

Robert Bartoń

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Zastosowanie dekonwolucji typu *shape filter* do poprawy rozdzielczości sekcji sejsmicznej

W publikacji zaprezentowano metodę zwiększenia rozdzielczości zarejestrowanego pola falowego sejsmiki powierzchniowej, wprowadzając do tras sekcji sejsmicznej częstotliwości wyższe pochodzące z pomiarów pionowego profilowania sejsmicznego PPS. Zastosowana procedura dekonwolucji typu *shape filter* do poprawy rozdzielczości sekcji sejsmicznej była realizowana w oparciu o obliczony operator z danych pionowego profilowania sejsmicznego PPS i aplikowana do rzeczywistych profili sejsmicznych 2D. Zaimplementowanie do sejsmiki powierzchniowej dodatkowych informacji zawartych w polu falowym PPS pozwala na odtworzenie wysokich częstotliwości, niezbędnych do opisu budowy geologicznej o dużym stopniu szczegółowości.

Słowa kluczowe: PPS, sejsmika, dekonwolucja, rozdzielczość.

Application of the shape filter deconvolution to improve the resolution of seismic data

This article presents a method of increasing the resolution of a recorded seismic wave field by introducing higher frequencies into the traces of the seismic section, derived from measurements of the Vertical Seismic Profiling (VSP). Application of shape filter deconvolution to improve the resolution of seismic data was realized based on the calculated operator from VSP and applied to real 2D seismic section. Implementation to seismic surface of additional information included in VSP wave field allows the restoration of high frequencies necessary to describe the geological structure with a high degree of detail.

Key words: VSP, seismic, deconvolution, resolution.

Wstęp

Poszukiwanie złóż węglowodorów ukierunkowane jest na coraz trudniejsze cele i obiekty geologiczne, co stymuluje wzrost zapotrzebowania na nowe metody i techniki pomiarowe, mogące dostarczyć dokładniejszych informacji o litologii, typie pułapek złożowych oraz rozkładzie parametrów petrofizycznych w strefie złoża i w jego sąsiedztwie. Dokładne rozpoznanie powyższych elementów w przestrzeni geologicznej, rejestrowanych na zapisach falowych, w dużym stopniu zależy od rozdzielczości i jakości materiału sejsmicznego.

Aktualnie najbardziej efektywną metodą pozwalającą rozpoznać stan górotworu przed wierceniem otworu są sejsmiczne prace poszukiwawcze. Jednak z uwagi na trudności oraz ograniczenia, na jakie metoda ta napotyka podczas prac

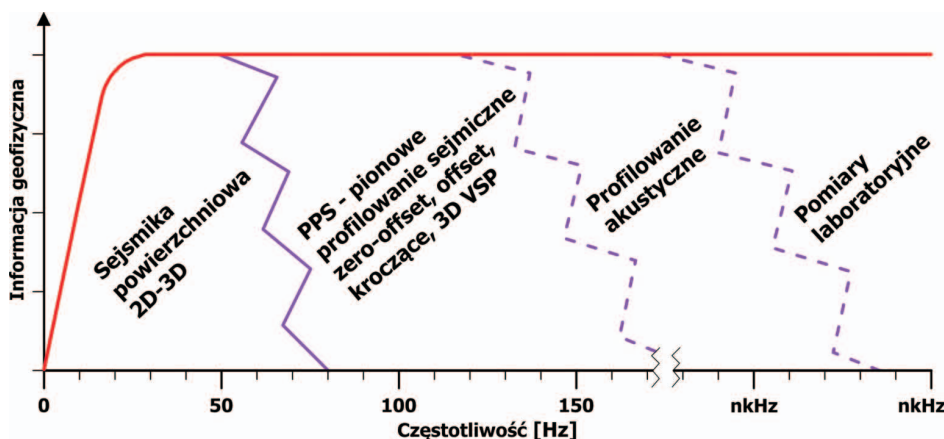
poszukiwawczych (obszary górskie o skomplikowanej budowie tektonicznej – przedgórze Karpat, obszary podmokłe, tereny zabudowane) oraz *processingowych*, dane wynikowe otrzymujemy niekoniecznie z oczekiwaną dokładnością i rozdzielczością.

Pomocą w tej kwestii mogą być pomiary pionowego profilowania sejsmicznego (PPS), które dzięki swojej specyfice powinny stanowić dopełnienie w badaniach sejsmicznych, zwłaszcza wtedy, gdy wyższa rozdzielczość pomiaru jest niezbędna do dokładnego odwzorowania geologicznego oraz zrozumienia natury złoża.

Technologia pomiarów PPS 3C jest istotnie pomocna w kierunkowej identyfikacji parametrów sprężystych oraz geologiczno-złożowych ośrodka geologicznego.

