

Aleksander Wilk, Robert Bartoń, Łukasz Bajewski, Andrzej Urbaniec

*Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

## Budowa pola prędkości na potrzeby migracji czasowej 2D po składaniu w trudnych rejonach geologicznych na przykładzie Karpat fliszowych w południowo-wschodniej Polsce

W niniejszym artykule zaprezentowano sposób konstrukcji pola prędkości na potrzeby migracji czasowej 2D po składaniu w trudnych rejonach geologicznych na przykładzie Karpat fliszowych w południowo-wschodniej Polsce. Rejon badań charakteryzuje się dużym stopniem skomplikowania budowy geologicznej, co przekłada się na znaczną trudność w jego odwzorowaniu na sekcjach sejsmicznych. Określenie poprawnego pola prędkości do procedury migracji pozwala prawidłowo odwzorować wgłębną budowę geologiczną na przekroju sejsmicznym. W wyniku migracji opartej na prawidłowym rozpoznaniu rozkładu prędkości uzyskuje się rzeczywiste położenie punktów odbicia od granic nachylonych, usunięcie dyfrakcji, znaczną poprawę rozdzielczości przestrzennej, a zwłaszcza rozdzielczości poziomej analizowanego obrazu sejsmicznego. Nowatorskim rozwiązaniem konstrukcji budowy pola prędkości na potrzeby migracji czasowej 2D po składaniu było wykorzystanie prędkości średnich z pomiarów PPS (pionowe profilowanie sejsmiczne), które ze względu na metodykę pomiaru zawierają informacje o anizotropii ośrodka geologicznego. Istotnym elementem w konstrukcji modelu prędkości było zdefiniowanie optymalnego rozkładu prędkości średnich, zarejestrowanych w lokalnych pozycjach otworów wiertniczych z offsetowych pomiarów PPS. Uwzględnienie efektu anizotropii pozwoliło na wiarygodniejszy rozkład pola prędkości i uzyskanie polepszenia obrazu falowego w stosunku do wcześniejszych opracowań. Otrzymany model prędkości stanowił podstawę do odtworzenia skomplikowanej budowy ośrodka geologicznego. W przyjętej przestrzeni obliczeniowej rejonu badań rozpatrywane były dwa modele: model płasko-równoległy bez interpretacji strukturalnej oraz model z interpretacją strukturalną. Dla przyjętych modeli prędkości średnie uzyskane z PPS zostały interpolowane i ekstrapolowane przy użyciu trzech algorytmów: rozkładu Gaussa, krigingu i *moving average* w systemie Petrel firmy Schlumberger. Na podstawie przetestowanych modeli prędkości dla wybranego profilu sejsmicznego stwierdzono, że optymalny wynik uzyskano w przypadku rozkładu Gaussa z wykorzystaniem modelu z interpretacją strukturalną. Zastosowanie modelu do migracji czasowej 2D po składaniu uwzględniającego anizotropię ośrodka dostarcza bardziej wiarygodnego obrazu ośrodka geologicznego w stosunku do dotychczasowych opracowań, co powinno przekładać się na zwiększenie efektywności w poszukiwaniach węglowodorów oraz ograniczać stopień ryzyka poszukiwawczego.

Słowa kluczowe: model prędkości, PPS, migracja, interpretacja sejsmiczna.

### Construction of a velocity field for the purpose of Post Stack time migration 2D in difficult geological regions on the example of Flysch Carpathians in south-eastern Poland

The aim of this study was the construction of a velocity field for Post Stack time migration 2D on the example of Flysch Carpathians in south-eastern Poland. The high degree of complexity of the geological structure of this region, makes it difficult for the imaging of seismic sections. Determination of the correct velocities for the migration procedure allows to properly map the deep-seated geological structure on the seismic section. As a result of the migration based on the correct recognition of the velocity distribution, the real location of the reflection points from dip reflectors, the removal of diffraction, a significant improvement in spatial resolution, and especially the horizontal resolution of the seismic sections was obtained. The innovative solution of the construction of the velocity field for the needs of 2D Post Stack time migration was the use of average velocities from VSP data (Vertical Seismic Profiling), which due to the measurement methodology, contain information on the anisotropy of the geological survey. An important element of the construction of the velocity model was the optimal distribution of the average velocity, recorded in the local borehole positions from the offset VSP measurements. Taking into account the effect of anisotropy, it allowed a more reliable distribution of the velocity field and improved seismic image in comparison to previous studies.

The obtained velocity model was the basis for reconstructing the complexity of the geological survey. In the computational space of the research area, two models were considered: a flat-parallel model without structural interpretation and a model with structural interpretation. For these models the average velocities obtained from VSP were interpolated and extrapolated using three algorithms: Gaussian, kriging and moving average distribution in the Petrel system of Schlumberger company. From all of the tested velocity models for the selected seismic profile, it was found that the most optimal result was obtained from the Gaussian distribution for the model with structural interpretation. The application of a velocity model, which includes anisotropy, to the 2D Post-Stack time migration, provides a more reliable image of the geological survey in relation to the previous studies, which should translate into increased efficiency in hydrocarbon exploration and limit the level of exploration risks.

Key words: velocity model, VSP, migration, seismic interpretation.

### Wstęp

Poprawna budowa pola prędkości do migracji czasowej po składaniu jest jednym z kluczowych elementów warunkujących właściwe odwzorowanie ośrodka geologicznego, zarówno w procesie interpretacji, jak też w procesie przetwarzania sejsmicznego [1, 2].

Określenie poprawnego pola prędkości do procedury migracji pozwala prawidłowo odwzorować głębłą budowę geologiczną na przekroju sejsmicznym [8]. W wyniku migracji opartej na prawidłowym rozpoznaniu rozkładu prędkości uzyskuje się rzeczywiste położenie punktów odbicia od granic nachylonych, usunięcie dyfrakcji, znaczną poprawę rozdzielczości przestrzennej, a zwłaszcza rozdzielczości poziomej analizowanego obrazu sejsmicznego [7, 14].

Prawidłowy rozkład pola prędkości powinien uwzględniać efekt anizotropii, zwłaszcza w trudnych ośrodkach geologicznych, jakim są m.in. Karpaty. W realizowanej pracy badaw-

czej nie wykonywano analiz związanych z wpływem czynników fizycznych (gęstość, porowatość, szczelinowatość, nasycenie wodą i węglowodorami skał zbiornikowych itd.) na określenie parametrów oraz typu anizotropii w celu wyznaczenia modelu prędkości. Autorzy zaprezentowali inne podejście do wyznaczenia modelu prędkości poprzez wykorzystanie prędkości średnich z pomiarów PPS (pionowe profilowanie sejsmiczne), które ze względu na metodykę pomiaru zawierają informację o anizotropii ośrodka geologicznego [4–6, 10].

