

Robert Bartoń, Andrzej Urbaniec

*Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

## Wykorzystanie pomiarów PPS do uszczegółowienia interpretacji sejsmicznej 3D na przykładzie utworów dolnego paleozoiku

W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania w interpretacji sejsmicznej transformacji PPS-WPG (pionowe profilowanie sejsmiczne – wspólny punkt głębokościowy) obliczonych dla fal podłużnych PP offsetowych punktów wzbudzenia. Przedmiotem interpretacji był kompleks utworów dolnego paleozoiku (kambr–sylur) o całkowitej miąższości przekraczającej 2400 m. Pod względem litologicznym kompleks ten zdominowany jest przez utwory silikoklastyczne, z nielicznymi wkładkami skał węglanowych. Do porównania obrazu sejsmicznego uzyskanego na zdjęciu sejsmicznym 3D i transformacjach PPS-WPG dla otworu W-1 – przeprowadzono analizę opartą na wybranych atrybutach sejsmicznych. W ramach artykułu omówiono następujące atrybuty: amplituda średnia kwadratowa, pierwsza pochodna, cosinus fazy, komponent jednakowych częstotliwości, chwilowa szerokość pasmowa, objętość, względna impedancja akustyczna. Zastosowanie transformacji pomiarów PPS pozwoliło na uzyskanie zdecydowanie większej rozdzielczości pionowej obrazu, jak również uwidoczniło wyraźne zróżnicowanie litologiczne niektórych formacji. Natomiast interpretacja, przeprowadzona w oparciu o wybrane atrybuty sejsmiczne, umożliwiła szczegółowe rozpoznanie litofacjalne analizowanych utworów dolnego paleozoiku, jak też udokumentowanie sejsmiczne elementów takich jak np. płaszczyzny dyslokacji oraz dodatkowe horyzonty o większej zawartości węglanów.

Słowa kluczowe: pomiary PPS, transformacja PPS-WPG, atrybuty sejsmiczne, utwory dolnego paleozoiku, litostratygrafia.

### Application of PPS measurements to refine the 3D seismic interpretation based on the Lower Paleozoic strata example

This article presents the possibilities of using in the seismic interpretation process VSP-CDP transformation (the vertical seismic profiling–common depth point) calculated for longitudinal waves of VSP offset shot points for seismic interpretation. The Lower Palaeozoic (Cambrian-Silurian) complex was a main aim of interpretation. The total thickness of this complex is over 2400 m. The analyzed Lower Palaeozoic complex is dominated by silicoclastic sediments with a few carbonate rock layers. The analysis, based on selected seismic attributes, was performed to compare the seismic image obtained in the 3D seismic and the VSP-CDP transformations for the W-1 well. The article discusses the analysis of following attributes: RMS Amplitude, First derivative, Cosine of phase, Iso-frequency component, Instantaneous bandwidth, Envelope, Relative acoustic impedance. The application of the VSP-CDP transformation allowed to obtain much higher vertical resolution of the image, as well as clearly visible lithological variation of some formations. On the other hand, the interpretation, based on selected seismic attributes, enabled a detailed lithofacial recognition of the analyzed Lower Paleozoic deposits as well as seismic documentation of elements such as dislocations and additional new horizons with a higher carbonate content.

Key words: VSP, VSP-CDP transformation, seismic attributes, Lower Paleozoic strata, lithostratigraphy.

### Wstęp

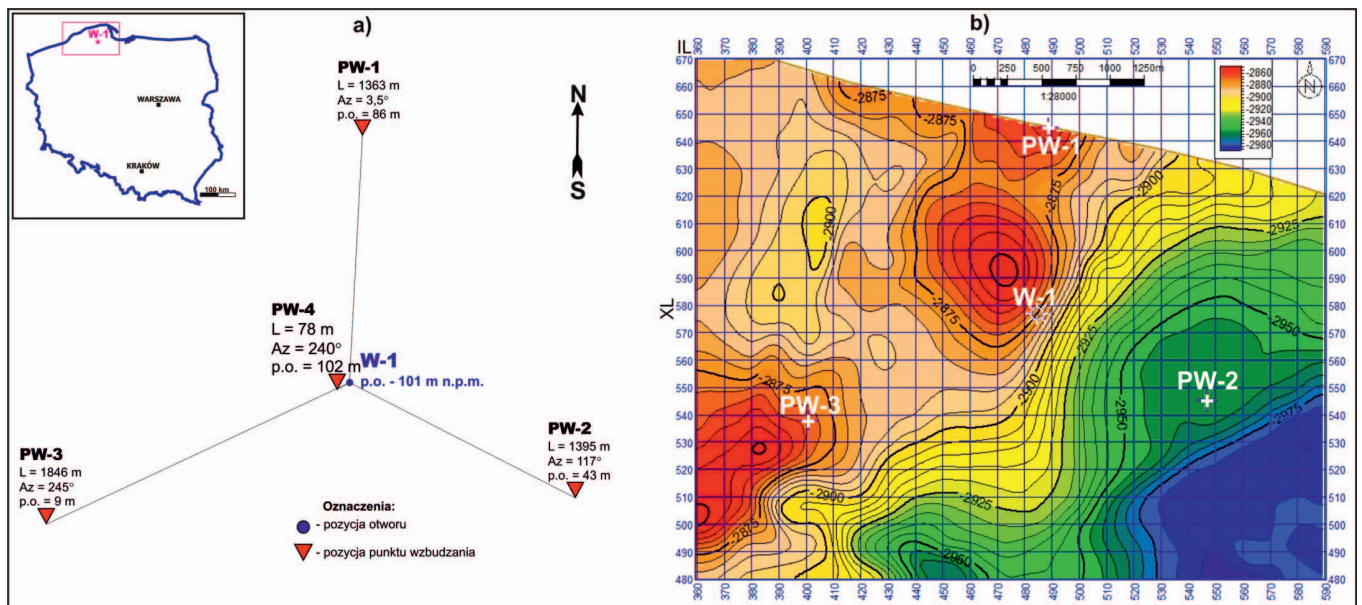
Otworowe pomiary pionowego profilowania sejsmicznego PPS wykonywane są zazwyczaj w celu dowiązania danych otworowych do danych sejsmicznych oraz możliwie dokładnego rozpoznania ośrodka geologicznego w strefie okołotworo-

wej. Użycie technologii pomiarów PPS 3C w opcji wieloazy-mutalnej stanowi unikalną możliwość identyfikacji kierunkowej zmienności parametrów ośrodka geologicznego oraz dokładniejszego określenia przebiegu potencjalnych stref dyslokacyjnych.

We wcześniej opublikowanych pracach zaprezentowano możliwości identyfikacji rozmieszczenia szczelin wokół otworu wraz z określeniem stopnia intensywności zeszczelinowania na podstawie pomiarów PPS [4], jak również wyznaczenia rozkładu parametrów złożowych w sąsiedztwie odwiertu [3]. W ramach niniejszego artykułu przedstawiono natomiast zagrożenie możliwości uszczegółowienia interpretacji seismicznej w oparciu o wyniki azymutalnych pomiarów PPS 3C, jak również stopnia odwzorowania na transformacjach PPS-WPG szczegółów związanych z budową geologiczną i zmianami litofacjalnymi analizowanych serii skalnych. Przedmiotem interpretacji był kompleks utworów dolnego paleozoiku o miąż-

szości przekraczającej 2400 m, który litologicznie zdominowany jest przez utwory silikoklastyczne. Obszar badań zlokalizowany jest w północnej Polsce (rysunek 1).

Analizy pomiarów PPS mogą mieć duże znaczenie również w innych dziedzinach badań. Mogą one być pomocne w poprawnym rozpoznaniu właściwości geomechanicznych ośrodka skalnego [8] oraz w rozpoznaniu anizotropii rozkładu parametrów w obrębie poszczególnych kompleksów skalnych [40]. Właściwa identyfikacja kierunków szczelinowości oraz parametrów złożowych jest bardzo istotna – zarówno pod kątem poszukiwania, jak i eksploatacji złóż węglowodorów.



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań: a) geometria rozmieszczenia punktów wzbudzenia PPS 3C względem otworu W-1, b) mapa strukturalna stropu utworów ordowiku z lokalizacją punktów wzbudzenia PPS 3C

### Zarys budowy geologicznej i litostratygrafii utworów dolnego paleozoiku

Pod względem geologicznym teren badań usytuowany jest na obszarze syneklizy perybałtyckiej. Interpretacją objęto miąższy kompleks utworów dolnego paleozoiku (od kambru po sylur). Utwory te deponowane były w basenie bałtyckim [9], nazywanym na terenie Polski basenem bałtycko-podlasko-lubelskim [20, 32], który rozciągał się wzdłuż zachodniego skłonu kratonu wschodnioeuropejskiego.







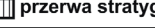
Analizowany rejon w swej neoproterozoiczno-wczesnopaleozoicznej historii związany był z marginalną, południowo-zachodnią częścią paleokontynentu Baltiki [27, 35, 37]. W pierwszym okresie, trwającym od późnego neoproterozoiku po wczesny kambr, miał miejsce rozwój systemu ryftowego, prowadzącego do rozpadu prekambryjskiego superkontynentu [10, 33, 37]. Kolejny etap rozwoju basenów sedymentacyjnych, zaczynający się od kambru i trwający po środkowy ordowik, związany jest z postryftową subsyducją ter-

miczną, zachodzącą wzdłuż pasywnego brzegu kontynentalnego Baltiki [36]. Natomiast na okres od późnego ordowiku do końca syluru przypada etap rozwoju zapadliska przedgórskiego. W tym okresie następuje również stopniowy wzrost tempa subsyduencji, którego maksimum przypada na późny sylur, a dokładniej w ludlowie i przydolu [37].

Najstarszą formacją osadową w analizowanym rejonie jest zalegająca bezpośrednio na podłożu krystalicznym formacja smółdzińska (zwyczajowo nazywana żarnowiecką), datowana na **najwyższy ediakar – najniższy kambr** [6, 18, 19, 38] (rysunek 2), reprezentowana głównie przez piaskowce o zróżnicowanym stopniu uziarnienia, powstałe w warunkach kontynentalnych [12, 13]. Wyżej, w profilu **kambru dolnego i środkowego**, występuje dosyć monotonna seria osadów klastycznych, w obrębie których wyróżnianych jest szereg formacji litostratigraficznych, takich jak: klukoska, łebska, sarbska, dębkowska,

CHRONOSTRATYGRAFIA			LITOSTRATYGRAFIA
Podział standardowy: system, oddział, piętro		Podział lokalny	
SYLUR	przydol		fm. z Pucka
	ludlow	ludford	ogniwo Redy
		gorst	fm. z Kociewia
	wenlok	homer	fm. z Pelplina
sheinwood			
landower	telych	fm. z Pasłęka	
	aeron	ogniwo z Jantaru	
ORDOWIK	górnny	hirnant	fm. z Prabut
		kat	fm. z Sasina
sandb			
środkowy	darriwil	lanwirn	fm. z Kopalina
	daping	arenig	fm. ze Słuchowa
dolny	flo	tremadok	fm. z Piasnicy
KAMBR	furong	piętro 10	fm. słowińska
		dzijangszang	fm. białogórska
		paib	fm. debkowska
	oddział 3	gużang	fm. sarbska
		drum	fm. lebska
	oddział 2	piętro 4	fm. ktukoska
		piętro 3	fm. smoldzińska (żarnowiecka)
	terreneu	piętro 2	
		fortun	

**Dominująca litologia:**

 piaskowce	 iłowce i mułowce o wysokiej zaw. TOC
 mułowce i pyłowce	 margle i iłowce margliste
 iłowce i mułowce	 wapienie
	 przerwa stratygraficzna

Rys. 2. Litostratygrafia utworów dolnego paleozoiku w zachodniej części obniżenia bałtyckiego (według Modlińskiego i Podhalańskiej [22]; Podhalańskiej i in. [32], częściowo zmienione)

osiecka i białogórska [6] (rysunek 2), stanowiących zapis geologiczny stopniowo postępującej transgresji morskiej. Utwory wszystkich wymienionych wyżej formacji rozpoznane zostały w otworze Darżlubie IG-1 [21], natomiast w analizowanym otworze W-1 nawiercono jedynie stropową partię utworów kambru środkowego o miąższości 70 m.