Rola rozdzielczości w pomiarach sejsmicznych

Pomiary geofizyczne, a szczególnie sejsmiczne, umożliwiają badanie ośrodka geologicznego z różną dokładnością, zarówno w skali poziomej, jak i pionowej. Dokładność badań jest funkcją tzw. rozdzielczości metody sejsmicznej, czyli szczegółowości odwzorowania budowy ośrodka, zarówno w sensie budowy strukturalnej (geometrii), jak i w sensie jego parametrów fizycznych i złożowych. Metody pomiarów właściwości fizycznych ośrodka, wykorzystujących zarejestrowane pola fal sprężystych, można zgrupować w czterech przedziałach częstotliwości (rysunek 1). Najniższy rejestrowany przedział częstotliwości jest reprezentowany przez badania sejsmiki powierzchniowej 2D i 3D, kolejny obejmuje pomiary pionowego profilowania sejsmicznego PPS, które są platformą integrującą wysoki zakres częstotliwościowy pomiarów geofizycznych i laboratoryjnych z pomiarami sejsmicznymi.



Rys. 1. Zakresy częstotliwości wykorzystywane w metodach geofizycznych

Rozdzielczość metody sejsmicznej zależy od wielu czynników występujących w każdym z trzech podstawowych etapów metodyki: pomiarach polowych, przetwarzaniu i interpretacji. Rozdzielczość jest definiowana jako zdolność rozróżniania oddzielnych obiektów (geologicznych, tektonicznych) i jest zwykle wyrażana jako minimalna odległość między dwoma obiektami w taki sposób, że są one identyfikowane jako odrębne.

Decydującym składnikiem, który odpowiada za rozdzielczość, jest długość obserwowanej fali sejsmicznej. Długość fali λ definiują dwa parametry: prędkość propagacji V [m/s] i częstotliwość f (1/T) [Hz], ($\lambda = VT$, $\lambda = V/f$, T – dominujący okres drgań). Częstotliwość propagującej fali w istotnym stopniu zależy od parametrów akwizycji, natomiast prędkość propagacji jest parametrem fizycznym ośrodka geologicznego [6, 9].

Prędkość sejsmiczna wzrasta wraz z głębokością. Zalegające niżej utwory skalne są zazwyczaj starsze

i bardziej zdiagenezowane. Dominująca częstotliwość sygnału sejsmicznego zmniejsza się wraz z głębokością, ponieważ wyższe częstotliwości sygnału są intensywniej pochłaniane. Długość fali wzrasta wraz z głębokością, ponieważ prędkość (V) zwiększa się, a częstotliwość (f) maleje. W rezultacie nakładających się zjawisk towarzyszących propagacji fal sprężystych (np. pochłanianie, tłumienie, dywergencja promienia) uzyskujemy pole sejsmiczne, najczęściej w przedziale częstotliwości 15÷75 Hz.

Odtworzenie wysokich częstotliwości w widmie tras sejsmicznych jest bardzo istotne, ponieważ ta część widma jest bardziej pochłaniana w procesie propagacji fali sprężystej. Ponadto należy zaznaczyć, że jest ona odpowiedzialna za rozdzielczość metody sejsmicznej i szczegółowość odtworzenia budowy geologicznej. Zaimplementowanie do sejsmiki powierzchniowej dodatkowych informacji zawartych w polu fa-

lowym PPS pozwala na odtworzenie wysokich częstotliwości, niezbędnych do opisu budowy geologicznej o dużym stopniu szczegółowości [1, 4].

Wyższy zakres częstotliwości rejestrowanych fal sprężystych pozwala określać obiekty geologiczno-złożowe z dużo większą rozdzielczością, tak pionową, jak i poziomą. Za pomocą odpowiednich procedur przetwarzania (filtracja, dekonwolucja) można rozszerzyć widmo amplitudowo-częstotliwościowe w stronę wyższych częstotliwości [7]. Takie poszerzenie spektrum zwiększa

dokładność identyfikacji obiektów złożowych i powoduje bardziej precyzyjne wyznaczenie parametrów złożowych (porowatość, przepuszczalność, nasycenie).

Dokładność odwzorowania ośrodka geologicznego z zapisu sejsmicznego pola falowego w dużym stopniu zależy od szerokości użytecznego pasma częstotliwości, szczególnie w zakresie wyższych częstotliwości. Istotną rolę w szczegółowym rozpoznaniu ośrodka pełnią pomiary sejsmiki otworowej – PPS. Pomiary pionowego profilowania sejsmicznego PPS umożliwiają rejestrację częstotliwości wyższych, w stosunku do tradycyjnej sejsmiki powierzchniowej. Propagująca fala sprężysta przechodzi tylko raz przez strefę małych prędkości, a odległość między nadajnikiem i odbiornikiem oraz punktem odbicia i odbiornikiem jest znacznie mniejsza [3, 5, 8].

Z analizy danych sejsmicznych z rejonu Polski wynika, że większość złóż węglowodorów charakteryzuje się niewielką miąższością (kilkanaście, kilkadziesiąt metrów).