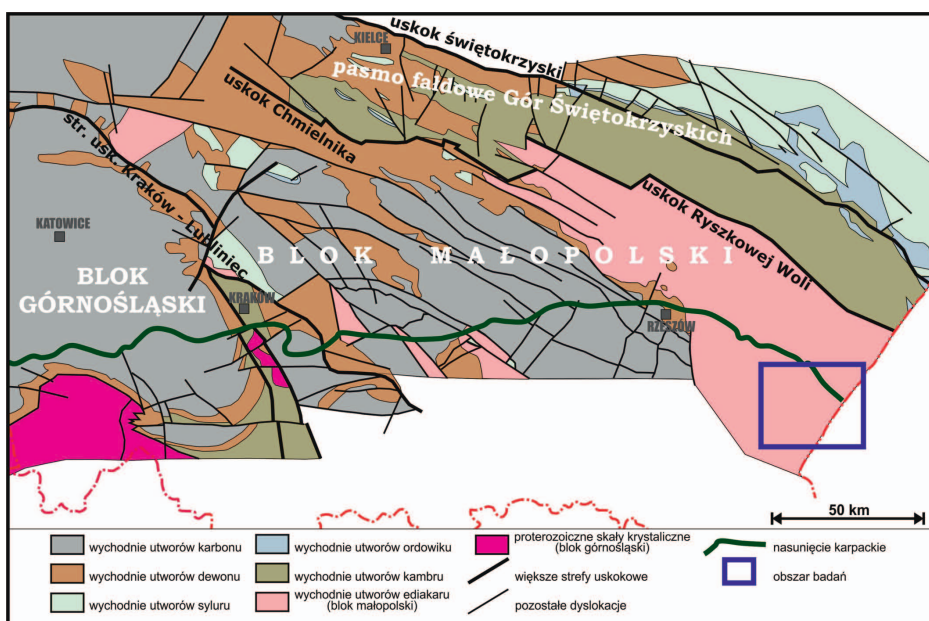
Opracowana metodyka konstrukcji modeli prędkości do migracji czasowej ma charakter nowatorski, a jej wdrożenie przyniosło zdecydowanie lepsze efekty w stosunku do stosowanych powszechnie rozwiązań w polskim przemyśle naftowym, co powinno przekładać się na zwiększenie efektywności poszukiwań węglowodorów oraz ograniczać stopień ryzyka poszukiwawczego.

### Krótką charakterystyka geologiczna rejonu badań

Analizowany profil sejsmiczny zlokalizowany jest w brzeżnej części Karpat zewnętrznych w południowo-wschodniej części Polski (rysunek 1). Ze względu na konieczność ochrony informacji nazewnictwo otworów wiertniczych i profili sejsmicznych zostało zakodowane (rysunek 2).

Rejon badań charakteryzuje się dużym stopniem skomplikowania budowy geologicznej, co przekłada się na znaczną trudność w jego odwzorowaniu na sekcjach sejsmicznych.

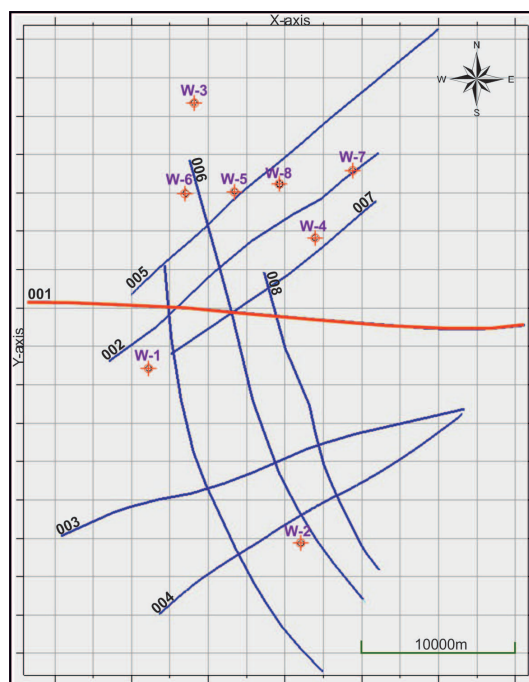
Bardziej szczegółowa budowa geologiczna obszaru badań, obejmująca poszczególne piętra strukturalne analizowanego rejonu wraz z obowiązującymi podziałami litostratygraficznymi dla poszczególnych jednostek, przed-



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle głównych jednostek tektonicznych Polski pod pokrywą permsko-mezozoiczną i kenozoiczną (według Żelaźniewicza i in. [15], częściowo zmienione)

stawiona została w opublikowanych ostatnio pracach [11, 13]. W związku z tym w ramach niniejszej pracy zaprezentowano tylko najważniejsze ramy budowy geologicznej obszaru badań.

W obrębie analizowanego rejonu wyróżnić można trzy główne piętra strukturalne. Najniższe piętro stanowi seria anchimetaformicznych skał neoproterozoiku, związanych genetycznie z blokiem małopolskim (rysunek 1). Seria ta zalega bezpośrednio w podłożu utworów neogenu, tym samym omawiany obszar jest całkowicie pozbawiony pokrywy osadów paleozoicznych i mezozoicznych. Środkowe piętro strukturalne w analizowanym rejonie stanowi kompleks osadów klastycznych z wkładkami ewaporatów, wieku mioceńskiego, o bardzo dużym zróżnicowaniu miąższościowym [11]. Najwyższe piętro strukturalne reprezentują utwory allochtoniczne pokrywy tektonicznej, włączane w obręb trzech dużych jednostek: stebnickiej, borysławsko-pokuckiej i skolskiej. Jedną z najbardziej charakterystycznych cech orogenu fliszowego w analizowanym rejonie jest jego bardzo intensywne złuszkowanie, z dachówkowym ułożeniem poszczególnych łusek, nasuniętych kolejno na siebie [9].



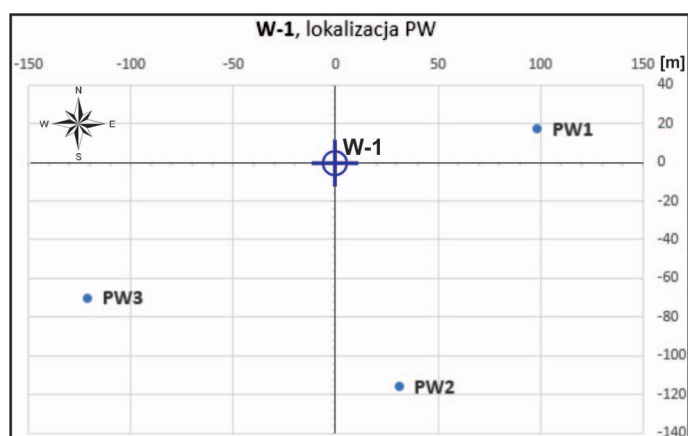
Rys. 2. Lokalizacja profili sejsmicznych 2D oraz wybranych otworów wiertniczych z pomiarami prędkości średnich PPS

### Konstrukcja modelu prędkości do migracji czasowej po składaniu

Do konstrukcji modelu prędkości wybrano wszystkie dostępne otwory z zarejestrowanymi pomiarami PPS, zlokalizowane w sąsiedztwie przetwarzanych profili sejsmicznych 2D: W-1, W-2, W-3, W-4, W-5, W-6, W-7, W-8. Przykładowe usytuowanie punktów wzbudzenia (PW) względem azymutu dla wyżej wymienionych otworów w odniesieniu do ich względnego położenia zostało przedstawione zarówno w tabelach, jak i graficznie (rysunek 3, tablica 1).