W obrębie profilu utworów **kambru górnego** wyróżniane są dwie formacje, tj. słowińska i piasnicka [6] (rysunek 2). Szczególnie interesująca jest formacja z Piasnicy, wykształcona w postaci pakietu czarnych iłowców bitumicznych o wysokiej zawartości materii organicznej, z wkładkami wapieni. Formacja ta stanowi bowiem najstarszy pakiet skał macierzystych w obrębie basenu bałtyckiego [32, 34, 43]. Wiek formacji z Piasnicy szacowany jest na furong, a lokalnie także na wczesny tremadok [22]. Utwory kambru górnego (o miąższości 11 m), przewiercone w analizowanym otworze W-1, należą właśnie do tej formacji.

W obrębie profilu utworów **ordowiku** wyróżniane są generalnie cztery formacje, różniące się wykształceniem litologicznym (rysunek 2). Utwory te posiadają dosyć dobrą dokumentację biostratygraficzną, opartą głównie na oznaczeniach

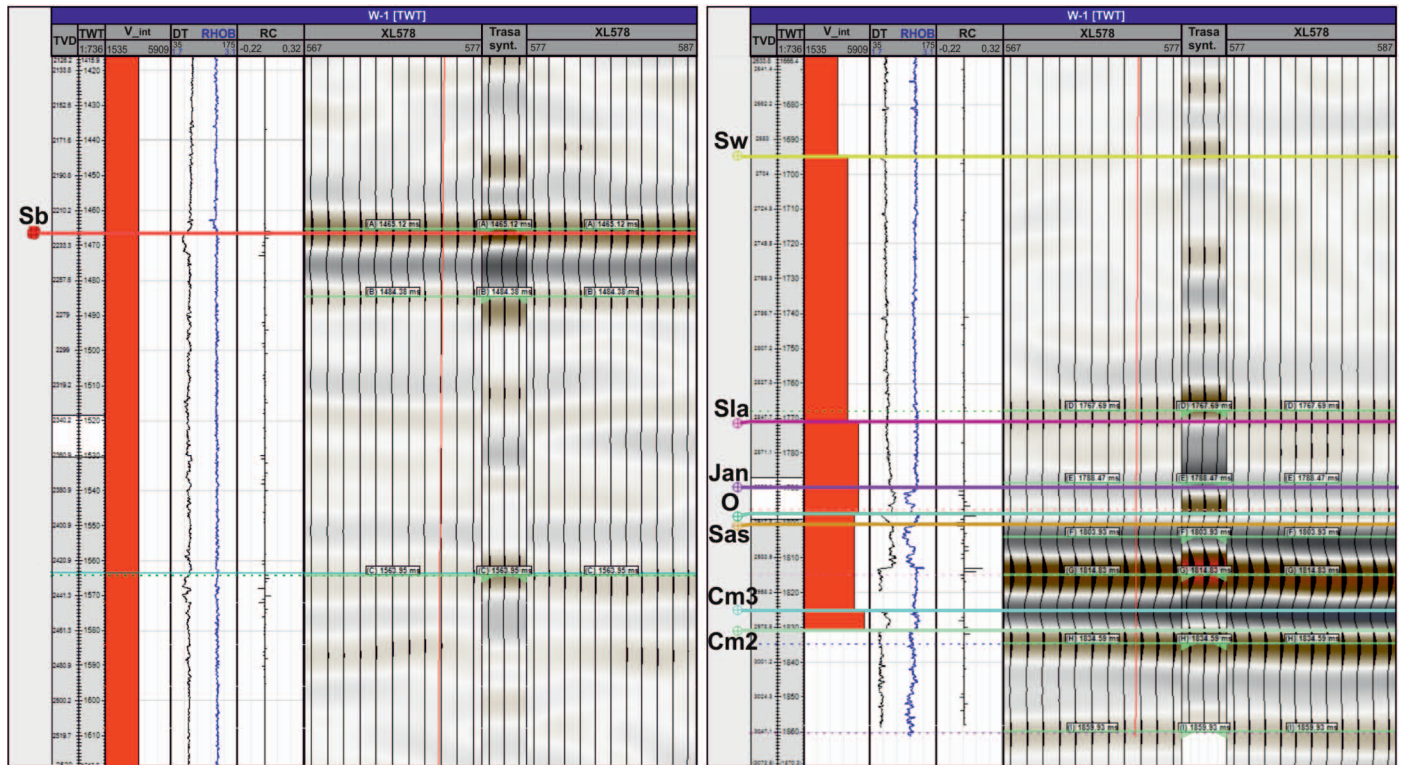
fauny graptolitowej [23, 29, 31]. Wśród najstarszej formacji ze Słuchowa dominują utwory drobnoklastyczne, są to głównie iłowce z glaukonitem. Wyżej w profilu występuje charakterystyczny kompleks skał węglanowych (wapieni i wapieni marglistych) zaliczanych do formacji z Kopalina oraz seria iłowców i mułowców silnie wzbogaconych w substancję organiczną, z niewielkimi przewarstwieniami skał węglanowych i piroklastycznych, należąca do formacji z Sasina. Wkładki i laminy tufitów oraz bentonitów mają miąższość do 2 cm. W związku ze wspomnianą podwyższoną zawartością materii organicznej [14, 39] formacja z Sasina stanowi kolejny pakiet skał macierzystych dla węglowodorów. Profil ordowiku kończą utwory formacji z Prabut, reprezentowanej przez serię iłowców marglistych oraz margli, której zasięg stratygraficzny obejmuje górny kat i hirnant [22]. W analizowanym otworze W-1 sumaryczna miąższość utworów ordowiku wynosi 63 m.

Sekwencja osadowa **syluru** w strefie basenu bałtyckiego obejmuje kompleks osadów silikoklastycznych o znacznej miąższości, która w analizowanym otworze (W-1) wynosi 1844 m. Profil syluru rozpoczynają utwory formacji z Pasłęka, którą budują szare lub zielonkawe mułowce i iłowce, zawierające liczną faunę graptolitową [11, 30]. Rzadziej w obrębie formacji spotykane są wkładki iłowców wapnistych lub margli, jak również laminy bentonitów [24]. W dolnej części formacji wyróżniane jest charakterystyczne ogniwo iłowców bitumicznych z Jantaru (rysunek 2), wykształcone w postaci czarnych łupków mułowcowych o wysokiej zawartości TOC [14, 15, 43], będących jednocześnie jednym z najbardziej perspektywicznych horyzontów pod kątem akumulacji węglowodorów o charakterze niekonwencjonalnym (typu *shale gas*). W zachodniej części obniżenia bałtyckiego utwory wspomnianej jednostki występują w ciągłości sedymentacyjnej z utworami formacji z Prabut górnego ordowiku bądź też stwierdzana jest tutaj niewielka luka stratygraficzna [24, 29]. Zasięg stratygraficzny formacji z Pasłęka w analizowanym rejonie obejmuje różne poziomy biostratygraficzne landoweru [32 – wraz z literaturą]. W wyższej części profilu utworów syluru występuje seria ciemnoszarych iłowców z wkładkami i soczewkami wapieni marglistych, wyróżniana jako formacja iłowców z Pelplina [24]. Stropowa granica formacji jest silnie diachroniczna i może przebiegać w obrębie różnych pięter wenloku i ludlowu, tj. od sheinwoodu po ludford [22, 32] (rysunek 2). Kolejną jednostką litostratygraficzną syluru jest formacja z Kociewia, reprezentowana przez serię wzajemnie przeławiających się szarych iłowców, mułowców wapnistych z licznymi blaszkami muskowitu oraz pyłowców. Wiek formacji może być bardzo zróżnicowany i w zależności od zasięgu może sięgać od wczesnego wenloku po późny ludlow [22, 24] (rysunek 2). W obrębie formacji z Kociewia występuje charakterystyczne ogniwo Redy, zbudowane z mułowców

wapnistrych i wapieni, wyraźnie wyodrębniające się zarówno na profilowaniach geofizyki otworowej, jak również na sejsmice. Poziom ten ma przypuszczalnie charakter izochroniczny, usytuowany w obrębie ludfordu [24]. Formacja iłowców i iłowców wapnistrych z Pucka stanowi najmłodsze wydzielenie litostratygraficzne w obrębie profilu syluru. W górnej części tej formacji wśród iłowców wapnistrych występują liczne wkładki i soczewki wapieni marglistych i margli. Licznie spotykane zespoły graptolitów w niższej części formacji,

jak również zespoły małzorczków w jej części wyższej datują wiek formacji z Pucka na przedział czasowy od najwyższego ludlowu (późny ludford) po najwyższy przydół [24, 25, 41]. Jednostka ta kończy sedimentację syluru.

Wszystkie wymienione ogniwa litostratygraficzne syluru zostały przewiercone i rozpoznane w profilu analizowanego otworu W-1. Dowiązanie wybranych interpretowanych horyzontów sejsmicznych do danych otworowych przedstawiono na rysunku 3.



