

Włodzimierz Figiel*, Ewa Kawalec-Latała**

ANALIZA OBRAZÓW SEKCJI PSEUDOIMPEDANCJI AKUSTYCZNEJ

1. Wprowadzenie

Gospodarki krajów wysoko rozwiniętych i rozwijających się zużywają ogromne ilości energii. Znaczna jej część pochodzi z wykorzystania ropy naftowej i gazu ziemnego, konieczne są więc ich odpowiednio duże rezerwy w celu zapewnienia nieprzerwanych dostaw energii. Możliwości długoterminowego składowania węglowodorów zapewniają sztucznie wytworzone podziemne zbiorniki.

Złoża soli kamiennej stwarzają doskonałe warunki do lokalizacji podziemnych magazynów. Zbiorniki te budowane są w kawernach solnych przez ługowanie złoża otworami z powierzchni terenu. Jednakże warunkiem powodzenia lokalizacji podziemnego zbiornika jest wysoki stopień jednorodności złoża. Brak ciągłości w przestrzennym ułożeniu złoża soli kamiennej oraz znaczne zróżnicowanie litologiczno-facjalne mogą uniemożliwić zagospodarowanie złoża soli jako podziemnego magazynu węglowodorów.

Ważne jest więc odpowiednio precyzyjne rozpoznanie wszelkich typów niejednorodności budowy złoża soli kamiennej. Możliwości takie może zapewnić poszerzenie badań o powierzchniowe pomiary sejsmiczne, a w szczególności interpretację sekcji pseudoimpedancji akustycznej [1, 2]. Sekcje pseudoimpedancji akustycznej otrzymuje się metodą inwersji sekcji sejsmicznych [7, 10].

Interpretacja geologiczna sejsmicznych danych, otrzymanych metodą pomiarów powierzchniowych, pozwala na zachowanie ciągłości w śledzeniu złoża soli kamiennej.

2. Syntetyczne sekcje pseudoimpedancji akustycznej

Modelowania wykonano przy zastosowaniu informatycznego systemu INWERS (T12B04027) [4], który służy do modelowania syntetycznych sekcji pseudoimpedancji

* Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

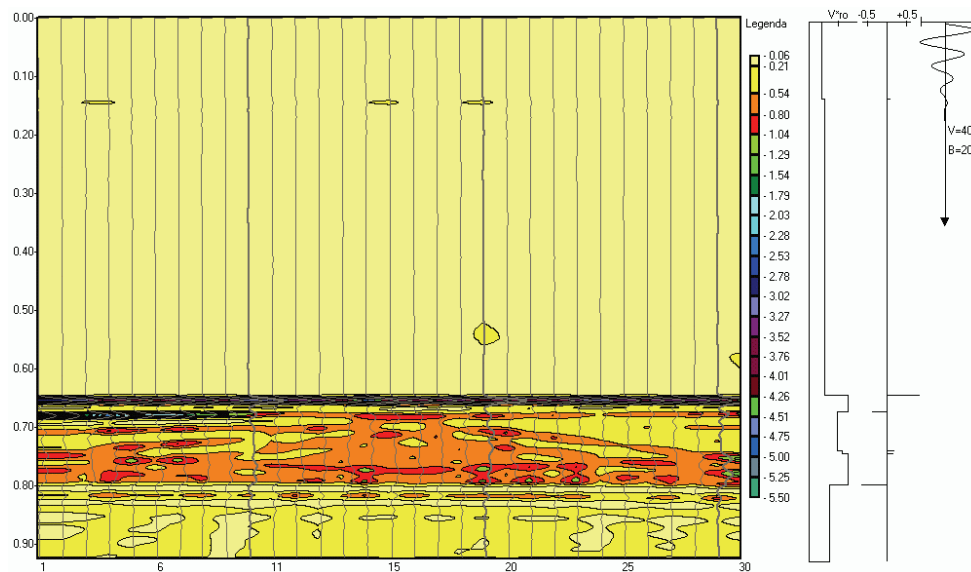
akustycznej dla zadanego modelu budowy sejsmogeologicznej ośrodka i typu sygnału sejsmicznego.

W modelu sejsmogeologicznym uwzględniono występowanie soli wtórnych i anhydrytów w sąsiedztwie soli kamiennej poprzez wprowadzenie parametrów sprężystych, typowych dla tych utworów cechsztynu [5]. Model utworzono tak, aby ocenić efektywność interpretacji typowych niejednorodności litologiczno-facjalnych i geometrycznych w pokładach soli [2].