Tablica 1. Relatywne odniesienie punktów wzbudzenia (PW) względem otworu W-1

Nazwa otworu	Punkty wzbudzenia	Odległość PW [m]	Azymut PW [°]
W-1	PW1	100,0	80,0
	PW2	120,0	165,0
	PW3	140,0	240,0



Rys. 3. Relatywne odniesienie punktów wzbudzenia (PW) względem otworu W-1

Odległości punktów wzbudzenia od poszczególnych otworów mieszczą się w przedziale od 75 m do 650 m, przy czym zdecydowanie przeważają bliższe offsety, rozmieszone na różnych azymutach. Zasięg głębokości pomierzonych prędkości

średnich waha się w przedziale od 1993 m (W-4) do 4528 m (W-2) w odniesieniu do poziomu zapisu sejsmicznego.

Istotnym elementem w konstrukcji modelu prędkości było zdefiniowanie optymalnego rozkładu prędkości średnich (zarejestrowanych w lokalnych pozycjach otworów wiertniczych z offsetowych pomiarów PPS), który umożliwiłby najbardziej wiarygodne odtworzenie budowy skomplikowanych ośrodków geologicznych w procesie migracji czasowej. Algorytm realizujący postawione założenia powinien uwzględniać optymalną interpolację i ekstrapolację, zachowując wysoką dokładność rozkładu zmiennych w przypadku ograniczonej ilości lub braku danych. Dla powyższych założeń należało zdefiniować przestrzeń obliczeniową, która zawierałaby profil sejsmiczny nr 001 (rysunek 2) oraz dostępne dane PPS zarejestrowane w otworach W-1–W-8.

W przyjętej przestrzeni obliczeniowej rozpatrywane były dwa modele:

- 1) model płasko-równoległy bez interpretacji strukturalnej – wariant I (rysunek 4a),

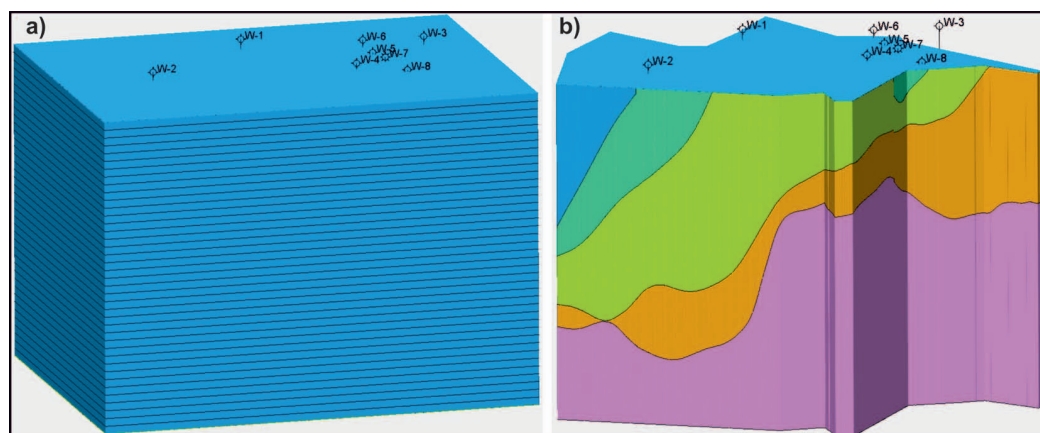
2) model z interpretacją strukturalną, opracowaną w pracy statutowej i przedstawioną w publikacji Urbaniec i in. [13] – wariant II (rysunek 4b).

W obydwu modelach zastosowano warstwowanie w trzech wariantach „miąższościowych”. Modele te zostały podzielone na warstwy o miąższości 50 m, 100 m oraz 200 m. W przypadku wariantu II przyjęte miąższości warstwowania 50 m, 100 m oraz 200 m występują w strefach o maksymalnej miąższości pomiędzy wyinterpretowanymi horyzontami sejsmicznymi (rysunek 4b) i sukcesywnie ulegają ścienieniu w strefach wyklinowania horyzontów (rysunki 6a, 6c, 6d).