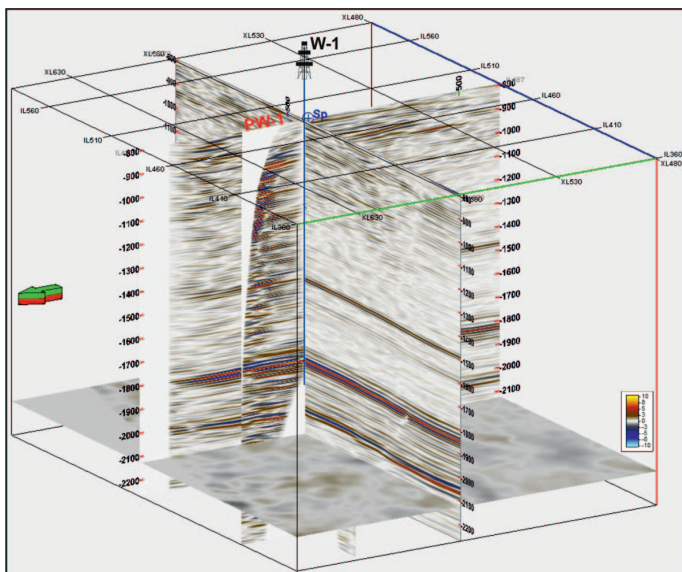
Rys. 3. Dowiązanie danych otworowych do danych sejsmicznych na podstawie sejsmogramu syntetycznego. Wydzielenia stratygraficzne w otworze W-1: Sb – strop poziomu węglanowego w sylurze (ogniwa Redy), Sw – strop wenloku, Sla – strop landoweru, Jan – strop ogniwa z Jantaru, O – strop ordowiku, Sas – strop formacji z Sasina, Cm3 – strop kambru górnego, Cm2 – strop kambru środkowego

### Metodyka badań

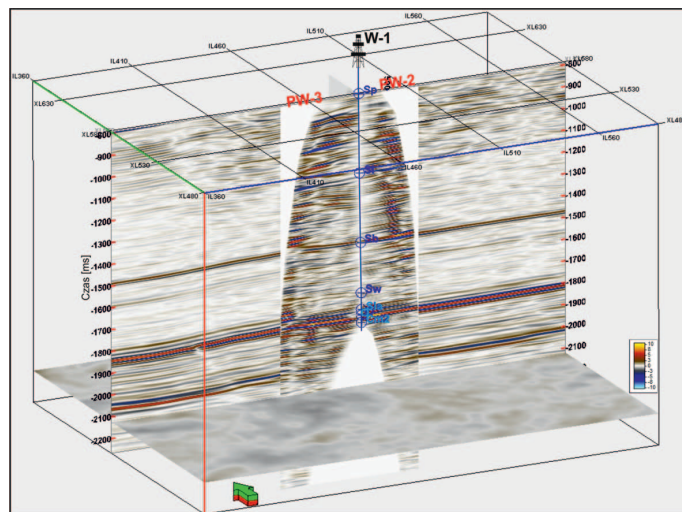
Uszczegółowienie interpretacji sejsmicznej zaprezentowane w niniejszej publikacji było realizowane na podstawie badań sejsmicznych, sejsmiki powierzchniowej 3D oraz pomiarów PPS 3C, zlokalizowanych w północnym obszarze Polski (rysunek 1). Wykorzystano dane sejsmiczne w postaci fragmentu zdjęcia 3D (profile XL578 i IL484 – rysunkach 4 i 5), które zostało przetworzone i zinterpretowane przez Geofizykę Toruń S.A. Podstawę niniejszego artykułu stanowiła analiza wieloazymutalnych pomiarów pionowego profilowania sejsmicznego PPS 3C wykonanego w otworze W-1, zlokalizowanym w NE części wspomnianego zdjęcia sejsmicznego 3D. Źródłem wzbudzenia PPS był wibrator MARK III, o zakresie częstotliwości *sweeps* 8÷100 Hz. W analizowanym otworze W-1 wykonano cztery po-

miary PPS 3C (rysunek 1): PW-1, PW-2 i PW-3 (punkty wzbudzenia offsetowe, mierzone w przedziale 45÷3045 m, interwał pomiarowy 15 m) oraz PW-4 (punkt wzbudzenia zerooffsetowy, mierzony w przedziale 15÷3045 m, interwał pomiarowy 15 m).

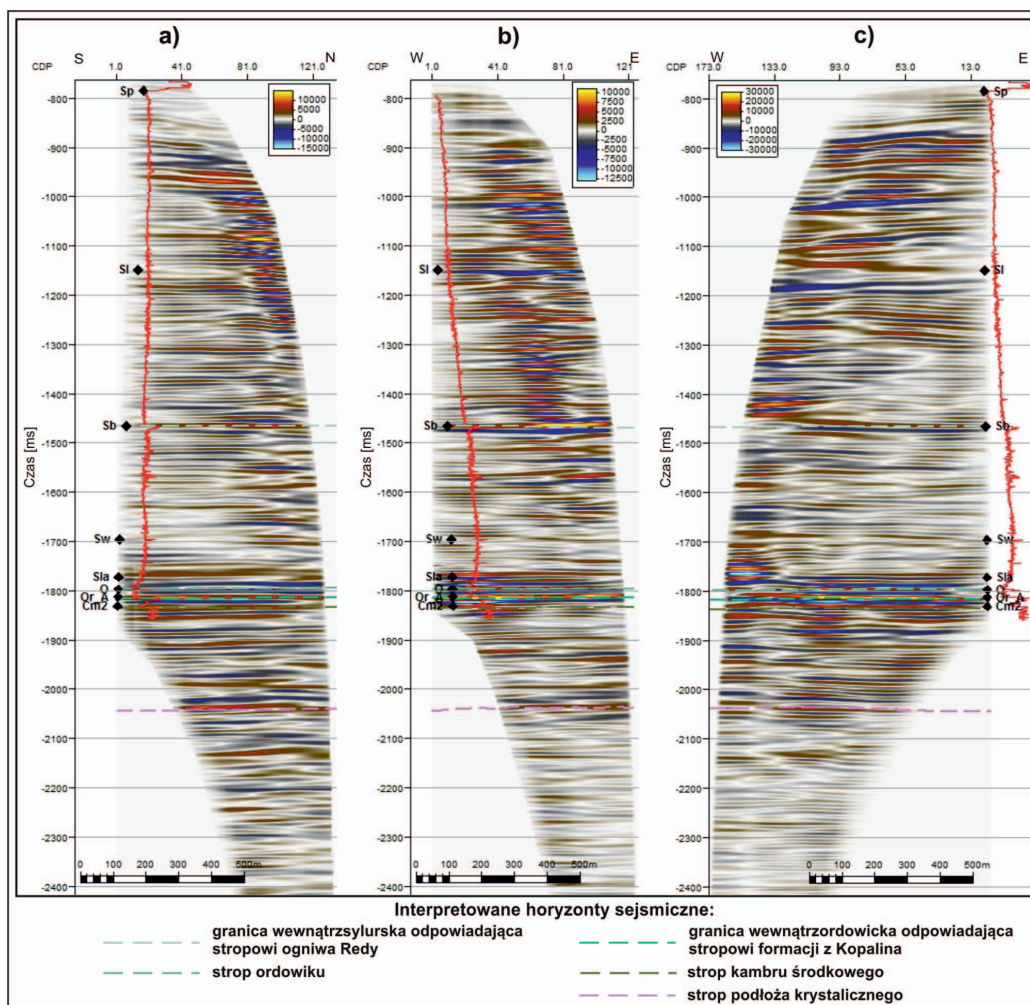
Przetwarzanie pomiarów PPS 3C wykonywane było w Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym przy użyciu oprogramowania UNIVERS firmy Geovers Ltd. Moskwa. Podstawowe informacje na temat przetwarzania PPS 3C przedstawiono we wcześniejszych publikacjach [3–5]. Do analizy utworów dolnego paleozoiku, przedstawionej w ramach niniejszego artykułu, wykorzystano transformacje PPS-WPG obliczone dla fal podłużnych PP offsetowych punktów wzbudzenia PW-1, PW-2 i PW-3 (rysunki 4–6).



Rys. 4. Przestrzenna wizualizacja analizowanych profili sejsmicznych w zestawieniu z transformacją PPS-WPG dla offsetowego punktu wzbudzenia PW-1



Rysunek 5. Przestrzenna wizualizacja analizowanych profili sejsmicznych w zestawieniu z transformacjami PPS-WPG dla offsetowych punktów wzbudzenia PW-3 i PW-2. Wydzielenia stratygraficzne w otworze W-1: Sp – strop syluru (przydolu), Sl – strop ludlowu, Sb – strop poziomu węglanowego w sylurze (ogniwa Redy), Sw – strop wenloku, Sla – strop landoweru, O – strop ordowiku, Cm2 – strop kambru środkowego

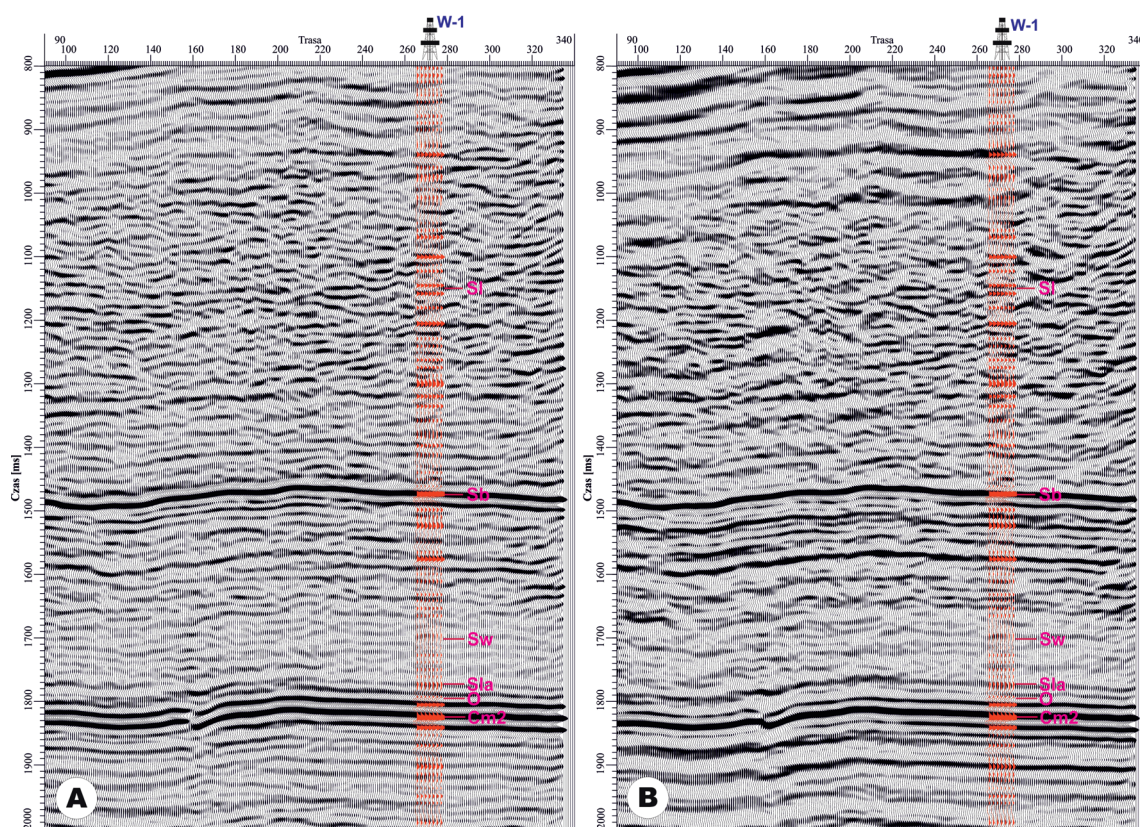


Rys. 6. Zestawienie obliczonych transformacji PPS-WPG dla punktów wzbudzenia: a) PW-1, b) PW-2, c) PW-3 z dopasowaniem profilowania akustycznego. Wydzielenia stratygraficzne w otworze W-1: Sp – strop syluru (przydolu), Sl – strop ludlowu, Sb – strop poziomu węglanowego w sylurze (ogniwa Redy), Sw – strop wenloku, Sla – strop landoweru, O – strop ordowiku, Or\_A – strop poziomu węglanowego (fm. z Kopalina), Cm2 – strop kambru środkowego

We wstępnym etapie opracowania wykorzystano interpretację wybranych horyzontów sejsmicznych, wykonaną przez Geofizykę Toruń S.A. na zdjęciu sejsmicznym 3D, a następnie interpretację tę częściowo zweryfikowano i przekorelowano na transformacje PPS-WPG (rysunek 6). Zastosowanie przetworzonych w Zakładzie Sejsmiki INiG – PIB pomiarów PPS, ze względu na ich większą rozdzielczość, pozwoliło na zweryfikowanie interpretacji wykonanej na bazie sejsmiki 3D [5]. Reinterpretacja wykonana w INiG – PIB realizowana była za pomocą oprogramowania Petrel firmy Schlumberger. Obliczone na podstawie wspomnianej wyżej reinterpretacji mapy głębokościowe stropu ordowiku i stropu kam-

bru środkowego, wraz z modelem prędkości uwzględniającym wyniki analiz pomiarów PPS, zaprezentowane zostały we wcześniejszych artykułach [2, 6].