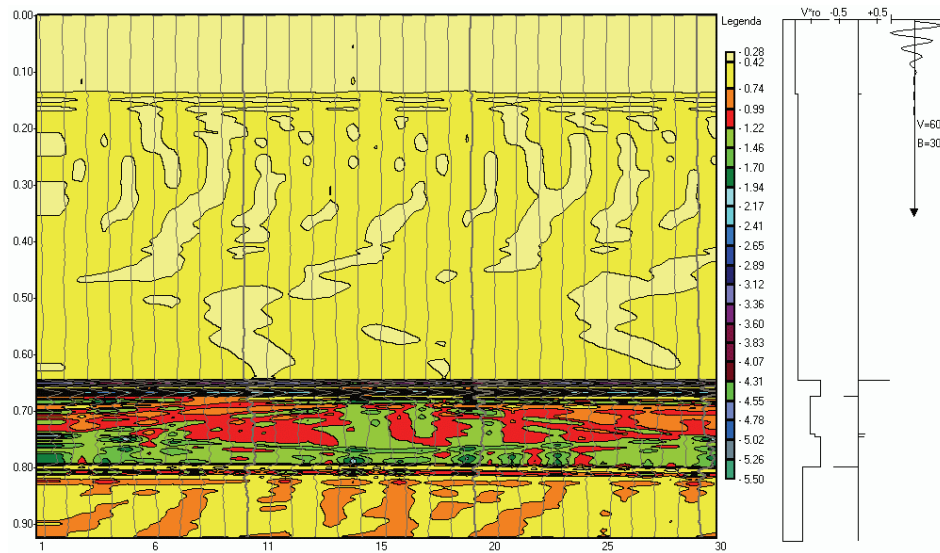
Na rysunkach 1 i 2 przedstawione są syntetyczne sekcje pseudoimpedancji akustycznej generowane z uwzględnieniem szumu o wartości 10%. Na rysunku 3 przedstawiona jest syntetyczna sekcja pseudoimpedancji akustycznej generowana dla wysokich parametrów sygnału sejsmicznego, bez szumu, traktowana jako wzorcowa w późniejszych rozważaniach.

Załączone sekcje (rys. 1–3) ułożone są w kolejności wzrostu częstotliwości dominującej sygnału, odpowiednio dla krótkich i długich czasów trwania sygnału. Pozwala to łatwo śledzić zmiany implikowane sygnałem sejsmicznym. Wszystkie sekcje pseudoimpedancji akustycznej (rys. 1–3) uzupełniono o skalę barwną obrazującą relatywne zmiany pseudoimpedancji akustycznej i wykresy uproszczonego modelu sejsmogeologicznego odpowiadającego ostatniej trasie i przeliczonego na skalę czasową, sejsmogramu impulsowego oraz sygnału sejsmicznego stosowanego do konstrukcji sejsmogramu syntetycznego.

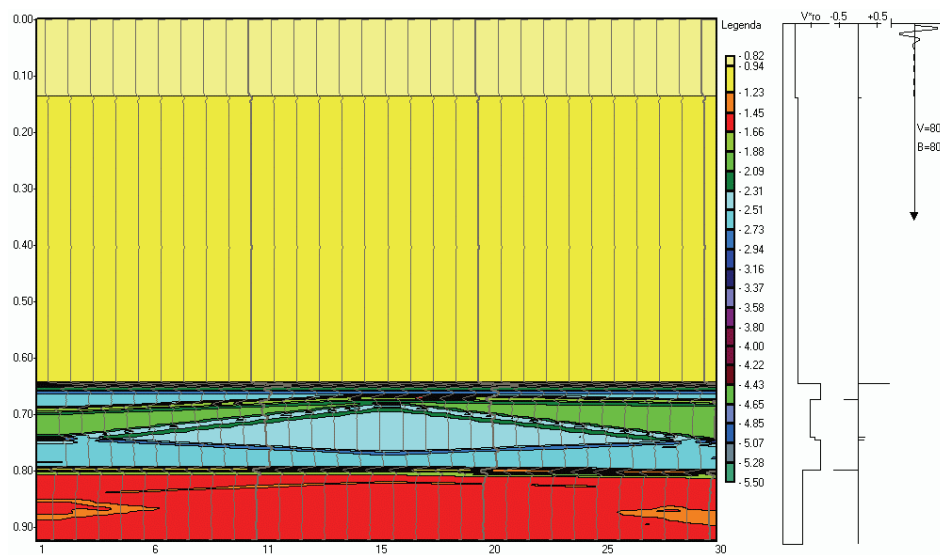
Rozdzielczość sekcji pseudoimpedancji akustycznej wzrasta w miarę wzrostu częstotliwości dominującej sygnału. Duży wpływ na poprawę jakości sekcji pseudoimpedancji akustycznej ma krótki czas trwania sygnału.