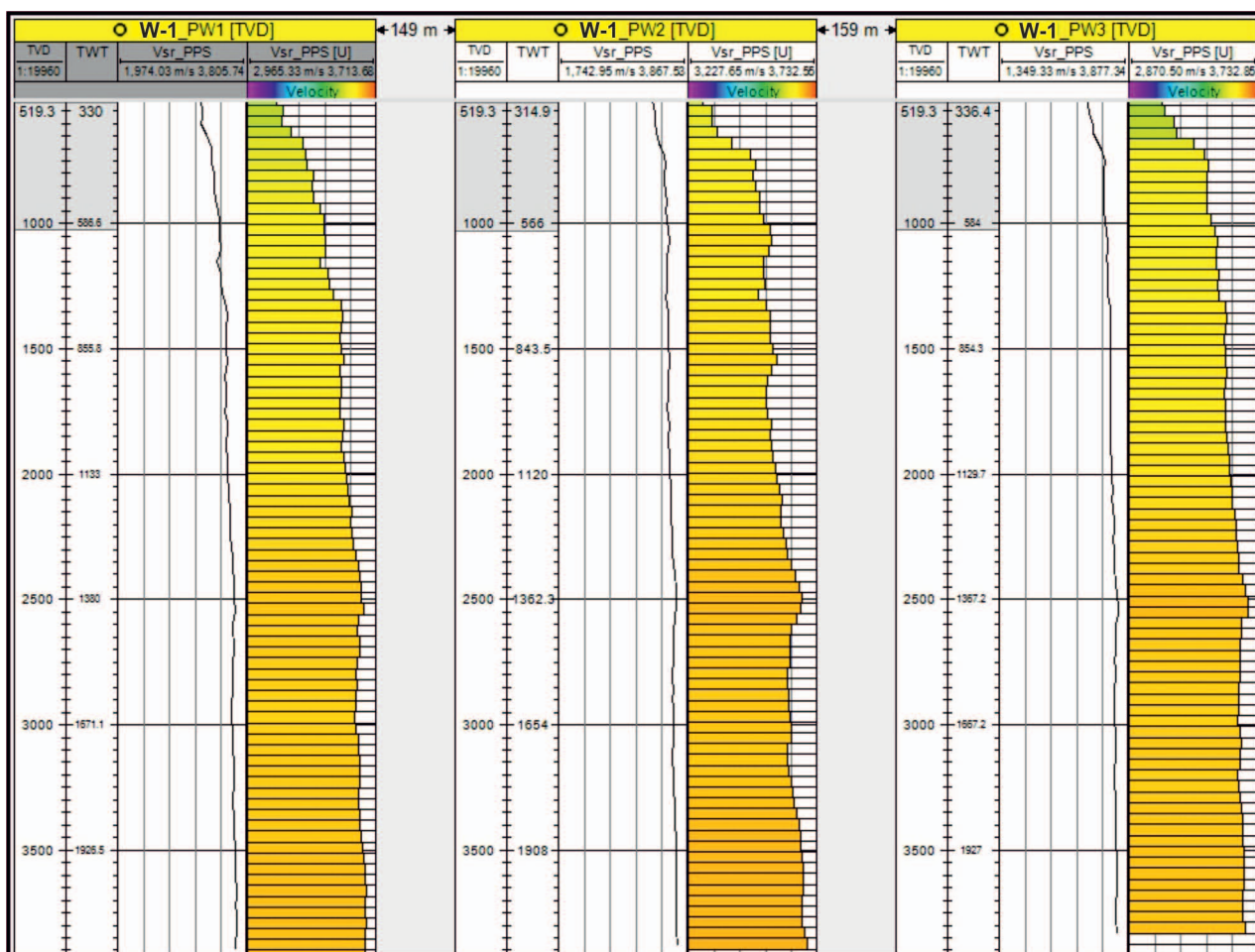
Prędkości średnie uzyskane z pionowych profilowań sejsmicznych PPS zostały przeskalowane do przyjętych interwałów warstwowania 50 m, 100 m, 200 m (rysunek 5) i rozdzy-

strybuowane przy użyciu trzech różnych algorytmów w systemie Petrel (rysunek 6):

- rozkładu Gaussa – stochastyczna estymacja parametrów oparta na obliczonych wariogramach z danych PPS,
- rozkładu metodą krigingu – deterministyczna estymacja parametrów oparta na obliczonych wariogramach z danych PPS,
- rozkładu metodą moving average – interpolacja danych PPS oparta na metodzie średniej ważonej.



Rys. 4. Model bez interpretacji (a) i z interpretacją strukturalną (b)



Rys. 5. Przykład przeskalowania prędkości średnich w otworze Cisowa-IG1 (C-IG1) dla punktów offsetowych PPS (PW) z krokiem 50 m

Dla rozkładów prędkości średnich przy wykorzystaniu algorytmu Gaussa uzyskano ekstrapolację prędkości do końca skali pionowej profilu dla obydwu modeli (rysunki 6a, 6b, 7). W przypadku pozostałych stosowanych algorytmów (kriging i *moving average*) końcowy zakres przestrzennych rozkładów 3D został wypełniony prędkością pochodzącą z najgłębszej rejestracji PPS (otwór W-2) (rysunki 6c, 6d, 8).

Z obliczonych modeli zostały wyekstrahowane prędkości wzdłuż rozpatrywanego profilu sejsmicznego 001. W dalszej kolejności prędkości te zostały przekonwertowane do domeny czasowej z uwagi na fakt, że procedury przetwarzania były realizowane w domenie czasu. Do konwersji czasowo-głębokościowej został wykorzystany model, który opracowano w pracy badawczej w roku 2016 i przedstawiono w publikacji Bajewski i in. [3].

Przed procesem migracji obliczone modele prędkości zostały poddane weryfikacji poprzez przeliczenie prędkości średnich ( $V_{st}$ ) na prędkości składania ( $V_{rms}$ ), a następnie po skalibrowaniu prędkości składania zostały one przeliczone na prędkości interwałowe ( $V_{int}$ ) za pomocą wzoru Dix'a. Uzyskane prędkości interwałowe poddano iteracyjnemu wygładzaniu (rysunki 7, 8). Ostateczne pola prędkości zostały użyte do migracji czasowej po składaniu sum końcowych w procesie przetwarzania i testowane dla różnych zakresów procentowych od 40% do 140% z krokiem 10%.

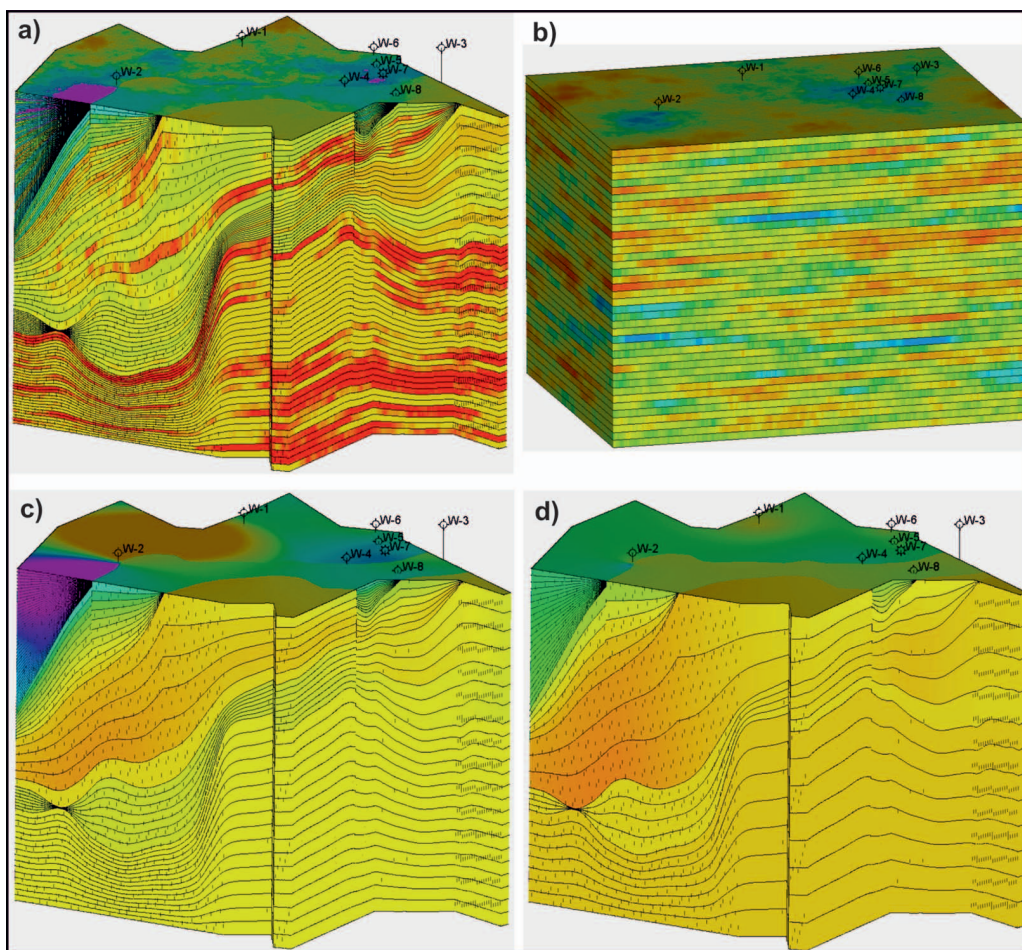
Na etapie migracji profilu sejsmicznego 001 przeprowadzono szereg testów doboru częstotliwości i apertury migracji. Testy te zostały wykonane na wszystkich obliczonych polach prędkości (rozkład Gaussa, kriging, *moving average*) dla miąższości warstwowania 50 m, 100 m oraz 200 m.