Dodatkową zaletą pomiarów PPS jest możliwość ich wykorzystania do poszerzenia widma częstotliwościowego standardowej sekcji sejsmicznej w oparciu o dekonwolucję typu *shape filter*, która umożliwia uzyskanie większej rozdzielczości pionowej, a w mniejszym stopniu także rozdzielczości poziomej (rysunek 7). W wyniku zastosowania tej procedury uzyskujemy bardziej precyzyjną korelację pomiędzy profilowaniami geofizyki otworowej a sekcją sejsmiczną, która w lepszym stopniu odwzorowuje zmienność litologiczną w profilu otworu.



Rys. 7. Porównanie fragmentu sekcji sejsmicznej z dopasowaniem trasy sumarycznej PPS (kolor czerwony): A – wersja standardowa, B – wersja po zaaplikowaniu procedury dekonwolucji typu *shape filter* wykorzystującej spektrum częstotliwościowe pomiarów PPS

### Analiza atrybutów sejsmicznych

Do porównania obrazu sejsmicznego uzyskanego na zdjęciu sejsmicznym 3D i transformacjach PPS-WPG dla otworu W-1 – przeprowadzono szczegółową analizę uzyskanych obrazów w wersjach wybranych atrybutów sejsmicznych. W ramach niniejszego artykułu omówionych poniżej zostało jedynie kilka najbardziej interesujących atrybutów. Na rysunkach 8–15 zestawiono fragment trasy sejsmicznej XL578 z wkomponowanymi transformacjami PPS-WPG dla dwóch punktów wzbudzenia, tj. PW-3 i PW-2. Podobne wyniki uży-

skano dla punktu PW-1, jednak ze względu na ograniczoną objętość artykułu nie zostały one zaprezentowane.

#### *Amplituda średnia kwadratowa (RMS Amplitude)*

*RMS Amplitude* jest jednym z podstawowych atrybutów, który przekazuje informację o wielkości energii w danych sejsmicznych i wykorzystywany jest do różnych celów, w tym zwłaszcza do identyfikacji zmian litologicznych, detekcji stref nasycen węglowodorami, ale także do identyfikacji

dyslokacji [7] czy też stref o zwiększonej porowatości [1]. W analizowanym przypadku atrybut *RMS Amplitude* wykazał trzy horyzonty sejsmiczne o wyraźnie podwyższonych wartościach amplitudy. Najniższy z nich (oznaczony cyfrą 1 na rysunku 8) występuje w spągowej partii fm. smółdzińskiej i związany jest z kontrastem litologicznym pomiędzy podłożem krystalicznym, zbudowanym z granitoidów i migmatytów (na podstawie danych z otworu Darżlubie IG-1), a kompleksem skał osadowych najwyższego ediakaru i terrenewu. Dwa wyższe horyzonty o podwyższonych wartościach amplitudy odpowiadają kompleksom wapieni, tj. formacji z Kopalina (horyzont nr 2 na rysunku 8) oraz ogniwu Redy (horyzont nr 3 na rysunku 8).

Analiza obrazu na transformacjach PPS-WPG pozwala stwierdzić, że zwłaszcza pakiet refleksów odpowiadający formacji z Kopalina nie jest tak jednorodny, jak wskazuje to obraz sejsmiczny. Zmienność zapisu, wyraźnie widoczna w wariancie omawianego atrybutu dla pomiaru PPS, dostrzegalna zarówno w profilu pionowym, jak i lateralnie, przypuszczalnie związana jest ze zmienną zawartością minerałów węglanowych w obrębie formacji.

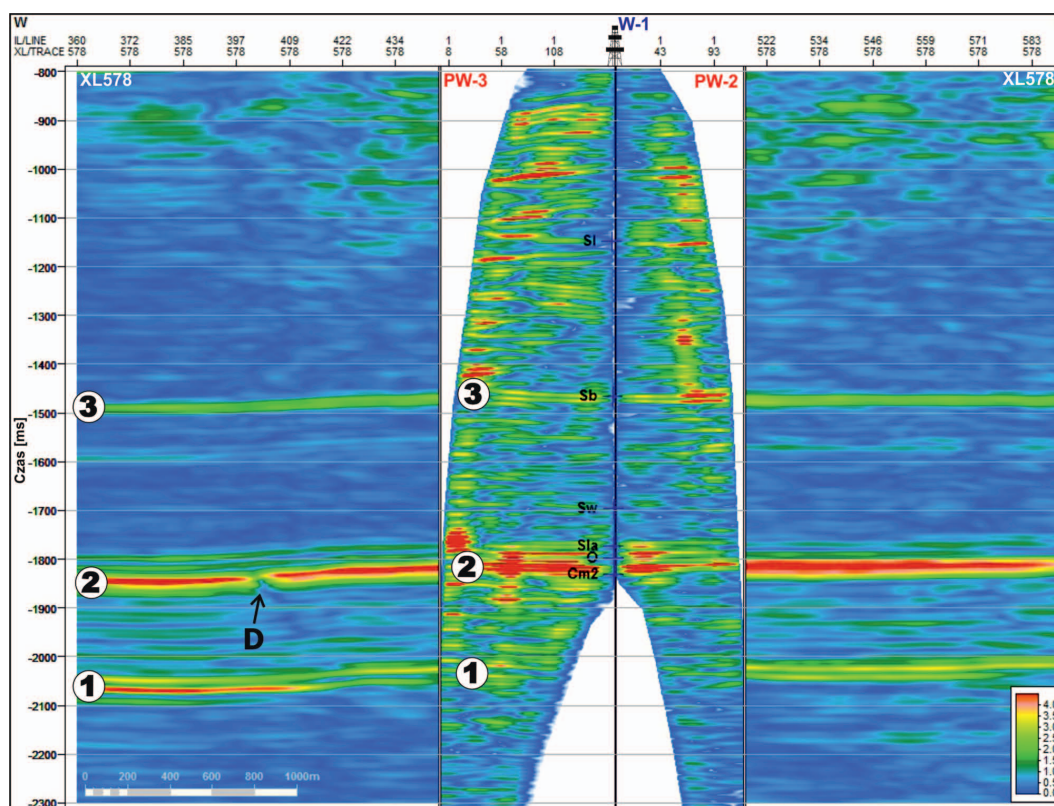
Warto także zauważyć, że w zachodniej części analizowanego profilu sejsmicznego w obrębie formacji z Kopalina za-

znacza się wyraźna nieciągłość, związana najprawdopodobniej z obecnością płaszczyzny dyslokacji (oznaczona literą D na rysunku 8).

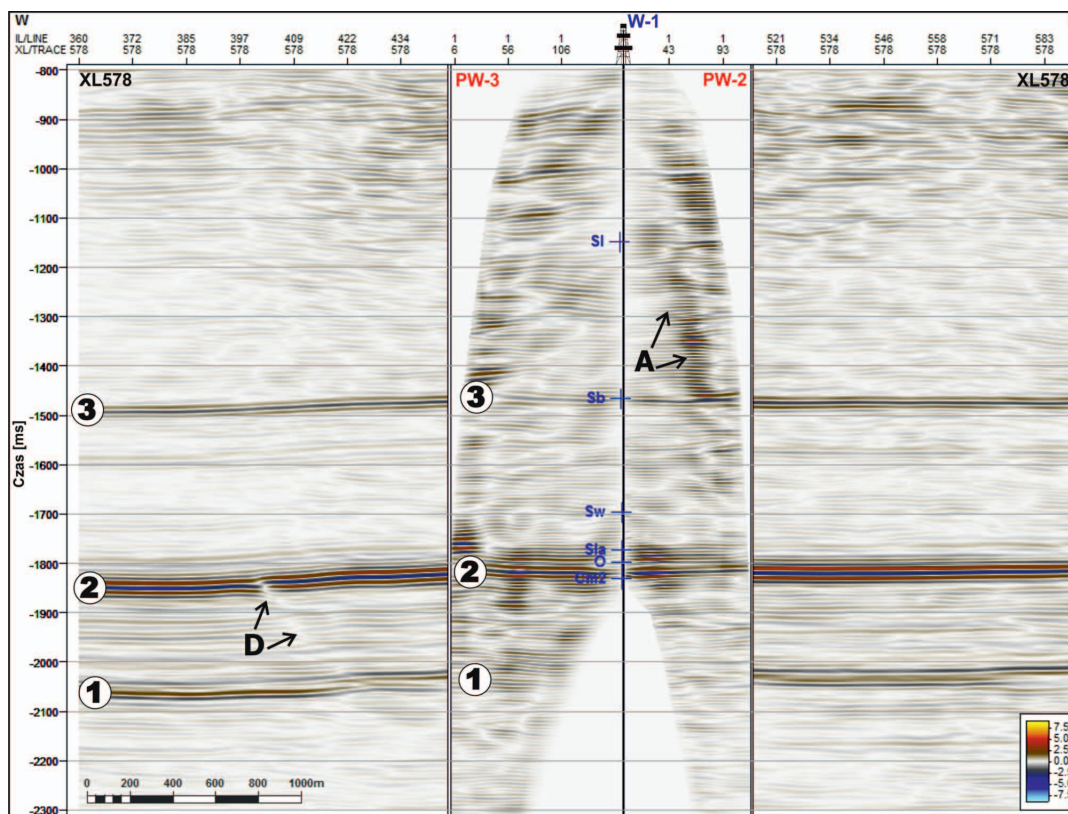
### *Pierwsza pochodna (First derivative)*

Atrybut ten najbardziej użyteczny jest w analizach stratygraficznych, jak również w interpretacjach litologii i zmian facyjnych. Może być także stosowany do analizy cienkowarstwowych złóż węglowodorów, na ogół trudnych do interpretacji, gdyż atrybut ten daje większą ciągłość i ostrość refleksów sejsmicznych, co przekłada się na lepszą korelację amplitudy z litologią [44, 45].