Rys. 1. Syntetyczna sekcja pseudoimpedancji akustycznej — uzupełniona o wykresy uproszczonego modelu sejsmogeologicznego $\rho \cdot v$ odpowiadającego ostatniej trasie i przeliczonego na skalę czasową, sejsmogramu impulsowego oraz sygnału sejsmicznego (częstotliwość dominująca sygnału $f = 40$ Hz, współczynnik $\beta = 20$) stosowanego do konstrukcji sejsmogramu syntetycznego. Szum 10%



Rys. 2. Syntetyczna sekcja pseudoimpedancji akustycznej — uzupełniona o wykresy uproszczonego modelu sejsmogeologicznego $\rho \cdot v$ odpowiadającego ostatniej trasie i przeliczonego na skalę czasową, sejsmogramu impulsowego oraz sygnału sejsmicznego (częstotliwość dominująca sygnału $f = 60$ Hz, współczynnik $\beta = 30$) stosowanego do konstrukcji sejsmogramu syntetycznego. Szum 10%



Rys. 3. Syntetyczna sekcja pseudoimpedancji akustycznej — uzupełniona o wykresy uproszczonego modelu sejsmogeologicznego $\rho \cdot v$ odpowiadającego ostatniej trasie i przeliczonego na skalę czasową, sejsmogramu impulsowego oraz sygnału sejsmicznego (częstotliwość dominująca sygnału $f = 80$ Hz, współczynnik $\beta = 80$) stosowanego do konstrukcji sejsmogramu syntetycznego

Dokładność i wiarygodność interpretacji sekcji pseudoimpedancji akustycznej znacznie maleje, jeśli wzrasta poziom zakłóceń spowodowany szumem obecnym w interpretowanych danych [3].

Z analizy przedstawionych sekcji pseudoimpedancji akustycznej wynika, że przy długim czasie trwania sygnału, niskiej częstotliwości dominującej sygnału i wysokim poziomie zakłóceń rozdzielczość sekcji pseudoimpedancji akustycznej pogarsza się w stopniu uniemożliwiającym jej interpretację metodą wizualnej oceny.

3. Opis danych generowanych w systemie INWERS (T12B04027)

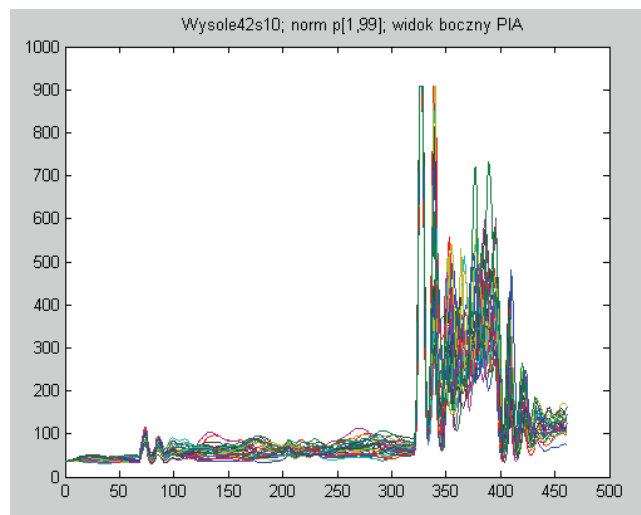
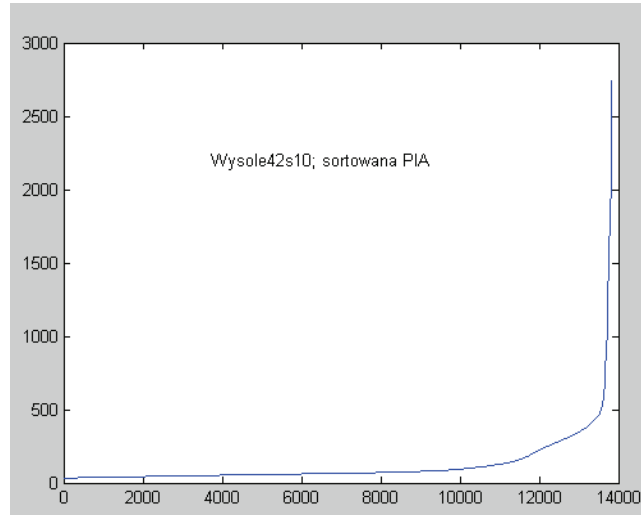
Macierze wartości wyjściowych systemu INWERS (T12B04027) i ich wizualizacja, którą stanowią obrazy sekcji pseudoimpedancji akustycznej, mogą być czytelne i łatwe w interpretacji geofizycznej i geologicznej tylko przy spełnieniu określonych warunków. Wysoką rozdzielczość uzyskuje się przy krótkich sygnałach o wysokiej częstotliwości dominującej. Gdy do symulacji włączone są efekty szumu, typowego dla warunków pomiarów terenowych, sekcje pseudoimpedancji akustycznej są trudne do interpretacji. Podjęto próbę wykorzystania techniki analizy i przetwarzania obrazów jako metody dla interpretacji sekcji o wysokim poziomie zakłóceń [3]. Komputerowa obróbka obrazów generowanych przez system INWERS (T12B04027), która ułatwiłaby poprawne interpretowanie sekcji pseudoimpedancji akustycznych dla pozyskania informacji geologicznych, jest celem niniejszego opracowania.