Dla szczegółowego i dokładnego zobrazowania złóż o małej miąższości konieczne jest polepszenie jakości danych sejsmicznych – poprzez modernizację technologii, zarówno

na poziomie akwizycji, jak i przetwarzania – w celu dążenia do otrzymywania zapisu sejsmicznego o jak najlepszej rozdzielczości [2].

Dekonwolucja typu *shape filter*

Dekonwolucja typu *shape filter* była realizowana w oparciu o obliczony operator z danych pionowego profilowania sejsmicznego PPS w systemie UNIVERS firmy Geovers [1].

Na podstawie analizy pola falowego PPS (fale padające i odbite) definiowano sygnał elementarny, który traktowano jako operator dekonwolucji zarówno na danych PPS, jak i na danych sejsmiki powierzchniowej, co skutkuje istotnym niekiedy poszerzeniem zakresu widma amplitudowego. Zakres poszerzenia częstotliwości wyższych zależy od użytego zakresu *sweeputy* podczas rejestracji pomiarów PPS oraz jakości materiału sejsmicznego.

Postać procedury dekonwolucji typu *shape filter*, realizowanej w systemie UNIVERS, można przedstawić w domenie czasu oraz częstotliwości w następujący sposób:

- w domenie czasu:

$$\Phi_{CC} \cdot f = \Phi_{CV} \quad (1)$$

Praktyczne zastosowania dekonwolucji typu *shape filter*

Wynik zastosowania procedury typu *shape filter* na danych sejsmicznych pochodzących z obszaru Brońska został zaprezentowany na rysunkach 2 i 3. Obliczony operator dekonwolucji z trasy sumarycznej (*corridor stack*), uzyskanej z wydzielonych fal odbitych (*upgoing waves*) zero-offsetowego punktu wzbudzenia w otworze Brońsko-10, został użyty do obliczenia dekonwolucji typu *shape filter* na profilu T3010302, zarejestrowanym i przetworzonym przez

- w domenie częstotliwości:

$$(C(\omega) \cdot C^*(\omega))f = C(\omega) \cdot V^*(\omega) \quad (3)$$

$$f = \frac{V^*(\omega)}{C^*(\omega)} \quad (4)$$

gdzie:

f – operator dekonwolucji,

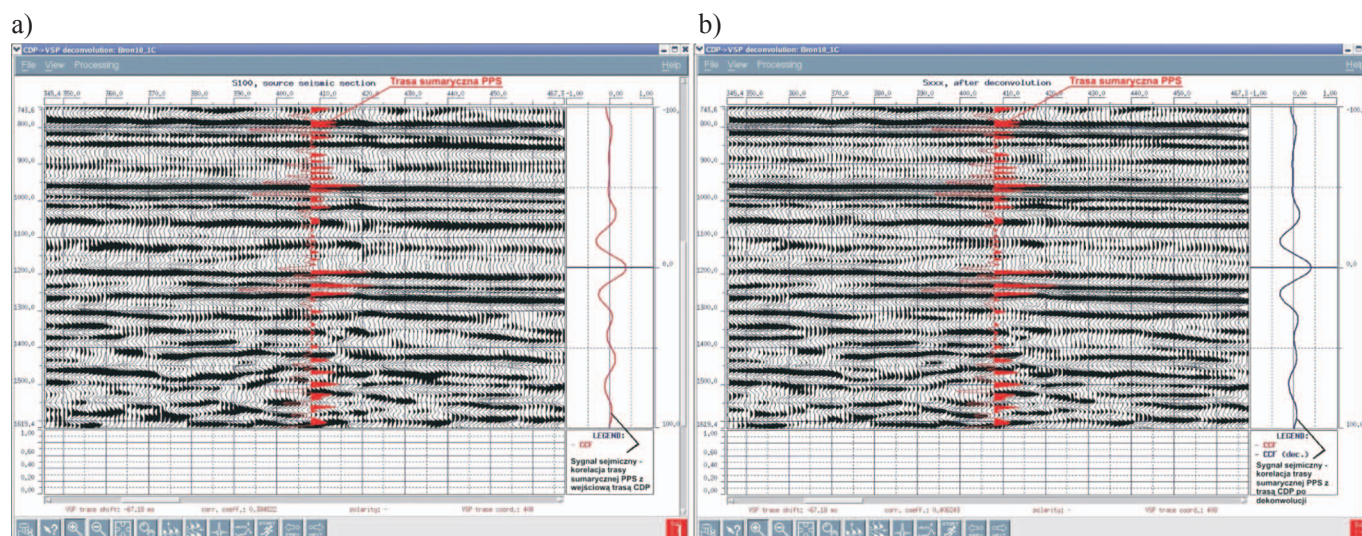
$C(\omega)$ – widmo trasy sejsmicznej,

$C^*(\omega)$ – widmo zespolone trasy sejsmicznej,

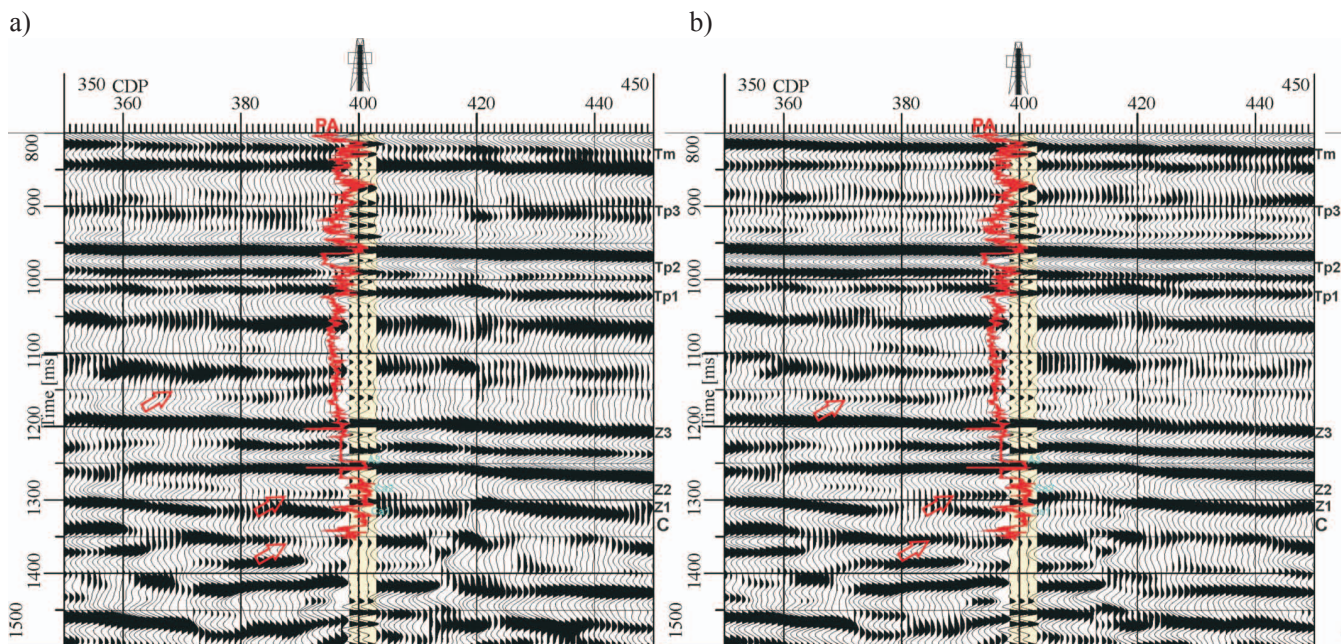
$V^*(\omega)$ – widmo zespolone trasy pierwszych wstąpiń,

Φ_{CC} – autokorelacja trasy sejsmicznej,

Φ_{CV} – cross-korelacja trasy sejsmicznej z trasą pierwszych wstąpiń PPS.



Rys. 2. Przykład użycia aplikacji obliczania dekonwolucji typu *shape filter* na danych sejsmicznych z rejonu Brońska w systemie Univers: a) dane wejściowe, b) wynik procedury dekonwolucji



Rys. 3. Porównanie jakości zapisu sejsmicznego w domenie czasu – profil T3010302, otwór Brońsko-10:
 a) dane wejściowe, b) wynik procedury dekonwolucji. Kolorem żółtym zaznaczono wpisaną trasę sumaryczną PPS, kolor czerwony – profilowanie akustyczne PA

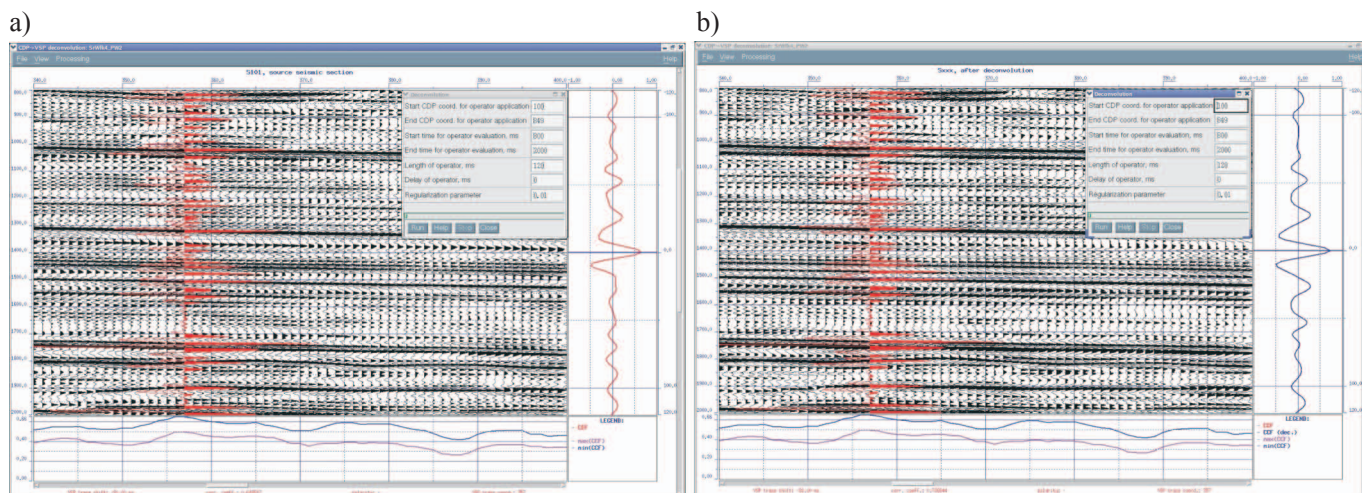
Następny przykład użycia dekonwolucji typu *shape filter* zaprezentowano na danych pochodzących z rejonu Środy Wielkopolskiej. Użyte dane sejsmiczne 3D zostały wykonane przez Geofizykę Toruń. Zrealizowano przetwarzanie pionowego profilowania sejsmicznego PPS, zarejestrowanego w otworze Środa Wielkopolska-4. Obliczono operator dekonwolucji z trasy sumarycznej (*corridor stack*) dla zero-offsetowego punktu wzbudzenia PW-2. Długość operatora dekonwolucji wynosiła 120 ms (rysunki 4 i 5). W sejsmicznych pomiarach akwizycyjnych i PPS zastosowano zakres *sweeppu* w przedziale 12÷84 Hz.