W analizowanym przykładzie obraz atrybutu *First derivative* podobny jest do standardowego odtworzenia sejsmiki (rysunek 5), jednak cechuje się on znacznie większą dynamiką, podkreślając zarazem stopień ciągłości refleksów. Podobnie jak w przypadku *RMS Amplitude* – w obrazie wyeksponowane zostały refleksy związane z poziomami węglanowymi oraz przejściem z podłoża krystalicznego do serii skał osadowych (rysunek 9). Na profilu sejsmicznym jednoznacznie zaznacza się również wspomniana wyżej nieciągłość (oznaczona literą D), która wyraźnie kontynuuje się także poniżej formacji z Kopalina, przez cały profil utworów ordowiku



Rys. 8. Zestawienie profilu sejsmicznego XL578 z transformacjami PPS-WPG dla PW-3 i PW-2 – odtworzenie w wersji atrybutu *RMS Amplitude*; 1 – kontakt podłoża krystalicznego z kompleksem skał osadowych najwyższego ediakaru i kambru, 2 – formacja wapieni z Kopalina, 3 – ogniwo Redy, D – nieciągłość wynikająca z obecności płaszczyzny dyslokacji, SI – strop ludlowu, Sb – strop poziomu węglanowego w sylurze (ogniwa Redy), Sw – strop wenlocku, Sla – strop landoweru, O – strop ordowiku, Cm2 – strop kambru środkowego



Rys. 9. Zestawienie profilu sejsmicznego XL578 z transformacjami PPS-WPG dla PW-3 i PW-2 – odtworzenie w wersji atrybutu *First derivative*; A – strefa o zmiennej dynamice zapisu, pozostałe objaśnienia jak na rysunku 8

i kambru (rysunek 9). Ponadto wyróżnić można partie profilu o różnym stopniu ciągłości refleksów: pakiet o dużej ciągłości refleksów pomiędzy horyzontami nr 1 i 2 (utwory kambru i ordowiku), strefa o pośrednim stopniu ciągłości refleksów pomiędzy horyzontami nr 2 i 3, a także pakiet nieciągłych refleksów o lokalnie dosyć zmiennych upadach, obejmujący najwyższą część profilu syluru, powyżej ogniwa Redy (tj. horyzontu nr 3). Uwagę zwraca większa rozdzielczość obrazu uzyskanego w wyniku pomiarów PPS oraz strefa o zróżnicowanej dynamice zapisu zaznaczająca się na transformacji PW-2, oznaczona literą A (rysunek 9).

**Cosinus fazy (Cosine of phase)**

Cosinus fazy przedstawia zmiany fazy sygnału sejsmicznego, w związku z tym akcentuje on wszelkiego rodzaju nieciągłości strukturalne, takie jak uskoki czy wyklinowania warstw. Jest także bardzo pomocny przy śledzeniu refleksów o słabej dynamice zapisu [17].

W przypadku utworów dolnego paleozoiku analiza obrazu sejsmicznego w wersji omawianego atrybutu potwierdziła i dodatkowo udokumentowała wnioski przedstawione powyżej. Przede wszystkim doskonale widoczny jest wspomniany podział całego kompleksu na trzy partie o różnym stopniu ciągłości refleksów, a także obecność dyslokacji w zachodniej części profilu (rysunek 10).

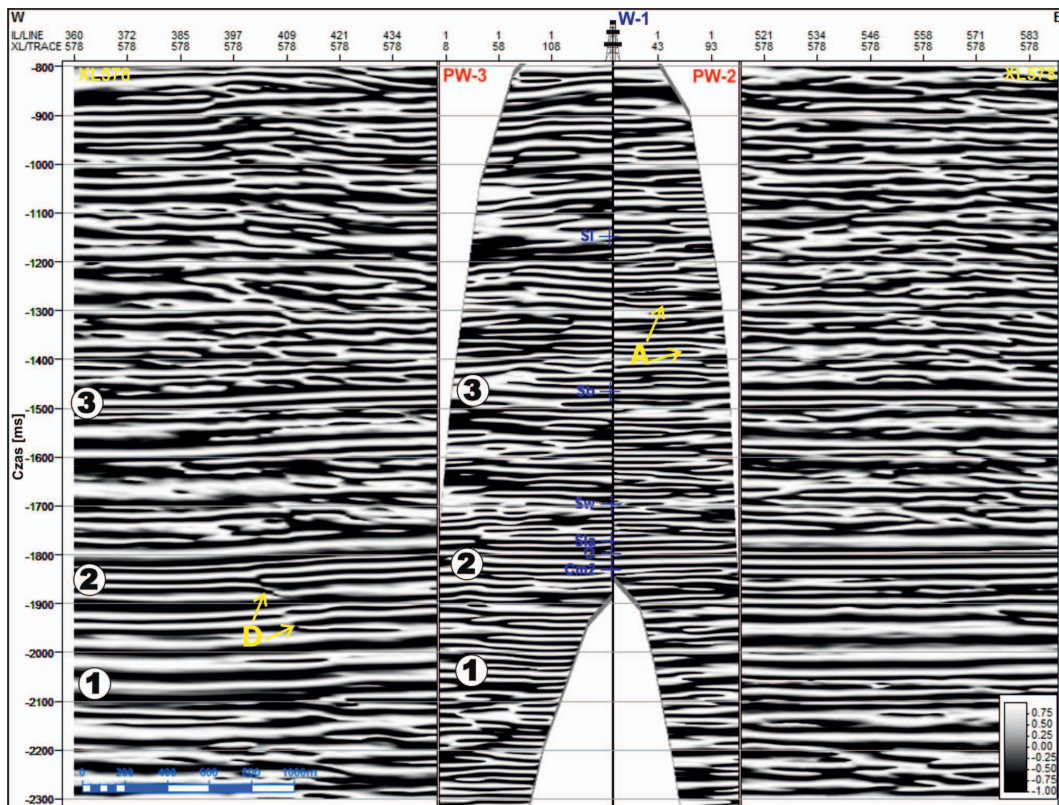
**Komponent jednakowych częstotliwości (Iso-frequency component)**

Atrybut *Iso-frequency component* używany jest do detekcji nawet subtelnych różnic w wykształceniu litologicznym, które niekiedy mogą wskazywać pułapki stratygraficzne dla akumulacji węglowodorów [1]. Atrybut ten pozwala również w dobrym stopniu śledzić zmiany w miąższościach warstw skalnych.

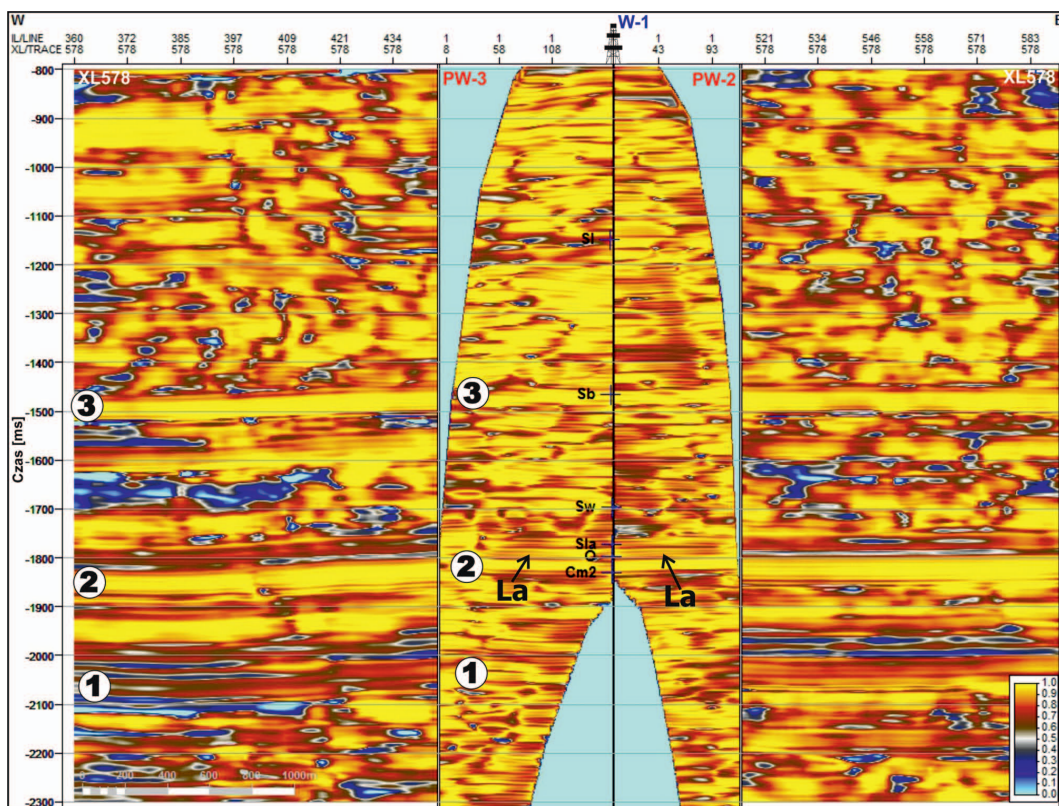
Przedstawione na rysunku 11 odtworzenie w wersji tego atrybutu pozwala na dość dokładne prześledzenie zmian litologicznych analizowanych utworów dolnego paleozoiku. Bardzo dobrze wyodrębniają się w zapisie wkładki skał węglanowych (oznaczone cyframi 2 i 3), przy czym analiza transformacji PPS-WPG wskazuje, że mają one zdecydowanie mniejszą miąższość, niż wynika to z danych sejsmicznych. Analiza danych PPS uwidacznia jednocześnie wyraźne zróżnicowanie litologiczne w profilu niektórych formacji, które w znacznie mniejszym stopniu widoczne jest na sejsmice 3D. Przykładem są utwory landoweru należące do formacji z Pasłęka wraz z ogniwem z Jantaru (wskazane strzałkami na rysunku 11).

Z analizy atrybutu *Iso-frequency component* wynika, że zarówno na sejsmice, jak i na transformacjach PPS-WPG w całym profilu syluru (z wyjątkiem horyzontu węglanowego 3) zaznacza się wyraźna zmienność litofacjalna. Na podstawie rozpoznania regionalnego oraz danych otworowych wiadomo,





Rys. 10. Zestawienie profilu sejsmicznego XL578 z transformacjami PPS-WPG dla PW-3 i PW-2 – odtworzenie w wersji atrybutu *Cosine of phase*; objaśnienia jak na rysunkach 8 i 9



Rys. 11. Zestawienie profilu sejsmicznego XL578 z transformacjami PPS-WPG dla PW-3 i PW-2 – odtworzenie w wersji atrybutu *Iso-frequency component*; La – utwory landoweru (fm. z Paślęka), pozostałe objaśnienia jak na rysunku 8

że profil syluru w analizowanym rejonie stanowi dosyć monotonna seria utworów silikoklastycznych drobniejszych frakcji. Tym samym można przypuszczać, że różnice w litologii wynikają w dużej mierze ze stopnia zawartości minerałów węglanowych. Na podstawie analizy obrazu stwierdzić można, że największa zawartość węglanów występuje w stropowej partii kompleksu (w zakresie skali czasu od 800 ms do około 1100 ms).