W poniższych rozważaniach przedstawiono proces poszukiwania metod komputerowego wsparcia interpretacji wyników symulacji systemu INWERS (T12B04027).

4. Przekształcenia obrazów dla efektywnej interpretacji geologicznej

Wyniki uzyskiwane z symulacji są macierzami [461*30]-elementowymi o wartościach typu całkowitego. Dla poszczególnych modeli mają charakter wartości względnych. Porównując analizowane macierze zauważono duże różnice w analizowanych wartościach danych. Obraz przykładowej macierzy danych analizowanych przedstawia rysunek 4.

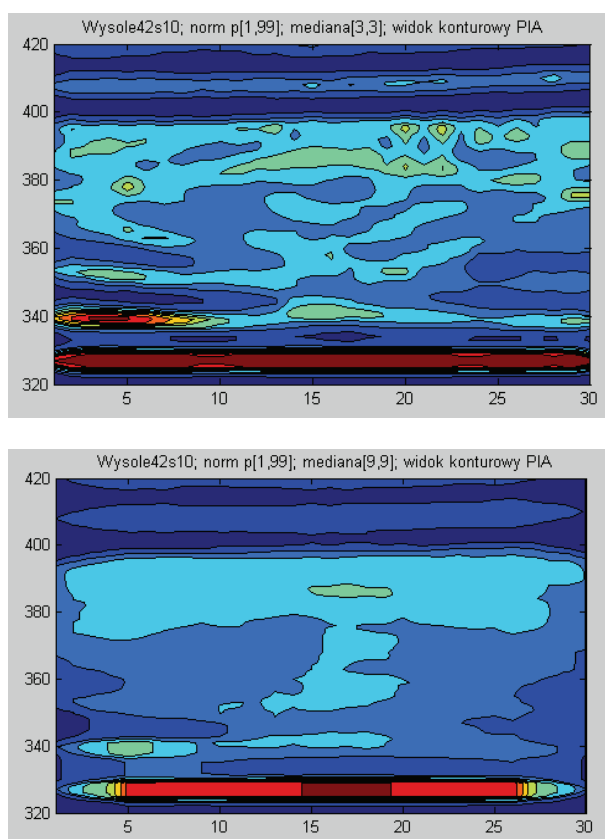
Dla macierzy obliczono medianę i wartości górnych percentyli (95., 98. i 99. percentyl). Percentyl rozkładu wartości jest liczbą x_p o takiej własności, że odsetek p wartości populacji jest mniejszy lub równy wartości x_p ; np. 99. percentyl jest wartością zmiennej, poniżej której znajduje się 99% wartości. Elementy macierzy o wartościach przekraczających badany percentyl (95, 98 i 99%) zastąpiono pierwotnie wartościami zerowymi, lecz to zmieniło charakter obrazu. Bardziej naturalna i nie zmieniająca charakteru obrazu okazała się metoda zastępowania wartości największych wartością badanego percentyla.