Na polu falowym (rysunki 4b i 5b) obserwuje się wzrost rozdzielczości pionowej, poprawę dynamiki oraz ciągłości

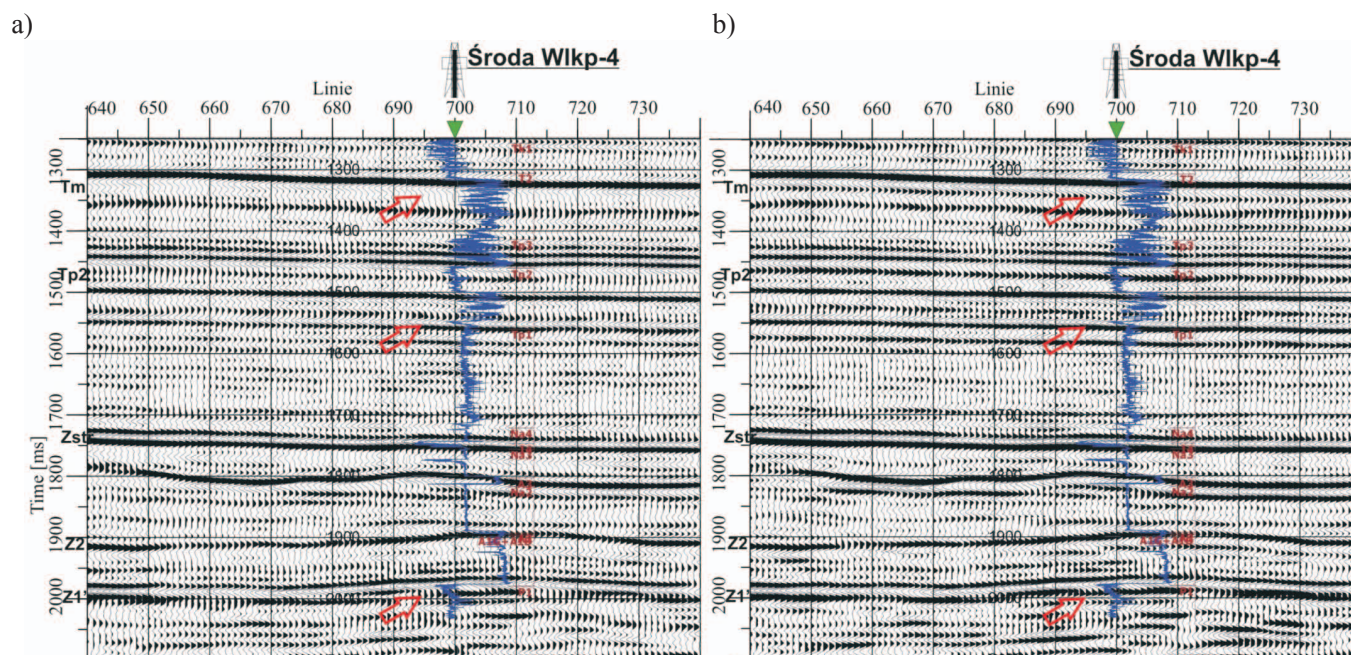
refleksów sejsmicznych. Dodatkową zaletą zastosowanej procedury dekonwolucji jest uzyskanie symetrycznego sygnału zerofazowego (rysunki 4a i 4b).

Ostatni przykład użycia dekonwolucji typu *shape filter* był realizowany na danych z rejonu podkarpackiego – okolice Załęża. Dane sejsmiczne 3D wykonała i przetworzyła Geofizyka Kraków.