**Chwilowa szerokość pasmowa (Instantaneous bandwidth)**

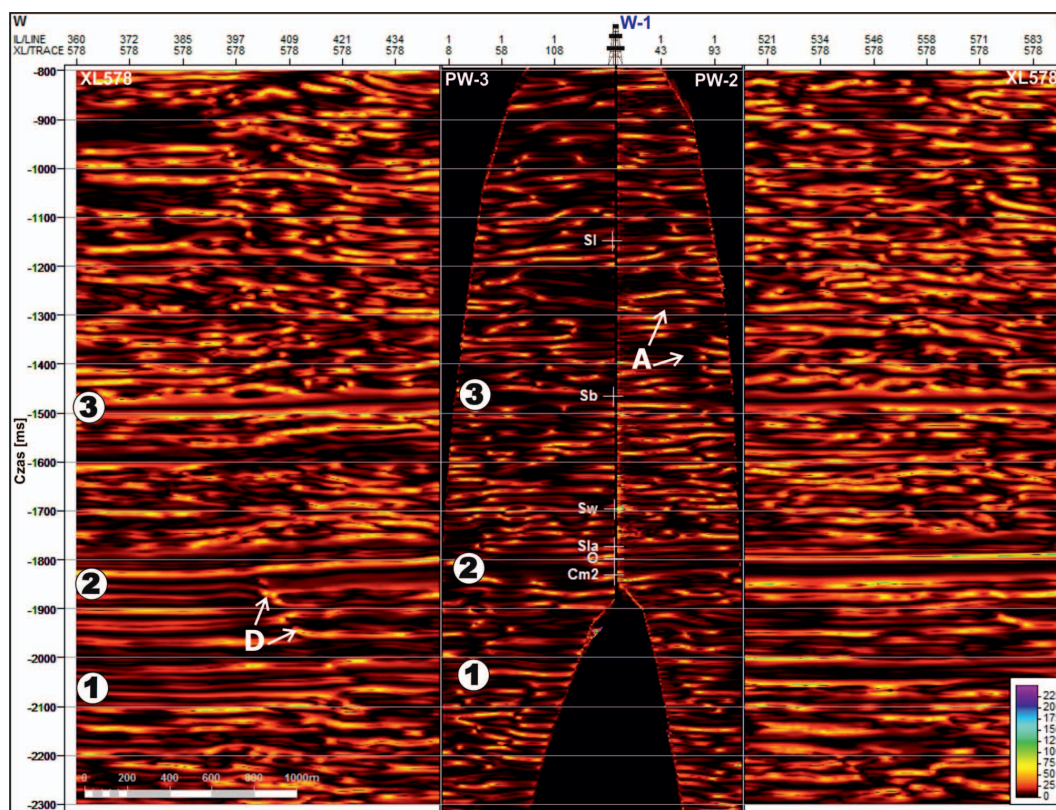
Atrybut ten jest miarą względnej zmiany amplitudy i uwidacznia cechy związane z efektami absorpcji oraz ze zmianami charakteru sejsmicznego refleksów, które korelować można bezpośrednio ze zmianami w litologii ośrodka skalnego [1].

W przypadku analizowanych utworów dolnego paleozoiku atrybut *Instantaneous bandwidth* dodatkowo potwierdza i dokumentuje większość opisanych wyżej elementów, takich jak wkładki wapieni (oznaczone cyframi 2 i 3), obecność uskoku (D) oraz strefy o niejednorodnym zapisie na transformacji PW-2 (A) (rysunek 12), która może stanowić zapis zmian facyjnych w utworach ludlowu. Obraz uzyskany dzięki temu atrybutowi potwierdza również większą zawartość węglanów w stropowej partii profilu syluru (zwłaszcza w zachodniej części profilu – strefy z dominacją koloru czarnego w zakresie skali czasu od 800 ms do około 1100 ms).

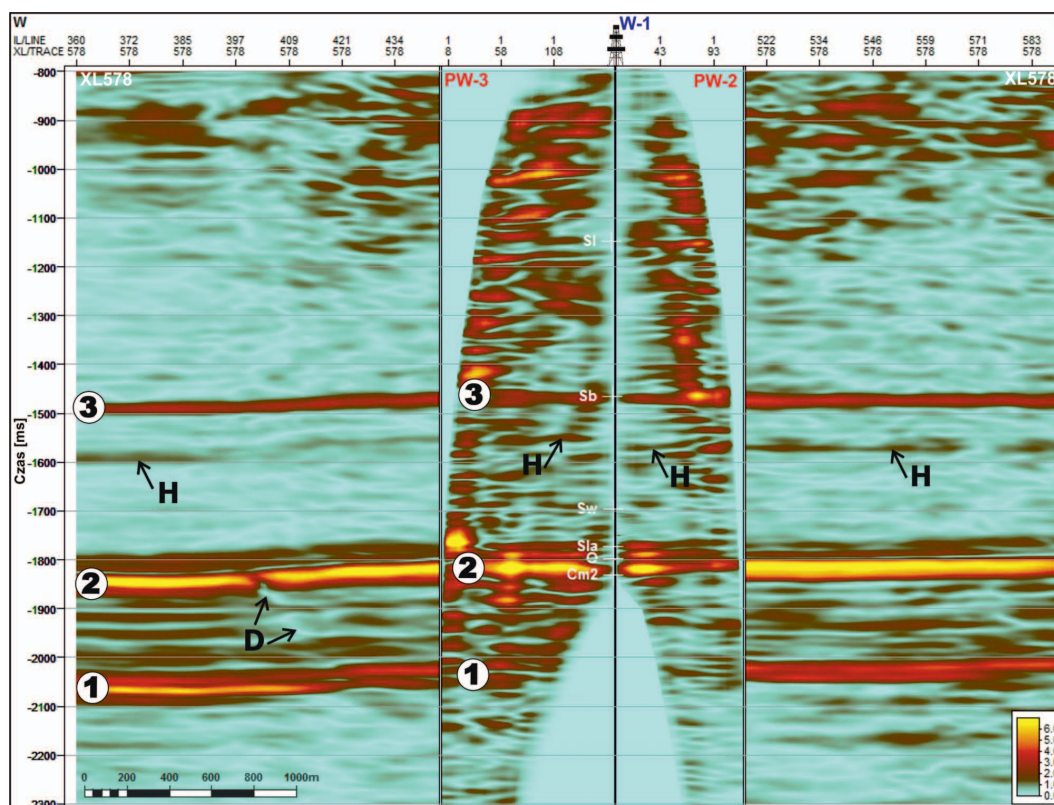
**Obwiednia (Envelope)**

*Envelope* to atrybut amplitudowy, uwypuklający wzmocnione akustycznie zapisy, bez względu na ich polarność. Jest on pomocny w identyfikowaniu zmian litologicznych wiążących się ze zmianami dynamiki refleksów. Tym samym może być używany do odtwarzania geometrii niektórych elementów w basenie sedimentacyjnym, takich jak np. strefy kanałowe [16], do wykrywania anomalii związanych z nasyceniem węglowodorami, a także do identyfikacji granic litostratygraficznych. Atrybut ten jest również stosowany do wyznaczania stref uskokowych [42] czy też stref o zwiększonej porowatości w skałach węglanowych [26].

Zaprezentowane na rysunku 13 odtworzenie w wersji atrybutu *Envelope* w bardzo dobrym stopniu odwzorowuje zmiany litologiczne w obrębie utworów dolnego paleozoiku. Poza elementami opisanymi przy wcześniej omawianych atrybutach – uwagę zwraca horyzont w obrębie utworów ludlowu (fm. z Kociewia, poniżej ogniwa Redy), oznaczony literą H (rysunek 13), który był praktycznie niewidoczny lub zaznaczał się bardzo słabo na innych atrybutach (np. *RMS Amplitude* – rysunek 8 lub *Instantaneous bandwidth* – rysunek 12). Horyzont ten również cechuje się większą zawartością minerałów węglanowych w stosunku do pozostałej części profilu, co dokumentuje profilowanie zawartości minerałów węglanowych w otworze W-1 (rysunek 14). Uwagę zwraca również



Rys. 12. Zestawienie profilu sejsmicznego XL578 z transformacjami PPS-WPG dla PW-3 i PW-2 – odtworzenie w wersji atrybutu *Instantaneous bandwidth*; objaśnienia jak na rysunkach 8 i 9



Rys. 13. Zestawienie profilu sejsmicznego XL578 z transformacjami PPS-WPG dla PW-3 i PW-2 – odtworzenie w wersji atrybutu *Envelope*; H – dodatkowy horyzont o nieco większej zawartości węglanów, pozostałe objaśnienia jak na rysunku 8

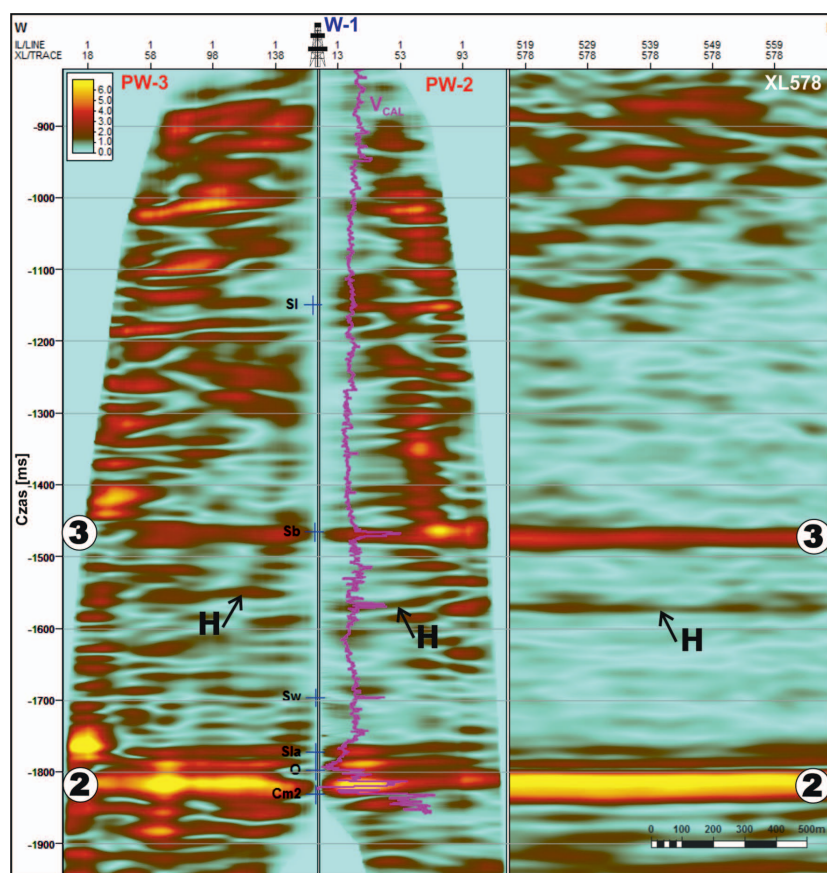
odmienny charakter profilu stropowej partii syluru (zakres czasowy od 800 ms do około 1100 ms), co – jak już wspomniano – korelować można ze wzrostem zawartości węglanów. Hipotezę tę potwierdza wspomniane profilowanie zawartości minerałów węglanowych, na którym widoczny jest nieznaczny wzrost zawartości węglanów przy wartości czasu równej ok. 1110 ms oraz wyraźny wzrost przy ok. 950 ms (rysunek 14).