W wyniku wykonania kilkunastu testów migracji czasowej na profilu sejsmicznym 001 po składaniu uzyskano optymalizowane pole prędkości odwzorowujące w stosunkowo najlepszym stopniu budowę geologiczną analizowanego rejonu. Za najbardziej optymalne parametry migracji uznano:

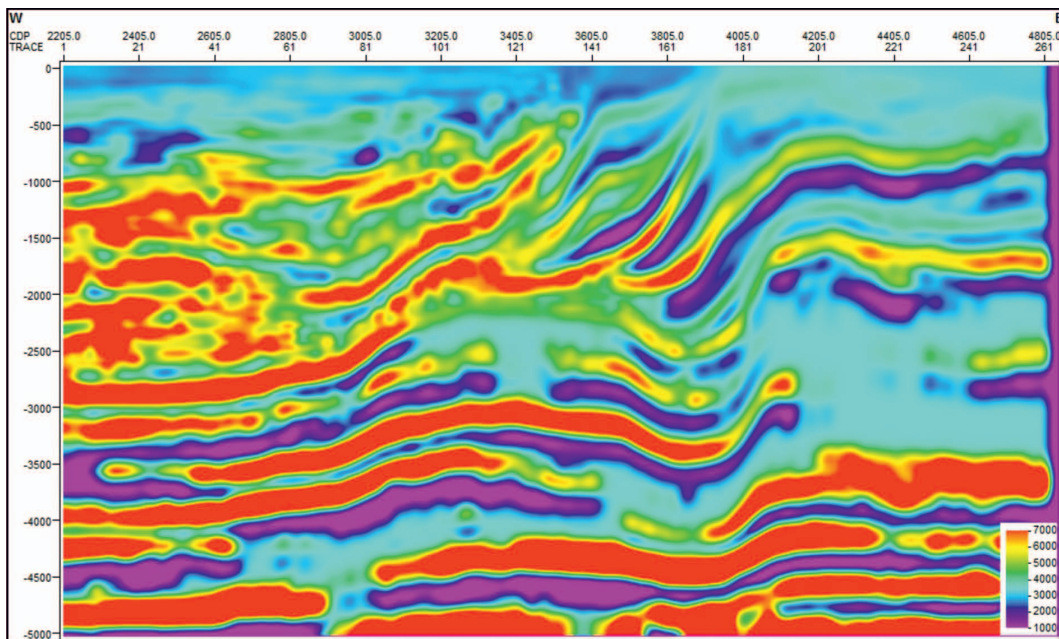
- 60% wartości pola prędkości, z wyjątkiem modelu dla rozkładu Gaussa, gdzie przyjęto 50%,
- maksymalną częstotliwość 65 Hz,
- aperturę migracji 2000 m.

Wybrane wyniki obliczeń migracji czasowej po składaniu dla profilu 001 zostały przedstawione na rysunkach 9 i 10.

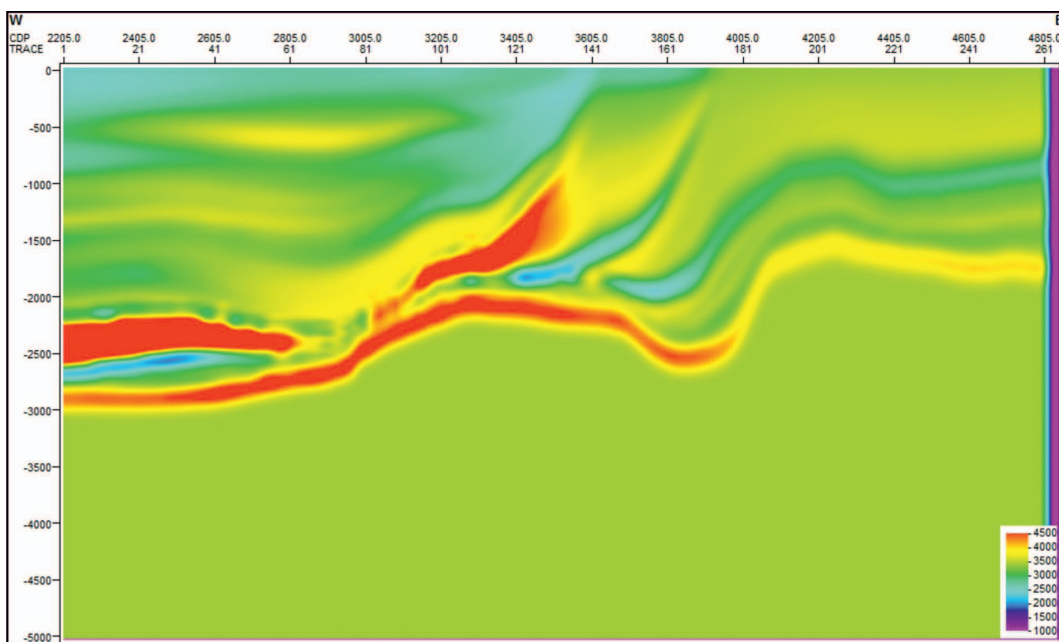
Na uzyskanych wynikach migracji czasowej obrazy strukturalne generalnie są do siebie dosyć podobne pomimo aplikowanych różnych pól prędkości interwałowych, obliczonych z użyciem różnych algorytmów. Wyraźne różnice obserwuje się dopiero przy szczegółowej analizie obrazu sejsmicznego (rysunki 9, 10). W zależności od przyjętego modelu prędkości można zaobserwować zarówno horyzontalne, jak i wertykalne zmiany położenia refleksów. Na odtworzeniach poszczególnych wersji widoczne są wyraźne różnice w dynamice refleksów, ciągłości i kątach ich zalegania. Przykładowe różnice w zapisie falowym zostały zakreślone okręgami. Na podstawie wykonanej analizy uznano, że najlepszy obraz falowy w procesie migracji czasowej otrzymano na podstawie modelu