Rys. 4. Wizualizacja 2D macierzy posortowanych względnych wartości pseudoimpedancji akustycznej (IA) dla modelu WS42s10 oraz jako widok boczny wartości IA po normalizacji percyntylowej [1, 99], wzdłuż głębokości Z

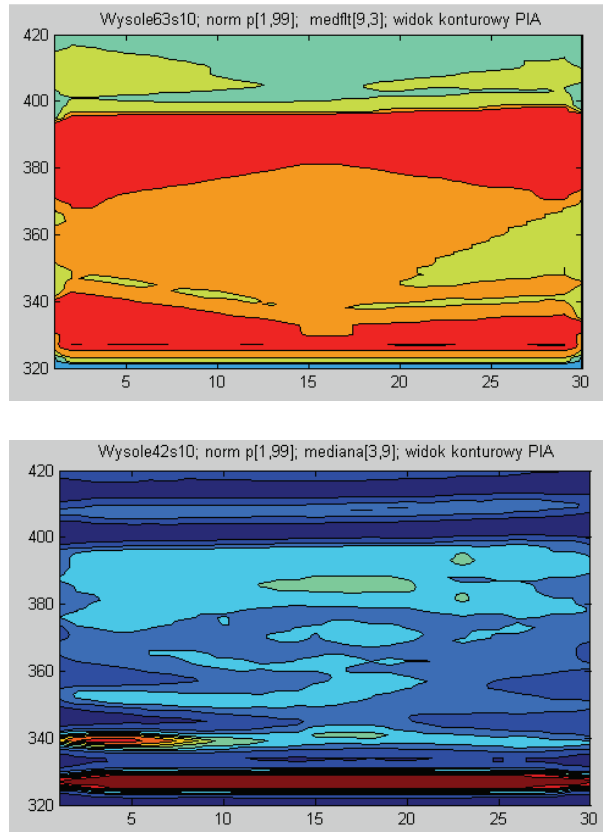
W literaturze traktującej o technikach komputerowego przetwarzania obrazu spotyka się wiele sposobów, z których najważniejsze to przekształcenia geometryczne, punktowe, kontekstowe, widmowe i morfologiczne [9]. Dla celu tego opracowania wykorzystujemy przekształcenia przy pomocy filtrów kontekstowych [8]. Oznacza to, że dla wyznaczenia jednego punktu obrazu przekształconego należy wykonać obliczenia dla wielu punktów obrazu źródłowego.

W naszym przypadku, aby filtracja usuwając zakłócenia nie niszczyła drobnych szczegółów i co najważniejsze krawędzi przetwarzanych obrazów, stosujemy filtrację nieliniową, jaką jest filtr medianowy. Wartość przekształconego punktu obrazu jest medianą wartości otoczenia tego punktu w obrazie źródłowym. Wynik przekształcenia jest uzależniony od wielkości przyjętego otoczenia (obszaru liczenia mediany) i w naszym przypadku był dobierany eksperymentalnie z zakresu od 3 do 9 pikseli w różnych konfiguracjach. W analizowanych obrazach, w przypadku dobrego obrazu źródłowego i zbyt dużego obszaru mediany, przekształcony obraz traci właściwe kontury. Przykład takiej sytuacji pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Obraz przekształconego filtracją medianową o zbyt małym i zbyt dużym otoczeniu modelu W42s10 sekcji pseudoimpedancji akustycznej

Dla przypadków o niskiej częstotliwości podstawowej sygnału sejsmicznego, małym współczynniku tłumienia i wystąpieniu zakłóceń obraz oryginału staje się szczególnie mało czytelny. Jakość możliwości interpretacji poprawia filtracja medianowa o optymalnych dla tych warunków parametrach. Efekty optymalnego działania przedstawione są na rysunku 6.



Rys. 6. Obrazy konturowe modelu WS63s10 i WS42s10 z przekształceniem dla optymalnej filtracji medianowej

Obraz słabo czytelny lub wręcz nieczytelny z systemu INWERT prezentowany na rysunku 3 i w postaci konturowej na rysunku 6a staje się znacznie łatwiejszy do interpretacji.

5. Podsumowanie i wnioski

Analizowane i opracowywane modele syntetycznych sekcji pseudoimpedancji akustycznej dla modelu sejsmogeologicznego HMSGS-1 wzorowano na złożach soli kamiennej.

