzględnienia zjawiska tuningu, prowadzić będą do błędnych wyników przy ocenie parametrów petrofizycznych dolomitu głównego.

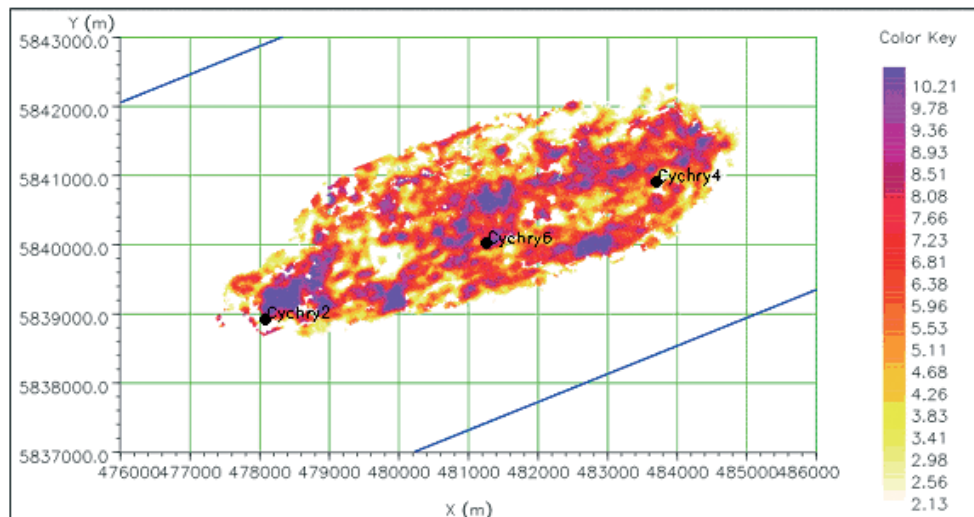


Fig. 18. Filtrowane (filtr f1) amplitudy międzyszczytowe stropu dolomitu głównego ekstrahowane z bloku danych 3D

Fig. 18. Filtered (with f1) pick-to-trough amplitudes of the top of Main Dolomite derived from 3D data

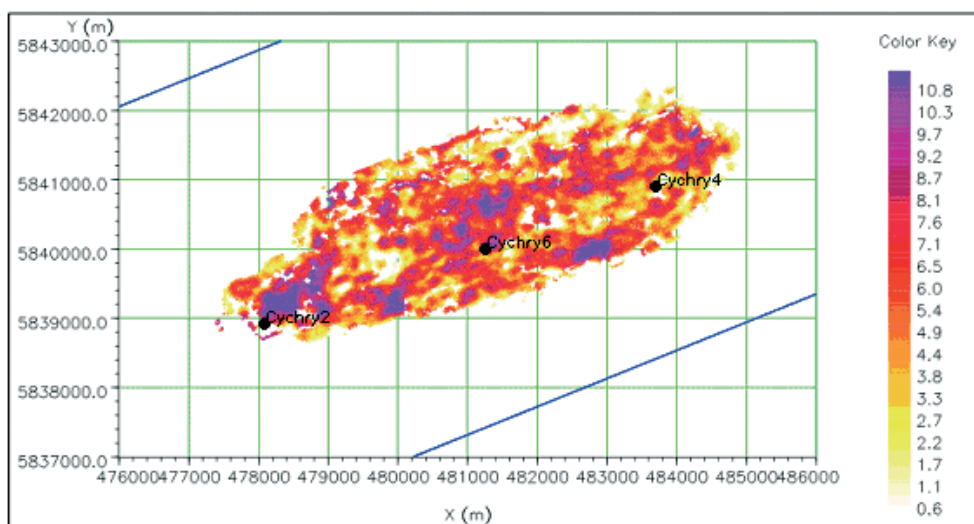


Fig. 19. Filtrowane (filtr f2) amplitudy międzyszczytowe stropu dolomitu głównego ekstrahowane z bloku danych 3D

Fig. 19. Filtered (with f2) pick-to-trough amplitudes of the top of Main Dolomite derived from 3D data

Porównanie map pokazuje również istnienie niewielkiej różnicy pomiędzy mapami obliczonymi dla filtrów f_1 i f_2 (Fig. 18 i 19). Filtr f_1 jest filtrem czysto geometrycznym, natomiast filtr f_2 jest zależny od wprowadzonych (w ramach zdefiniowania parametru a) danych otworowych. Określenie tego parametru w oparciu o większą liczbę otworów stwarza możliwość opracowania filtra f_2 zmiennego horyzontalnie (Marzec 2004), co niewątpliwie przyczyni się do lepszej eliminacji geometrycznego wzmocnienia amplitudy.