Rys. 6. Przestrzenny rozkład prędkości średnich PPS uzyskany algorytmem rozkładu Gaussa przy zastosowaniu modelu z interpretacją dla miąższości warstwowania 50 m (a) i bez interpretacji dla miąższości warstwowania 200 m (b), rozkładem kriging dla miąższości warstwowania 100 m (c) oraz rozkładem *moving average* dla miąższości warstwowania 200 m (d) przy zastosowaniu modeli z interpretacją



Rys. 7. Rozkład prędkości interwałowych dla miąższości warstwowania 50 m uzyskany algorytmem rozkładu Gaussa przy zastosowaniu modelu z interpretacją dla linii 001

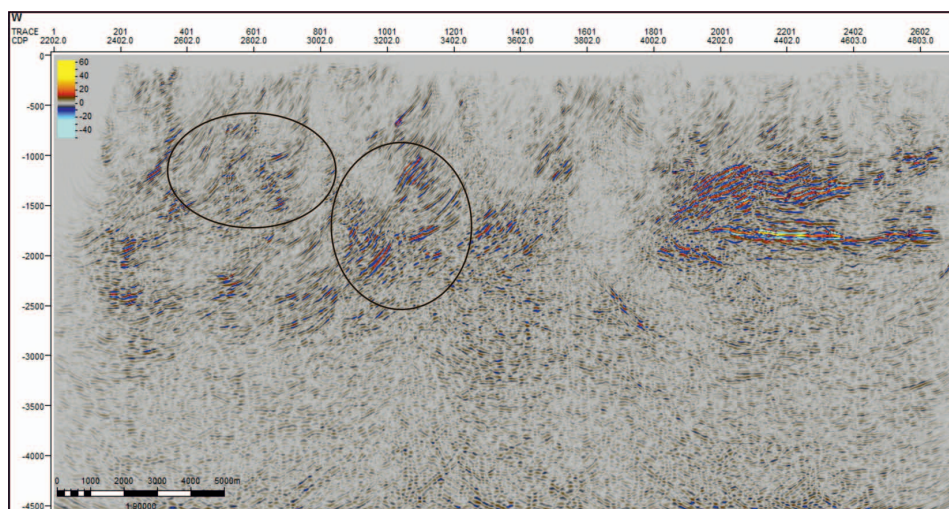


Rys. 8. Rozkład prędkości interwałowych dla miąższości warstwowania 50 m uzyskany algorytmem rozkładu kriging przy zastosowaniu modelu z interpretacją dla linii 001

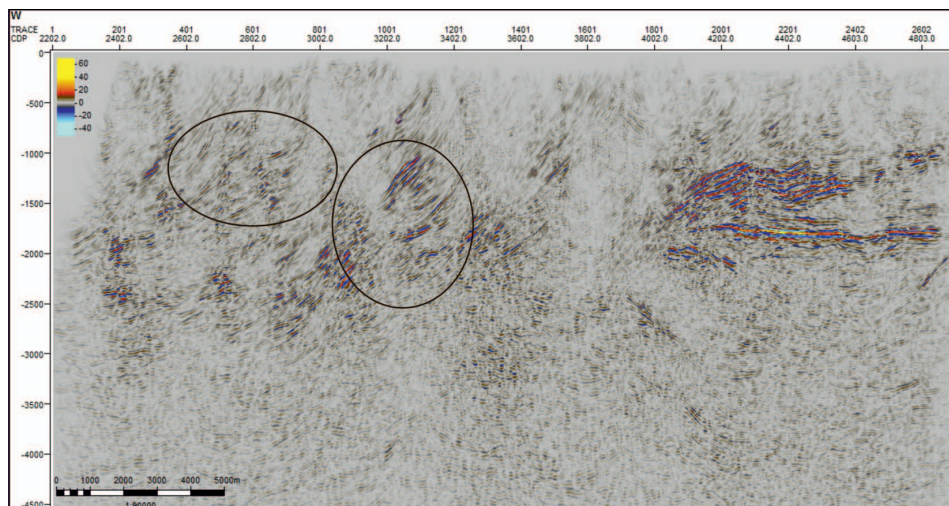
prędkości obliczonego rozkładem Gaussa dla miąższości warstwowania 50 m, dla wariantu II (rysunek 9).

Na rysunku 12 zaprezentowano wynik migracji czasowej po składaniu dla profilu 001, obliczonego na podstawie modelu prędkości opracowanego w pracy badawczej i przedstawionego w publikacji [3]. Natomiast na rysunku 13 zaprezentowano końcowy rezultat migracji czasowej po składaniu dla powyższego profilu obliczony na podstawie bieżącego modelu prędkości, który został uznany za najlepszy. Model ten został utworzony na podstawie prędkości średnich z pomiarów PPS przy wykorzystaniu rozkładu Gaussa (rysunek 7). Prezentowany wyniko-

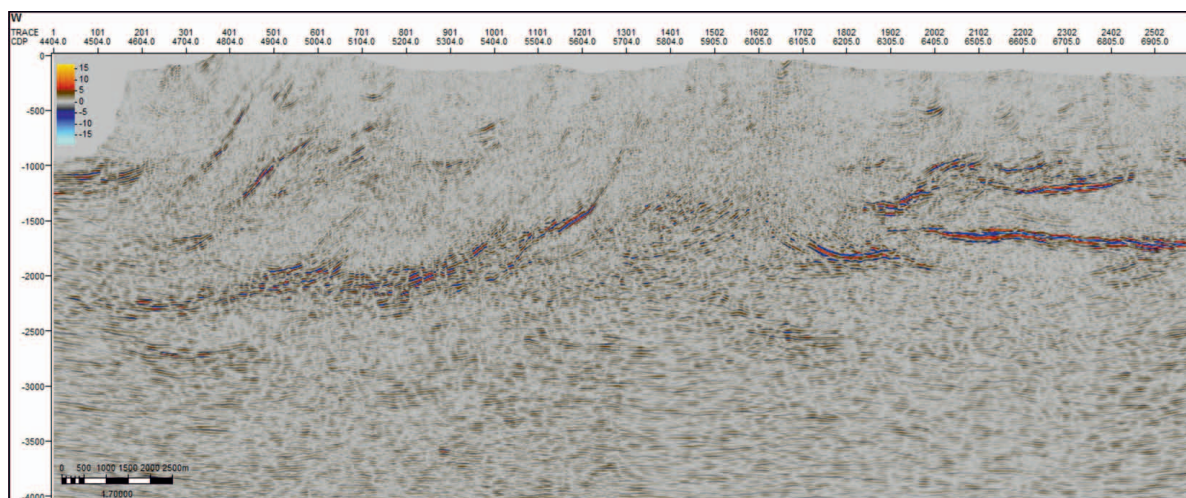
wy model prędkości zawiera bardziej zróżnicowaną dynamikę zmian wartości oraz cechuje go znacznie większa rozdzielczość w stosunku do wcześniejszej wersji [3]. Model ten uwzględnia charakter budowy strukturalnej ośrodka, co w efekcie na końcowym obrazie sejsmicznym (rysunek 13) przekłada się na lepszą rozdzielczość zapisu, wyraźniejsze odwzorowanie w obrazie sejsmicznym dla stropowej partii kompleksu neoproterozoicznego [12], jak również większy stopień ciągłości refleksów w obrębie jednostek fliszowych. Przykładowe różnice w zapisie falowym zostały zakreślone okręgami. Dobre efekty uzyskane w wyniku przetwarzania dały podstawy do częściowego