Zrealizowano przetwarzanie pionowego profilowania sejsmicznego PPS, zarejestrowanego w otworze Załęże-1K. Obliczono operator dekonwolucji z trasy sumarycznej (*corridor stack*) dla zero-offsetowego punktu wzbudzenia PW-1. Długość operatora dekonwolucji wynosiła 120 ms. W sejsmicznych pomiarach akwizycyjnych zastosowano zakres



Rys. 4. Aplikacja dekonwolucji typu *shape filter* na danych sejsmicznych z rejonu Środy Wielkopolskiej w systemie Univers: a) dane wejściowe, b) wynik procedury dekonwolucji



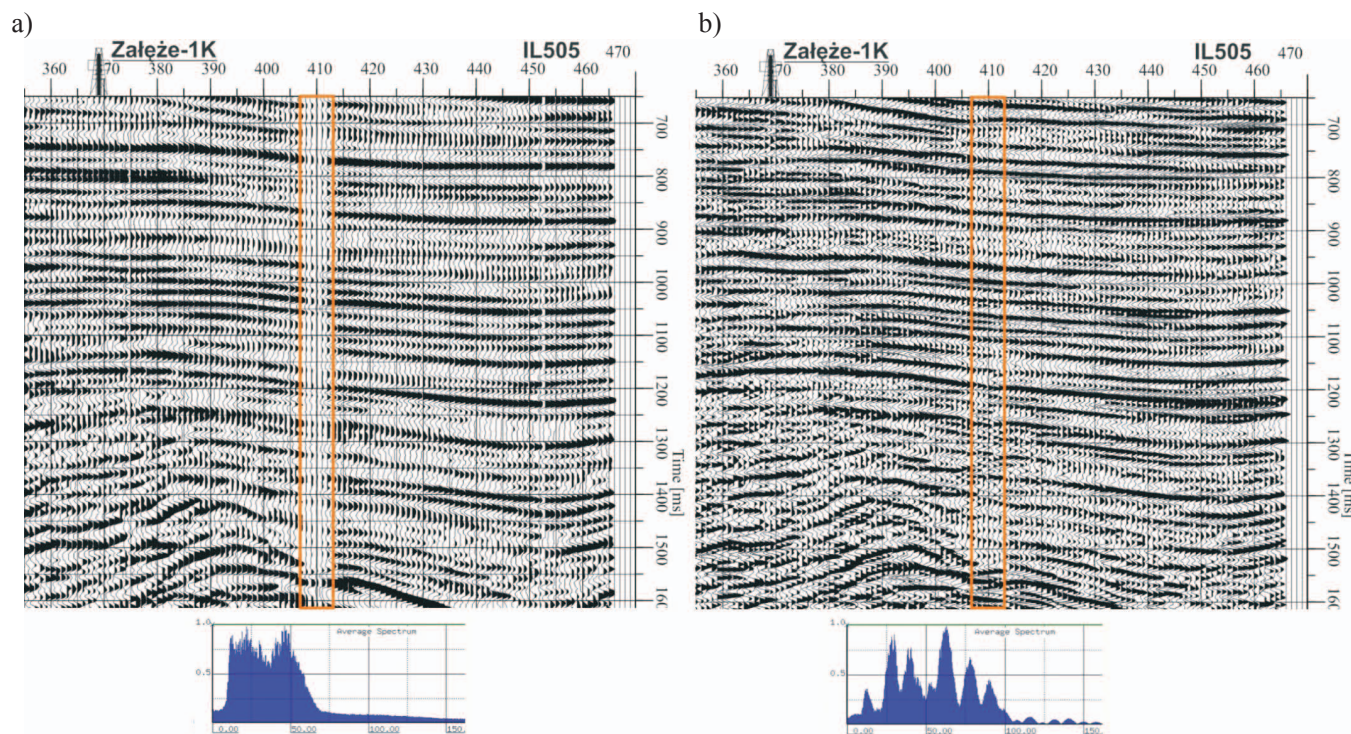
Rys. 5. Wynik zastosowania dekonwolucji typu *shape filter* na fragmentach sekcji sejsmicznej XL360 w rejonie otworu Środa Wielkopolska-4: a) dane wejściowe, b) wynik procedury dekonwolucji. Kolor niebieski – profilowanie akustyczne z przypisanymi markerami litologicznymi

sweeppu w przedziale 10÷90 Hz, natomiast w pomiarach PPS – 10÷120 Hz.

W wyniku użytej dekonwolucji *shape filter* uzyskano znaczny wzrost rozdzielczości pionowej oraz poprawę dynamiki i ciągłości refleksów sejsmicznych (rysunki 6a i 6b). Sekcja sejsmiczna IL500 została wzbogacona częstotliwo-

ściami wyższymi o interwał od 60 Hz do około 90 Hz, na poziomie wartości amplitudy 0,5. Ponadto dostrzega się dodatkową zaletę zastosowanej procedury dekonwolucji w postaci uzupełnienia sygnału na trasach 407÷412.