Podsumowując przeprowadzone analizy i wykonaną interpretację, należy stwierdzić, że zaproponowana metodyka pozwala na identyfikację stref tuningu i eliminację zjawiska podnoszenia amplitudy refleksu związanego ze stropem dolomitu głównego.

Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, iż w ramach wykonanych badań analizowano jedynie wpływ na wielkość amplitudy dolomitu głównego zjawiska tuningu, wywołanego „cienkim” anhydrytem podstawowym. Na wielkość tej amplitudy może jednak wpływać również zjawisko tuningu spowodowane występowaniem „cienkiej” warstwy dolomitu głównego. Należy zatem, przeprowadzając analizy amplitudowe, zwrócić także uwagę na miąższość dolomitu. W niniejszej pracy nie rozważono tego zagadnienia, ponieważ w obrębie analizowanego profilu miąższość dolomitu przekracza miąższość tuningu (Tab. 1 i 3). Ponadto metodyka analizy wpływu na wielkości amplitud dwóch, położonych blisko siebie cienkich warstw wymaga jeszcze dalszego opracowania.

Przeprowadzone na tym poziomie analizy amplitudowe pozwoliły na jakościowe opisanie własności dolomitu głównego. Dopiero ich korelacja z danymi otworowymi umożliwia pewną ilościową ocenę własności dolomitu. Niestety, jak pokazują rozbieżności w wartościach prędkości i porowatości w przypadku otworów Cychry-4 i Cychry-6, zadanie to wymaga dodatkowych badań otworowych.

PODSUMOWANIE

Celem przeprowadzonych badań była ocena możliwości wykorzystania analiz amplitudowych zapisu sejsmicznego do określenia parametrów zbiornikowych dolomitu głównego. Badania wykonano dla strefy Cychry – Namysłin (blok Gorzowa), wykorzystując do tego celu zdjęcie sejsmiczne Cychry – Namysłin 3D (Geofizyka Toruń Sp z o.o.) oraz wyniki badań geofizyki wiertniczej, zlokalizowanych w tej strefie, otworów.

Analizę zarejestrowanego pola falowego oparto na wnioskach wpływających z wielowariantowych modelowań sejsmicznych, które wykonano dla kolejnych modeli sejsmogeologicznych aproksymujących badany górotwór.

Wykonane modelowania pozwoliły na stwierdzenie, że wielkość amplitudy refleksu odwzorowującego dolomit główny jest zależna nie tylko od parametrów petrofizycznych dolomitu głównego i warstw otaczających (anhydryt podstawowy i anhydryt górny), ale także od miąższości kontaktujących ze sobą warstw. Dla układów cienkowarstwowych (miąższość warstwy = 3 długości fali), co ma miejsce w przypadku anhydrytu podstawowego, amplituda refleksu odwzorowującego dolomit jest sumą amplitudy wynikłej z wartości współczynnika odbicia i ze wzmocnienia amplitudy powstającej na skutek interferencji odbić od dolomitu i stropu anhydrytu podstawowego (zjawisko tuningu).

Przedstawione w pracy i zastosowane filtry umożliwiają eliminację tego zjawiska. Interpretacja teoretycznego zapisu przed filtacją i po filtracji pokazuje jednoznacznie, że ich stosowanie jest niezbędne przy prowadzeniu interpretacji zapisu sejsmicznego z wykorzystaniem analiz amplitudowych.

Autorzy pragną podziękować Panu mgr. inż. Pawłowi Marcowi za pomoc przy opracowaniu filtrów do eliminacji zjawiska tuningu, jak również PGNiG S.A. oraz Geofizyce Toruń Sp. z o.o. za udostępnienie niezbędnych do pracy materiałów geologiczno-geofizycznych.

Praca została wykonana w ramach prac własnych (nr 10.10.140.148) Zakładu Geofizyki Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

LITERATURA

- Bała M., 2001. Analiza wpływu obecności gazu w porach skalnych na prędkość fal sprężystych na przykładzie wybranych horyzontów złoża „R”. *Przeg. Geol.*, 49, 1167–1175.
- Dyjaczyński K., 1998. Mapa paleogeograficzno-facjalna osadów dolomitu głównego. *Arch. BG Geonafta*.
- Hampson-Russell, 2001. *Hampson-Russell – pomoc elektroniczna*. Hampson-Russell, Calgary.
- Landmark, 2003. *GeoGraphix – Pomoc elektroniczna*. Landmark Graphics Corp., Huston.
- Marzec P., 2004. Próba eliminacji wzmocnień amplitudy wywołanych zjawiskiem tuningu z mapy amplitudy refleksu sejsmicznego od stropu piaskowca cenomańskiego w rejonie złoża ropy i gazu Grobla. *Pol. Jour. of Min. Res.*, 8, 161–172.
- Tatarata A., 2004. Możliwości interpretacji zmian litologicznych dolomitu głównego lub wapienia cechsztyńskiego w oparciu o zmiany cech dynamicznych zapisu sejsmicznego. *Archiwum WGGiOŚ AGH* (praca magisterska).
- Widess M.B., 1973. How thin is a thin bed? *Geophysics*, 38, 1176–1180.