Rys. 9. Migracja czasowa wykonana dla pola prędkości interwałowych obliczonych algorytmem rozkładu Gaussa o miąższości warstwowania 50 m przy zastosowaniu modelu z interpretacją – profil 001



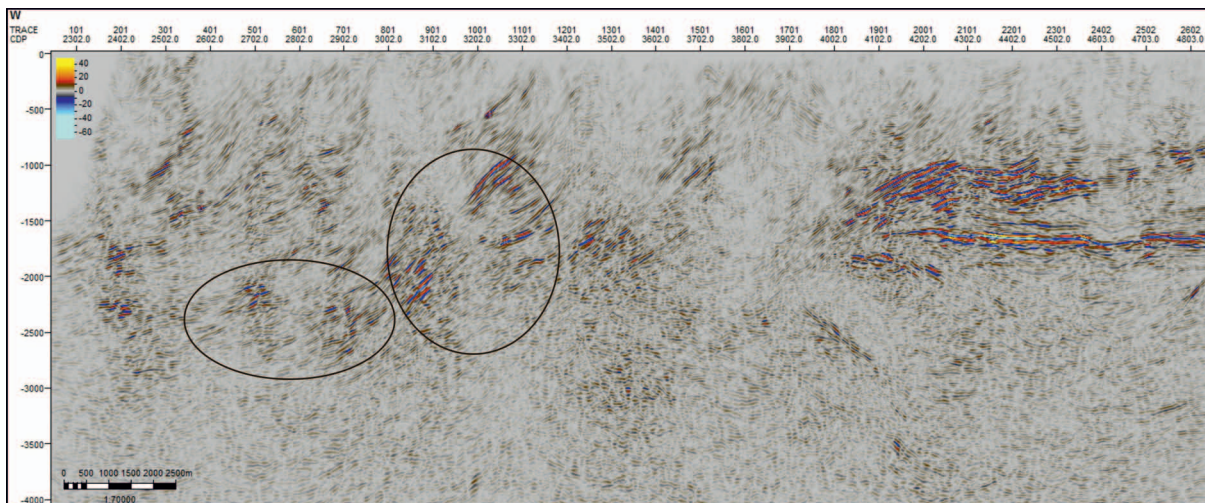
Rys. 10. Migracja czasowa wykonana dla pola prędkości interwałowych obliczonych algorytmem rozkładu kringing o miąższości warstwowania 50 m przy zastosowaniu modelu z interpretacją – profil 001



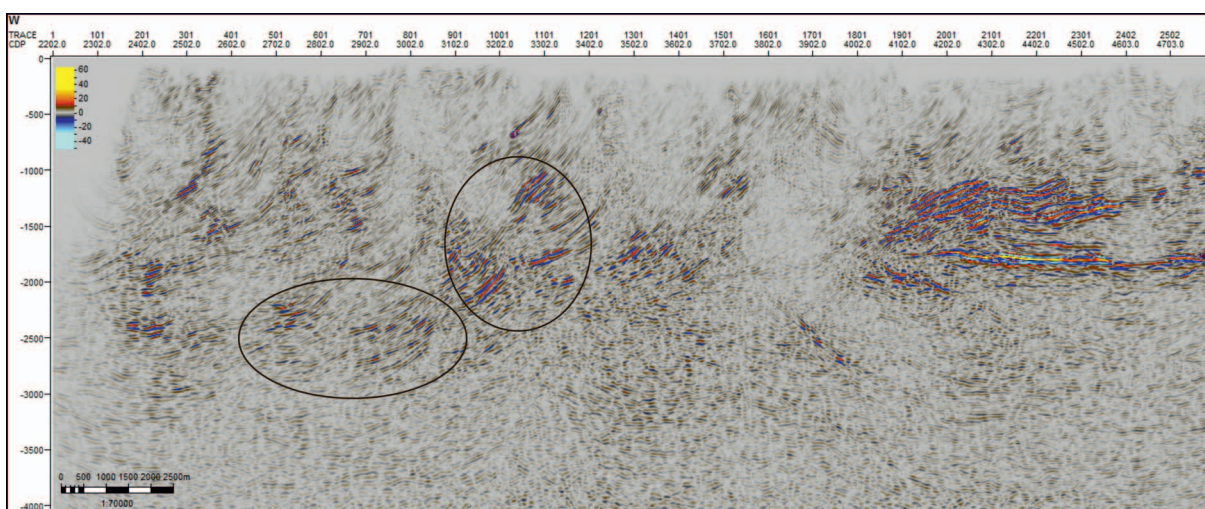
Rys. 11. Czasowy przekrój sejsmiczny 001 (wersja archiwalna)

przekorelowania niektórych z interpretowanych granic sejsmicznych i płaszczyzn dyslokacji, a także do uszczegółowienia interpretacji strukturalnej wykonanej w poprzednim etapie [3].

Porównując obraz falowy migracji czasowej obliczonej na profilu 001 przy wykorzystaniu modelu prędkości średnich z PPS (rysunek 13) z wersją archiwalną (rysunek 11), można zauważyć,



Rys. 12. Migracja czasowa wykonana w pracy badawczej w 2016 r. przez INiG – PIB – profil 001



Rys. 13. Migracja czasowa wykonana dla pola prędkości interwałowych obliczonych algorytmem rozkładu Gaussa o miąższości warstwowania 50 m przy zastosowaniu modelu z interpretacją – profil 001

że wynikowy profil posiada zdecydowanie lepszą wiarygodność pod względem odtworzenia budowy strukturalnej oraz śledzenia ciągłości refleksów sejsmicznych. Najbardziej widoczne różnice w obrazie sejsmicznym przejawiają się w postaci zdecydowanie różnych kątów nachyleń poszczególnych pakietów refleksów (szczególnie w zachodniej części omawianego profilu), jak również w postaci wyraźnych zmian stopnia ciągłości i amplitudy refleksów. Różnice w obrazie sejsmicznym do-

strzegalne są w zasadzie w obrębie wszystkich pięter strukturalnych obecnych w profilu geologicznym analizowanego regionu, jednak najbardziej uwypuklają się one w utworach fliuszowych oraz w kompleksie utworów miocenu sfałdowanego.