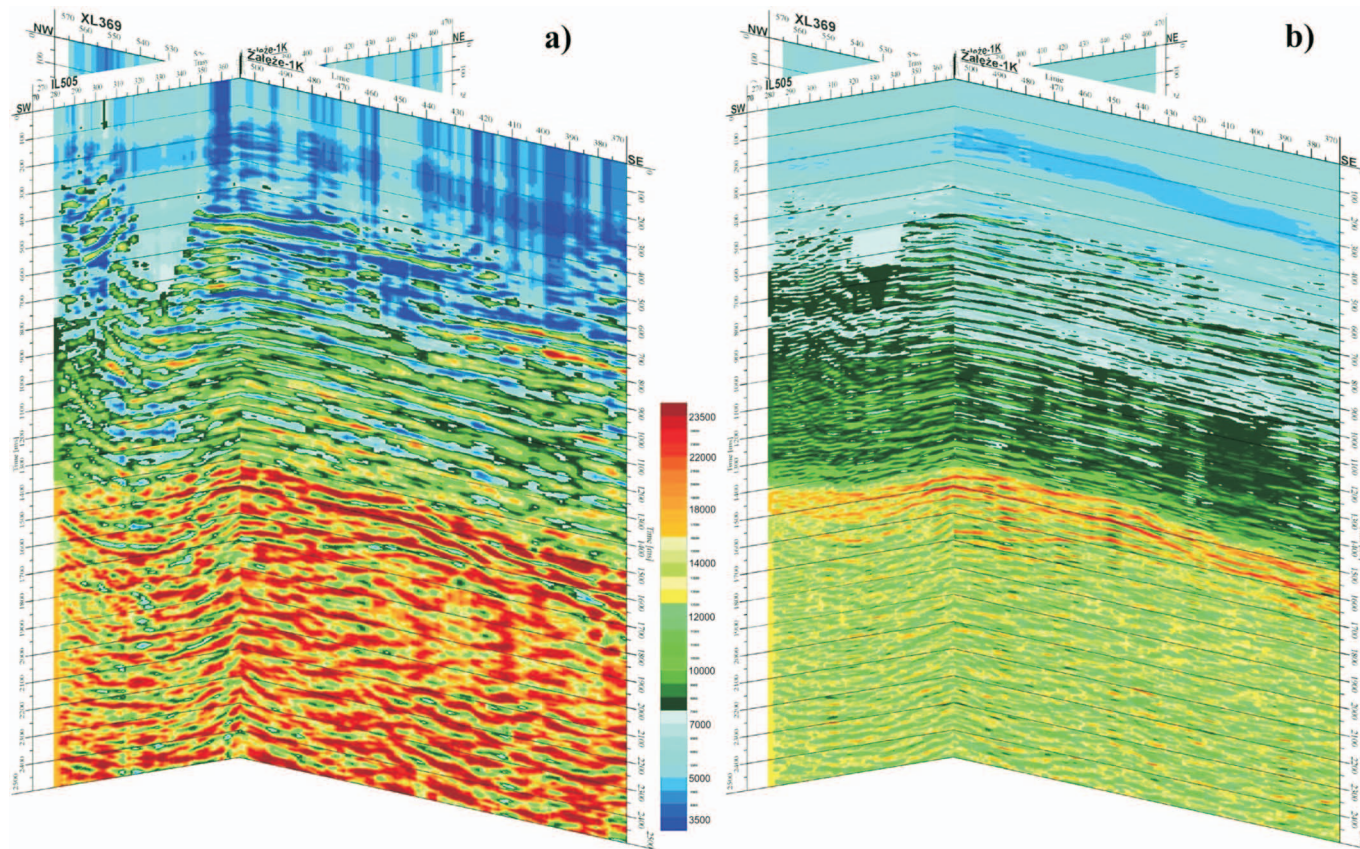
Istotny efekt poprawy rozdzielczości zapisu sejsmicznego można dostrzec na czasowych sekcjach impedancji



Rys. 6. Aplikacja dekonwolucji typu *shape filter* wraz z obliczonymi widmami amplitudowymi na fragmentach sekcji sejsmicznej IL500 w rejonie otworu Załęże-1K: a) dane wejściowe, b) wynik procedury dekonwolucji

akustycznych IL505 i XL369 (rysunki 7a i 7b), obliczanych metodą deterministyczną – rekursywną. Zdecydowanie lepiej uwidacznia się na sekcjach po dekonwolucji granica rozdziału w czasie około 1400 ms pomiędzy utworami miocenu

(przewaga koloru ciemnej zieleni) a dewonu (przewaga koloru czerwono-żółtego). Dodatkowo łatwiej jest śledzić strukturalne i litologiczne zmiany ośrodka geologicznego oraz wyznaczać horyzonty dewońskie i prekambryjskie.