Ponadto w wersji atrybutu *Envelope* silniej uwypuklone zostało zróżnicowanie facjalne w profilu klastycznych utworów kambru środkowego, ewidentnie kontrastujących z podłożem krystalicznym o bardzo jednorodnym charakterze (granicę stanowi horyzont oznaczony cyfrą 1 – rysunek 13).

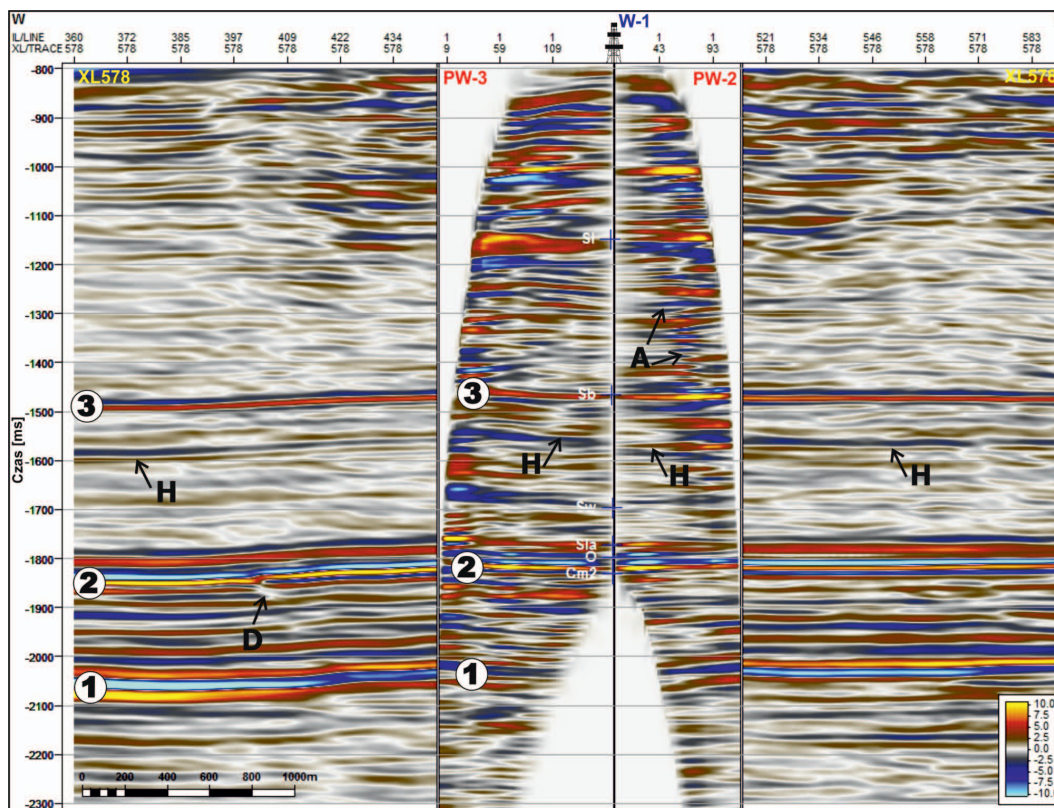
Analiza obrazu uzyskanego w wyniku pomiarów PPS cechuje się zdecydowanie większą rozdzielczością, pozwalającą na wychwycenie większej ilości szczegółów, zwłaszcza w obrębie profilu utworów niższego syluru i ordowiku.

#### *Względna impedancja akustyczna (Relative acoustic impedance)*

Ostatnim z prezentowanych atrybutów jest *Relative acoustic impedance*, wskazujący względną



Rys. 14. Zestawienie transformacji PW-3 i PW-2 z profilowaniem zawartości minerałów węglanowych ( $V_{cal}$ ) w otworze W-1 – odtworzenie w wersji atrybutu *Envelope*

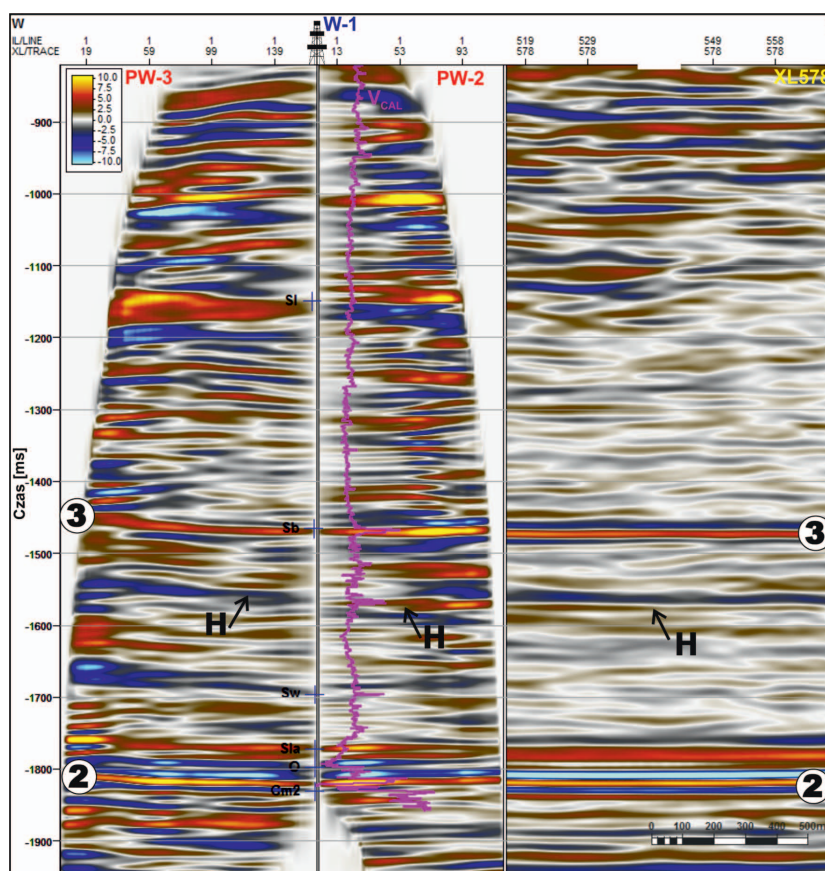


Rys. 15. Zestawienie profilu sejsmicznego XL578 z transformacjami PPS-WPG dla PW-3 i PW-2 – odtworzenie w wersji atrybutu *Relative acoustic impedance*; objaśnienia jak na rysunkach 8 i 13

kontrast impedancji akustycznej, który stosowany jest pomocniczo w procesie interpretacji geologicznej. Jest on szczególnie przydatny do identyfikacji i uszczegółowienia przebiegu płaszczyzn niezgodności kątowych, granic sekwencji depozycyjnych, a także powierzchni nieciągłości. Ponadto może być też stosowany do śledzenia zmian porowatości w obrębie formacji skalnych [1, 28].

W analizowanym przykładzie atrybut ten przede wszystkim dokumentuje opisane wyżej kontrasty litologiczne i zmiany facjalne w utworach syluru, a w mniejszym stopniu również kambru. Wyraźnie widoczna jest większa rozdzielczość obrazu uzyskanego na podstawie pomiaru PPS, w tym również strefa o zróżnicowanej dynamice zapisu (oznaczona literą A na rysunku 15), którą przypuszczalnie wiązać można ze zmianami litofacjalnymi w utworach ludlowu.

Ponadto zmiany w dynamice refleksów na sekcji sejsmicznej, a zwłaszcza na transformacjach PPS-WPG, w dużym stopniu korelują ze zmiennością zawartości minerałów węglanowych w profilu syluru (rysunek 16).



Rys. 16. Zestawienie transformacji PW-3 i PW-2 z profilowaniem zawartości minerałów węglanowych ( $V_{cal}$ ) w otworze W-1 – odtworzenie w wersji atrybutu *Relative acoustic impedance*

## Podsumowanie

Zastosowanie transformacji pomiarów PPS pozwoliło na uzyskanie zdecydowanie większej rozdzielczości pionowej obrazu w obrębie poszczególnych formacji, jak również uwidoczniło wyraźne zróżnicowanie litologiczne niektórych formacji, słabo zaznaczające się na sejsmice 3D (np. w utworach landoweru należących do formacji z Pasłęka wraz z ogniwem z Jantaru). Większa rozdzielczość pomiarów PPS pozwoliła również na bardziej precyzyjne prześledzenie horyzontalnej zmienności facjalnej w obrębie utworów syluru.

Zastosowanie atrybutów sejsmicznych umożliwiło znacznie bardziej szczegółowe rozpoznanie litofacjalne analizowanych

utworów oraz potwierdzenie (udokumentowanie sejsmiczne) bądź też ujawnienie kilku dodatkowych elementów (np. w postaci przypuszczalnych płaszczyzn dyslokacji lub dodatkowych horyzontów, o większej zawartości węglanów), które były słabo widoczne w standardowym odtworzeniu sejsmiki.

Przeprowadzona analiza wyników interpretacji pomiarów azymutalnych PPS 3C wykazała, że w znacznym stopniu mogą one uszczegółowić interpretację litofacjalną, opartą na standardowej sejsmice 3D. W związku z tym pomiary PPS 3C powinny być stosowane jako jedna z podstawowych metod pomiarowych w otworach wiertniczych.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2018, nr 9, s. 655–668, DOI: 10.18668/NG.2018.09.04

Artykuł przysłany do Redakcji 30.05.2018 r. Zatwierdzony do druku 28.07.2018 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Wykorzystanie prędkości interwałowych PPS do modelowania ośrodka geologicznego oraz identyfikacji zmian facjalnych* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr archiwalny: SR-4101-0057/15 oraz badań zrealizowanych w ramach projektu pt. *Metodologia wyznaczania sweet spotów na podstawie własności geochemicznych, petrofizycznych, geomechanicznych w oparciu o korelację wyników badań laboratoryjnych z pomiarami geofizycznymi i model generacyjny 3D*, dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu Blue Gas – Polski Gaz Łupkowy. Nr umowy: BG1/MWSSSG/13.