Interpretacja strukturalna uwzględniająca odtworzenia wybranych atrybutów sejsmicznych dla prezentowanych profili została zawarta w monografii, która zostanie opublikowana w czwartym kwartale 2018 roku przez INiG – PIB.

### Wnioski końcowe

W ramach niniejszej pracy badawczej opracowano różne modele prędkości na potrzeby migracji czasowej 2D przy wykorzystaniu prędkości średnich pochodzących z azymutalnych pomiarów pionowych profilowań sejsmicznych PPS. Metodyka azymutalnych pomiarów PPS umożliwia kierunkowe śledzenie parametrów sprężystych, co uwidacznia się w rozkładzie prędkości średnich, które są odmienne dla każdego punktu wzbudzenia (PW). Tego typu pomiary dostarczają znacz-

nie bardziej szczegółowych informacji o anizotropii prędkości ośrodka geologicznego w stosunku do pomiarów sejsmicznych. Zastosowanie modelu do migracji czasowej 2D po składowaniu uwzględniającego anizotropię ośrodka dostarcza bardziej wiarygodnego obrazu ośrodka geologicznego w stosunku do dotychczasowych opracowań.

Na podstawie wszystkich przetestowanych modeli prędkości dla profilu sejsmicznego 001 uznano, że optymalny wynik



uzyskano w przypadku rozkładu Gaussa przy zastosowaniu modelu z interpretacją strukturalną. Obliczony model prędkości przyczynił się w efekcie do polepszenia obrazu falowego profilu 001 w stosunku do wyników zaprezentowanych w publikacji Bajewski i in. [3].

Opracowana obecnie metodyka budowania modelu prędkości, uwzględniająca powyższe założenia, stanowi nowatorskie podejście zarówno do sposobu konstruowania mo-

deli prędkości na potrzeby migracji czasowej po składaniu, jak też do szerszego wykorzystania pomiarów PPS w badaniach sejsmicznych. Jej wdrożenie przyniosło zdecydowanie lepsze efekty w stosunku do powszechnie wykorzystywanych rozwiązań w polskim przemyśle naftowym, co powinno przekładać się na zwiększenie efektywności w poszukiwaniach węglowodorów oraz ograniczać stopień ryzyka poszukiwawczego.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2018, nr 10, s. 723–731, DOI: 10.18668/NG.2018.10.03

Artykuł nadesłano do Redakcji 24.07.2018 r. Zatwierdzono do druku 16.10.2018 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Budowa pola prędkości na potrzeby migracji czasowej i głębokościowej 2D, przed i po składaniu w trudnych rejonach geologicznych* – praca Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego na zlecenie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego; numer zlecenia 0021/SR/17, numer archiwalny DK-4100-008/17.

## Literatura

- [1] Al-Chalabi M.: *Seismic velocities – a critique*. First Break 1994, vol. 12, no. 12, s. 589–596.
- [2] Al-Chalabi M., Rosenkranz P.L.: *Velocity-depth and time-depth relationships for a decompacted uplifted unit*. Geophysical Prospecting 2002, vol. 50, nr 6, s. 661–664.
- [3] Bajewski Ł., Urbaniec A., Wilk A., Bartoń R.: *Poprawa dokładności odwzorowania budowy geologicznej w obrazie sejsmicznym z obszaru Karpat zewnętrznych*. Nafta-Gaz 2017, nr 7, s. 447–454, DOI: 10.18668/NG.2017.07.01.
- [4] Bartoń R.: *Wyznaczanie kierunkowych zmian prędkości fal poprzecznych w strefie okołootworowej 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] Grechka V., Mateeva A., Gentry C., Jorgensen P., Lopez J., Franco G.: *Estimation of seismic anisotropy from P-wave VSP data*. The Leading Edge 2007, vol. 26, nr 6, s. 765.
- [7] Kostecki A., Półchłopek A., Żuławiński K.: *Odwzorowanie struktur wgłębnych w ośrodkach anizotropowych metodą migracji sejsmicznej*. Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego 2013, nr 191, s. 1–134.
- [8] Kostecki A., Półchłopek A.: *Generalized migration in frequency – wavenumber domain MG(F-K) in anisotropic media*. Acta Geophysica 2013, vol. 61, nr 3, s. 624–637.
- [9] Kotlarczyk J.: *Geologia Karpat przemysłowych – „szkic do portretu”*. Przegląd Geologiczny 1988, t. 36, nr 6, s. 325–333.
- [10] Pevzner R., Gurevich B., Duncan G.: *Estimation of Azimuthal Anisotropy from VSP Data Using Multicomponent Velocity Analysis*. 71st EAGE Conference, Amsterdam, The Netherlands, 8–11.06.2009.
- [11] Urbaniec A.: *Nowe spojrzenie na budowę geologiczną brzeżnej części Karpat i ich podłoża (SE Polska) w oparciu o interpretację profili sejsmicznych 2D*. Wiadomości Naftowe i Gazownicze 2017, vol. 20, nr 2, s. 4–12.
- [12] Urbaniec A., Bajewski Ł., Bartoń R., Wilk A.: *Analysis of the seismic image for the Carpathians and their basement resulting from the reprocessing of 2D seismic profiles*. Nafta-Gaz 2018, nr 8, s. 563–574, DOI: 10.18668/NG.2018.08.01.
- [13] Urbaniec 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.
- [14] Yilmaz O.: *Seismic data analysis*. Investigations in Geophysics No. 10, Volumes I and II. Society of Exploration Geophysicist 2001, ISBN 1560800941.
- [15] Żelaźniewicz A., Aleksandrowski P., Buła Z., Karnkowski P.H., Konon A., Oszczytko N., Ślącza A., Żaba J., Żyto K.: *Regionalizacja tektoniczna Polski*. Komitet Nauk Geologicznych PAN, Wrocław 2011.



Mgr inż. Aleksander WILK  
Główny specjalista inżynierijno-techniczny  
w Zakładzie Sejsmiki  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25 A  
31-503 Kraków  
E-mail: [wilka@inig.pl](mailto:wilka@inig.pl)



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](mailto:robert.barton@inig.pl)



Mgr inż. Łukasz BAJEWSKI  
Główny specjalista inżynierijno-techniczny  
w Zakładzie Sejsmiki  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25 A  
31-503 Kraków  
E-mail: [lukasz.bajewski@inig.pl](mailto:lukasz.bajewski@inig.pl)



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