Rys. 7. Przestrzenny obraz obliczonych impedancji akustycznych dla linii IL505 oraz trasy XL369 w pozycji otworu Załęże-1K: a) dane wejściowe, b) wynik procedury dekonwolucji typu *shape filter* (obliczenia impedancji akustycznej wykonała dr K. Żukowska)

Podsumowanie i wnioski

Uzyskane wyniki, związane ze zwiększeniem rozdzielczości danych sejsmicznych przy użyciu dekonwolucji typu *shape filter*, potwierdzają zasadność zastosowania tej metody w celu poprawy dokładności odtworzenia budowy geologicznej ośrodka. Wynikowe pole sejsmiczne po aplikacji dekonwolucji posiada lepszą dynamikę oraz ciągłość re-

fleksów, wzrasta też rozdzielczość pionowa, której wynik jest zależny od użytego zakresu częstotliwości zawartych w obliczonym operatorze dekonwolucji z pomiarów PPS. Dodatkową zaletą wykonania dekonwolucji typu *shape filter* na sumowanych sekcjach sejsmicznych jest uzyskanie pola falowego z sygnałem zerofazowym.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 12, s. 861–867

Artykuł nadesłano do Redakcji 1.10.2014 r. Zatwierdzono do druku 14.11.2014 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy pt. *Opracowanie procedur integracji danych sejsmiki powierzchniowej oraz pionowego profilowania sejsmicznego dla zwiększenia efektywności inwersji sejsmicznej* – praca INiG na zlecenie PGNiG SA; nr zlecenia: 328/SR/08, nr archiwalny: SR-4100-186/08.

Literatura

[1] Barton R.: *Ilościowe i jakościowe efekty zwiększenia rozdzielczości sekcji sejsmicznej w interpretacji geologicznej danych*

sejsmicznych, jako wynik uwzględnienia pomiarów pionowego profilowania sejsmicznego. Prace Naukowe INiG nr 169, 2010.

- [2] Barton R.: *Rola powierzchniowych badań sejsmicznych i pomiarów PPS w poszukiwaniach niekonwencjonalnych złóż węglowodorów typu shale gas*. Wiadomości Naftowe i Gazownicze 2012, nr 10, s. 4–6.
- [3] Barton R.: *Wyznaczanie kierunkowych zmian predkosci fal poprzecznych w strefie okoloortworowej na podstawie azymutalnych pomiarów PPS 3C*. Nafta-Gaz 2014, nr 8, s. 483–492.
- [4] Castagna J. P., Sun S., Siegfried R.: *Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons*. The Leading Edge, February 2003, vol. 22, pp. 120–127.
- [5] Chopra S., Alexeev V., Sudhakar V.: *High-frequency restoration of surface seismic data*. The Leading Edge, August 2003, vol. 22, pp. 730–738.
- [6] Jedrzejowska-Tyczkowska H., Zukowska K.: *Zwiększenie rozdzielczosci sekcji sejsmicznej w celu uwiarygodnienia ilosciowych ocen parametrow fizycznych osrodka*. Nafta-Gaz 1999, nr 6, s. 334–346.
- [7] Partyka G., Gridley J.: *Interpretational applications of spectra decomposition in reservoir characterization*. The Leading Edge, March 1999, vol. 18, pp. 353–360.
- [8] Payne M. A., Eriksen E. A., Rape T. D.: *Considerations for high-resolution VSP imaging*. The Leading Edge, March 1994, vol. 14, pp. 173–180.
- [9] Singh V., Srivastava A. K.: *Understanding the Seismic Resolution and its Limit for Better Reservoir Characterization*. Geohorizons, July 2004, vol. 9, pp. 5–36.



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

OFERTA

ZAKŁAD GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

Zakres działania:

- trójwymiarowa wizualizacja i analiza wewnętrznej struktury przestrzeni porowej skał metodą mikrotomografii rentgenowskiej (micro-CT);
- określanie rozkładu nasycenia wodą przestrzeni porowej próbek skał i kamienia cementowego metodą magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR);
- oznaczanie jakościowego i ilościowego składu mineralnego skał oraz wydzielonej frakcji ilastej na podstawie analizy rentgenowskiej;
- wyznaczanie zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych: uranu, toru i potasu w skałach, płuczkach wiertniczych i materiałach budowlanych;
- ocena elektrycznych parametrów skał (wskaźnika struktury porowej i zwilżalności);
- określanie zależności elektrycznej oporności właściwej płuczek wiertniczych od temperatury;
- ocena prędkości propagacji fal ultradźwiękowych w skałach, kamieniach cementowych i płuczkach wiertniczych;
- interpretacja profilowań geofizycznych w zakresie oceny stanu zacementowania rur okładzinowych w otworach;
- profilowanie rdzeni wiertniczych (bezpośrednio na otworze) w celu określenia całkowitej energii promieniowania gamma emitowanego przez naturalne pierwiastki promieniotwórcze (U+Th+K) metodą spektrometrii gamma (Gamma Logger).



Kierownik: dr inż. Marek Dohnalik
Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków
Telefon: 12 617-74-70
Faks: 12 653-16-65
E-mail: marek.dohnalik@inig.pl