Przerosty anhydrytów w pokładach soli kamiennej muszą być rozpoznane przed podjęciem decyzji o lokalizacji podziemnego zbiornika. Metoda inwersji tras sejsmicznych w kierunku obliczania pseudoimpedancji akustycznej jest skuteczna w rozpoznawaniu tego typu form. Problemem pozostaje zawsze rozdzielczość metody dla rozwiązywania takich zagadnień. Modelowania syntetycznych sekcji pseudoimpedancji akustycznej, wykonane

dla danej konfiguracji geologicznej złoża soli z uwzględnieniem wtrąceń anhydrytu, wskazują na możliwość detekcji anhydrytu występującego w złożu soli kamiennej. Prezentowane syntetyczne sekcje pseudoimpedancji akustycznej dostarczają także informacji o warunkach, jakie muszą być spełnione, aby interpretacja wykonana dla oceny niejednorodności pokładu soli była możliwa i wiarygodna. Oczywiście jakość interpretacji będzie rosła w miarę poprawy jakości materiału sejsmicznego.

Z analizy przedstawionych sekcji pseudoimpedancji akustycznej wynika, że przy długim czasie trwania sygnału, niskiej częstotliwości dominującej sygnału i wysokim poziomie zakłóceń rozdzielczość sekcji pseudoimpedancji akustycznej pogarsza się w stopniu uniemożliwiającym jej interpretację metodą wizualnej oceny.

Interpretacja oparta o komputerowo wsparte interpretacje obrazów sekcji pseudoimpedancji akustycznej o wysokim poziomie zakłóceń pozwoliłaby na uzyskiwanie informacji o rozkładzie oporu akustycznego w ośrodku skalnym w sposób ciągły.

Zdobyte doświadczenia potwierdzają przydatność komputerowej analizy i przetwarzania obrazów dla poprawiania czytelności i jakości interpretacji generowanych obrazów w systemie INWERS (T12B04027).

Wycinkowy i eksperymentalny charakter zdobytych doświadczeń wymaga rozszerzenia rozpoznania w zakresie innych konfiguracji złoża i formacji geologicznych.

Wprowadzane w modelu zakłócenia pogarszające warunki identyfikacji zmian litologicznych powinny podlegać rozpoznaniu pod względem rozszerzonej gamy innych rodzajów filtracji.

Powiązanie danych symulacyjnych z pomiarami terenowymi pozwoliłoby na pełniejszą weryfikację przydatności i stopnia skuteczności sugerowanej metody.

LITERATURA

- [1] *Kawalec-Latala E.*: Rozpoznawanie niejednorodności pokładowych złóż soli w aspekcie budowy podziemnych zbiorników. Miesięcznik WUG, nr 5, 2003, s. 45–46
- [2] *Kawalec-Latala E.*: Wykrywanie zmian litologicznych w pokładach soli metodami powierzchniowymi. ZSMGiG, nr XXIX, Geotechnika i budownictwo specjalne, 2006, s. 189–194
- [3] *Kawalec-Latala E.*: Wpływ poziomu szumu na rozdzielczość sekcji pseudo-impedancji akustycznej w NW części LGOM. Górnictwo Odkrywkowe, nr 7, 2007, s. 81–86
- [4] *Kawalec-Latala E.*: Projekt Badawczy nr 4 T12B 040 27, 2007
- [5] *Krynicky T.*: Własności sprężyste utworów cechsztyńskich. Kwart. Geol., t. 24, nr 3, 1980
- [6] *Meldahl P., Heggland R., Bril B., Groot P.*: Identifying faults and gas chimneys using multiattributes and neural networks. Norway/ Netherland, The Leading Edge, May 2001
- [7] *Oldenburg D.M., Shauer T., Levy S.*: Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms: Geophysics. Vol. 48, 1983, s. 10
- [8] *Rudnicki Z., Figiel W.*: Komputerowa analiza i kompensacja zakłóceń obrazów powierzchni tarcia ślizgowego. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, vol. 41, z. 2, 2006, s. 171–183
- [9] *Tadeusiewicz R., Korohoda P.*: Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów. WFPT, Kraków 1997
- [10] *Veeken O.C.H., DA SILWA M.*: Seismic inversion methods and some of their constraints First Break. Vol. 22, June 2004