Summary

The main objective of this paper was an assessment of possibilities of applying seismic amplitude analyses for petrophysical characterization of Main Dolomite in terms of hydrocarbon exploration. Researches were performed for the 3D seismic survey in Cychry-Namyślin area (NW Poland). Detailed analyses of well logs were done for the beds of interest in order to obtain petrophysical parameters for seismic modelling (Tab. 1).

The analysis of registered wavefield was based on the conclusions derived from multivariant seismic modellings. The first step of research included modellings for the Main Dolomite and Basal Anhydrite wedges (Figs 1, 3, Tabs 2, 4). The results allowed tuning thickness for various models to be determined (Tab. 3) and create Widess diagrams to be determined (Figs 2, 4). Additionally, a complex model presenting Main Dolomite in

various sedimentation zones was created (Figs 5, 6). The obtained synthetic section (Fig. 7) was input data for standard amplitude analyses (Fig. 8). The following step of the research concerned a methodology of using filters for tuning identification (Figs 9–11). Resultant conclusions were applied to the interpretation of the synthetic section (Fig. 12).

Standard analyses (Fig. 14) and analyses including the proposed tuning filtration (Fig. 16) were finally introduced to interpretation of the registered arbitrary line data (Fig. 13) and compared with well log based cross-section (Fig. 15). Moreover, the analyses of tuning effect were performed for the top of Main Dolomite (Figs 17–19).

Tabela (Table) 1

Uśrednione parametry petrofizyczne wybranych warstw dla otworów: Cychry – 2, -4, -6, Namyslin-1, Więclaw-1 i Witnica-1

Averaged petrophysical parameters of beds of interest from Cychry-2, -4, -6, Namyslin-1, Więclaw-1 i Witnica-1 wells

		Cychry-4 – strefa lagunowa <i>lagoon</i>				Cychry-6 – strefa lagunowa <i>lagoon</i>				Cychry-2 – strefa barierowa <i>barrier</i>			
Stratygrafia <i>Stratigraphy</i>		[m]	[%]	[m/s]	[kg/m ³]	[m]	[%]	[m/s]	[kg/m ³]	[m]	[%]	[m/s]	[kg/m ³]
		miąższość <i>thickness</i>	porowatość <i>porosity</i>	prędkość <i>velocity</i>	gęstość <i>density</i>	miąższość <i>thickness</i>	porowatość <i>porosity</i>	prędkość <i>velocity</i>	gęstość <i>density</i>	miąższość <i>thickness</i>	porowatość <i>porosity</i>	prędkość <i>velocity</i>	gęstość <i>density</i>
Na2		271.5	0	4450	2100	267.0	0	4450	2100	226.0	–	4450	2100
A2		21.5	0	5800	2980	30.0	0	5700	2980	104.0		5800	2950
Ca2	I	21	14	5290	2870	8	12	4900	2810	22.5		5350	2870
	II	38	24	4800		38	24	3900	2690				
A1g		141.5	0	5800	2980	> 78.0	0	5800	2980	133.5		5800	2980
		Więclaw-1 – lokalne wyniesienie w strefie głębokowodnej <i>local elevation in deep water environment</i>				Namyslin-1 – lokalne wyniesienie w strefie głębokowodnej <i>local elevation in deep water environment</i>				Witnica-1 – strefa głębokowodna <i>deep water environment</i>			
Stratygrafia <i>Stratigraphy</i>		[m]	[%]	[m/s]	[kg/m ³]	[m]	[%]	[m/s]	[kg/m ³]	[m]	[%]	[m/s]	[kg/m ³]
		miąższość <i>thickness</i>	porowatość <i>porosity</i>	prędkość <i>velocity</i>	gęstość <i>density</i>	miąższość <i>thickness</i>	porowatość <i>porosity</i>	prędkość <i>velocity</i>	gęstość <i>density</i>	miąższość <i>thickness</i>	porowatość <i>porosity</i>	prędkość <i>velocity</i>	gęstość <i>density</i>
Na2		419.5	–	4450	2100	555.0	–	4450	2100	550.5	–	4450	2100
A2		14	1	5800	2980	5.0	0	5750	2980	3.5	0	5800	2900
Ca2	I	42.5	25	4650	2790	3.0	11	5500	2860	11.5	1	5950	2860
	II	40	5	5700	2950								
A1g		55	0	6100	2980	133.5	0	5850	2980	39.5	0	5730	2980