## Literatura

- [1] Azevedo L., Pereira G.R.: *Seismic attributes in hydrocarbon reservoir characterization*. Wyd. Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, Aveiro 2009, 165 s.
- [2] Bartoń R.: *Aplikacja prędkości interwałowych PPS do strukturalnego odwzorowania ośrodka geologicznego*. Prace Naukowe INiG – PIB 2016, nr 209, s. 525–531, DOI: 10.18668/PN2017.216.
- [3] Bartoń R.: *Obliczanie inwersji sejsmicznej na azymutalnych transformacjach PPS-WPG fal podłużnych i poprzecznych*. Nafta-Gaz 2015, nr 10, s. 711–719. DOI: 10.18668/NG.2015.10.01.
- [4] Bartoń R.: *Wyznaczanie kierunkowych zmian prędkości fal poprzecznych w strefie okołotworowej na podstawie azymutalnych pomiarów PPS 3C*. Nafta-Gaz 2014, nr 8, s. 483–492.
- [5] Bartoń R.: *Zastosowanie prędkości interwałowych PPS do modelowania ośrodka geologicznego*. Nafta-Gaz 2016, nr 3, s. 155–163. DOI: 10.18668/NG.2016.03.01.
- [6] Bednarczyk W., Turnau-Morawska M.: *Litostratygrafia osadów kambru i wendy w rejonie Leby*. Acta Geol. Polon. 1975, vol. 25, no. 4, s. 537–566.
- [7] Frankowicz E.: *Wykorzystanie atrybutów sejsmicznych w interpretacji strukturalnej na przykładzie zdjęcia sejsmicznego 3D ZOCA-2 (basen Bonaparte, NW szelf Australii)*. Przegląd Geologiczny 2008, vol. 56, nr 8/2, s. 780–786.
- [8] Gholami R., Moradzadeh A., Rasouli V., Hanachi J.: *A new approach to determine geomechanical parameters of Vertical Transverse Isotropic media using VSP data*. Journal of Applied Geophysics 2014, vol. 111, s. 183–202.
- [9] Jaanusson V.: *Faunal dynamics in the Middle Ordovician (Viruan) of Balto-Scandia*. [W:] Bassett M.G. (ed.): *The Ordovician System: Proceedings of a Palaeontological Association Symposium*. University of Wales Press, Nation. Mus. Wales, Cardiff 1976, s. 301–326.
- [10] Jaworowski K.: *Profil dolnego paleozoiku w północnej Polsce – zapis kaledońskiego stadium rozwoju basenu bałtyckiego*. Pos. Nauk. Inst. Geol. 2002, nr 58, s. 9–10.
- [11] Jaworowski K.: *Strop warstw pasłęckich w obniżeniu litewskim a granica wenlok-ludlow*. Kwart. Geol. 1965, vol. 9, no. 3, s. 511–526.
- [12] Jaworowski K.: *Warunki depozycji ciał piaszczystych kambru dolnego i środkowego w polskiej części platformy europejskiej*. Biul. Państw. Inst. Geol. 1997, nr 377, s. 1–118.
- [13] Jaworowski K.: *Warunki sedymentacji osadów prekambru i kambru w północnej Polsce*. Przegląd Geologiczny 1982, vol. 30, nr 5, s. 220–224.
- [14] Karcz P., Janas M.: *Materia organiczna łupków kambru, ordowiku i syluru w basenie bałtycko-podlasko-lubelskim Polski*. Przegląd Geologiczny 2016, vol. 64, nr 12, s. 995–999.
- [15] Klimuszko E.: *Utwory syluru południowo-wschodniej Polski jako skały potencjalnie macierzyste dla dewońskich rop naftowych*. Biul. Państw. Inst. Geol. 2002, nr 402, s. 75–100.
- [16] Kondratyev A., Rukavishnikov V., Shakirzyanov L., Maksyutin K.: *Submarine fan reservoir architecture and heterogeneity influence on hard-to-recover reserves. Achimov Fm.* IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 2015, vol. 24, s. 1–13. DOI: 10.1088/1755-1315/24/1/012041.
- [17] Leginowicz A.: *Analiza atrybutów danych sejsmicznych 3D występujących w systemie Petrel*. Nafta-Gaz 2011, nr 9, s. 627–647.
- [18] Lenzion K.: *Eokambry i kambry w otworze Żarnowiec IG-1*. Przegląd Geologiczny 1970, vol. 18, nr 7, s. 343–344.
- [19] Lenzion K.: *Korelacja stratygraficzna kambru syneklizy perybałtyckiej w Polsce*. Przegląd Geologiczny 1982, vol. 30, nr 5, s. 213–219.
- [20] Lis P.: *Analiza sedymentologiczna drobnociarnistych osadów*

- górnordowicko-dolnosylurskich basenu podlasko-lubelskiego*. Przegląd Geologiczny 2010, vol. 58, nr 3, s. 259–262.
- [21] Modliński Z. (red.): *Darżlubie IG 1. Profile głębokich otworów wiertniczych*. Państw. Inst. Geol. 2011, z. 128, 196 s.
- [22] Modliński Z., Podhalańska T.: *Outline of the lithology and depositional features of the lower Paleozoic strata in the Polish part of the Baltic region*. Geol. Quart. 2010, vol. 54, no. 2, s. 109–121.
- [23] Modliński Z., Szymański B.: *Ordowik. Litologia i stratygrafia*. [W:] Modliński Z. (red.): *Darżlubie IG 1. Profile głębokich otworów wiertniczych*. Państw. Inst. Geol. 2011, z. 128, s. 85–87.
- [24] Modliński Z., Szymański B., Teller L.: *Litostratygrafia syluru polskiej części obniżenia perybaltyckiego – część lądowa i morska (N Polska)*. Przegląd Geologiczny 2006, vol. 54, nr 9, s. 787–796.
- [25] Nehring-Lefeld M.: *Biostratygrafia piętra podlaskiego (górnego syluru) w polskim akwenu Bałtyku na podstawie małżoraczek*. Kwart. Geol. 1988, vol. 32, no. 3–4, s. 577–604.
- [26] Ogiesoba O.C., Hart B.S.: *Amplitude envelope and fault zone reflection phenomenon*. SEG Technical Program Expanded Abstracts 2009, s. 562–566. DOI: 10.1190/1.3255819.
- [27] Pharaoh T.C.: *Palaeozoic terranes and their lithospheric boundaries within the Trans-European Suture Zone (TESZ): a review*. Tectonophysics 1999, vol. 314, s. 17–41.
- [28] Pigott J.D., Moo-Hee K., Hyun-Chul H.: *First order seismic attributes for clastic seismic facies interpretation: Examples from the East China Sea*. Journal of Asian Earth Sciences 2013, vol. 66, s. 34–54.
- [29] Podhalańska T.: *Późnordowickie zlodowacenie Gondwany – zapis zmian środowiskowych w sukcesji osadowej obniżenia bałtyckiego*. Prace Państw. Inst. Geol. 2009, t. 193, s. 1–96.
- [30] Podhalańska T.: *Sylur. Stratygrafia i litologia*. [W:] Modliński Z. (red.): *Darżlubie IG 1. Profile głębokich otworów wiertniczych*. Państw. Inst. Geol. 2011, z. 128, s. 98–100.
- [31] Podhalańska T., Modliński Z.: *Stratygrafia i rozwój facjalny ordowiku i syluru strefy Koszalin–Chojnice, podobieństwa i różnice z obszarem południowo-zachodniej krawędzi kratonu wschodnioeuropejskiego i Rugii*. [W:] Matyja H., Poprawa P. (red.): *Ewolucja facjalna, tektoniczna i termiczna pomorskiego segmentu szwu transeuropejskiego oraz obszarów przyległych*. Prace Państw. Inst. Geol. 2006, t. 186, s. 39–78.
- [32] Podhalańska T., Waksmundzka M.I., Becker A., Roszkowska-Remin J.: *Rozpoznanie stref perspektywicznych występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce – nowe wyniki oraz dalsze kierunki badań*. Przegląd Geologiczny 2016, vol. 64, nr 12, s. 953–962.
- [33] Pokorski J.: *Geological section through the lower Paleozoic strata of the Polish part of the Baltic region*. Geol. Quart. 2010, vol. 54, no. 2, s. 123–130.
- [34] Poprawa P.: *Potencjał występowania złóż gazu ziemnego w łupkach dolnego paleozoiku w basenie bałtyckim i lubelsko-podlaskim*. Przegląd Geologiczny 2010, vol. 58, nr 3, s. 226–249.
- [35] Poprawa P.: *Rozwój kaledońskiej strefy kolizji wzdłuż zachodniej krawędzi Baltiki oraz jej relacje do basenu przedpola*. Prace Państw. Inst. Geol. 2006, vol. 186, s. 189–214.
- [36] Poprawa P., Paczeńska J.: *Rozwój ryftu w późnym neoproterozoiku – wczesnym paleozoiku na lubelsko-podlaskim skłonie kratonu wschodnioeuropejskiego – analiza subsydencji i zapisu facjalnego*. Przegląd Geologiczny 2002, vol. 50, nr 1, s. 49–63.
- [37] Poprawa P., Sliupa S., Stephenson R.A., Lazauskiene J.: *Late Vendian – Early Palaeozoic tectonic evolution of the Baltic basin: regional implications from subsidence analysis*. Tectonophysics 1999, vol. 314, s. 219–239.
- [38] Sikorska M.: *Provenance petrological study of the Upper Vendian and Cambrian clastic material; foreland of the Pomeranian Caledonides (northern Poland)*. Geol. Quart. 2000, vol. 44, no. 3, s. 237–247.
- [39] Sowizdzał K., Stadtmüller M., Lis-Śledziona A., Kaczmarczyk W.: *Analiza porównawcza formacji łupkowych w wybranych strefach basenu bałtyckiego na podstawie interpretacji danych otworowych i wyników modelowania geologicznego 3D*. Nafta-Gaz 2016, nr 11, s. 891–900. DOI: 10.18668/NG.2016.11.01.
- [40] Tsvankin I., Grechka V.: *Seismology of Azimuthally Anisotropic Media and Seismic Fracture Characterization*. Wyd. Society of Exploration Geophysicists, Geophysical References 2011, series no. 17, 511 s.
- [41] Urbanek A., Teller L.: *Graptolites and Stratigraphy of the Wenlock and Ludlow Series in the East European Platform*. [W:] Urbanek A., Teller L. (eds.): *Silurian Graptolite Faunas in the East European Platform: Stratigraphy and Evolution*. Palaeontologia Polonica 1997, vol. 56, s. 23–58.
- [42] Urbanek A., Bajewski Ł., Wilk A., Bartoń R.: *Wstępna interpretacja strukturalna na bazie wyników reprocessingu profilu sejsmicznego 2D we wschodniej części Karpat zewnętrznych*. Nafta-Gaz 2017, nr 7, s. 455–464. DOI: 10.18668/NG.2017.07.02.
- [43] Więclaw D., Kotarba M.J., Kosakowski P., Kowalski A., Grotek I.: *Habitat and hydrocarbon potential of the lower Paleozoic source rocks in the Polish part of the Baltic region*. Geol. Quart. 2010, vol. 54, no. 2, s. 159–182.
- [44] Zeng H., Backus M.: *Interpretive advantages of 90°-phase wavelets: Part 1 – Modeling*. Geophysics 2005, vol. 7, no. 3, s. C7–C15.
- [45] Zeng H., Backus M.: *Interpretive advantages of 90°-phase wavelets: Part 2 – Seismic Applications*. Geophysics 2005, vol. 7, no. 3, s. C17–C24.



Dr inż. Robert BARTOŃ  
 Adiunkt w Zakładzie Sejsmiki.  
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
 ul. Lubicz 25 A  
 31-503 Kraków  
 E-mail: robert.barton@inig.pl



Mgr Andrzej URBANIEC  
 Główny specjalista inżynierjno-techniczny  
 w Zakładzie Sejsmiki  
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
 ul. Lubicz 25 A  
 31-503 Kraków  
 E-mail: andrzej.urbaniec@inig.pl