

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.

Złoże 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

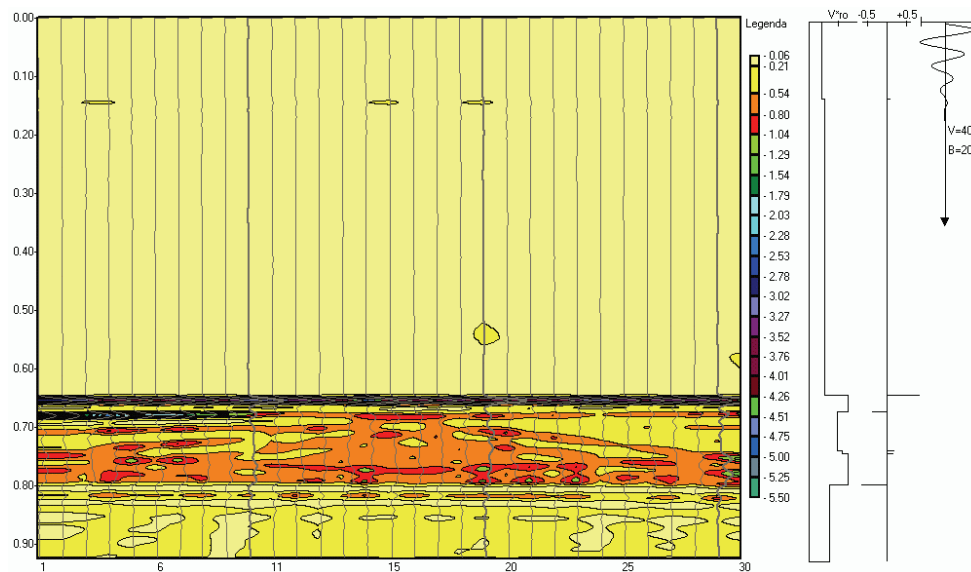
akustycznej dla zadanego modelu budowy sejsmogeologicznej ośrodka i typu sygnału sejsmicznego.

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].

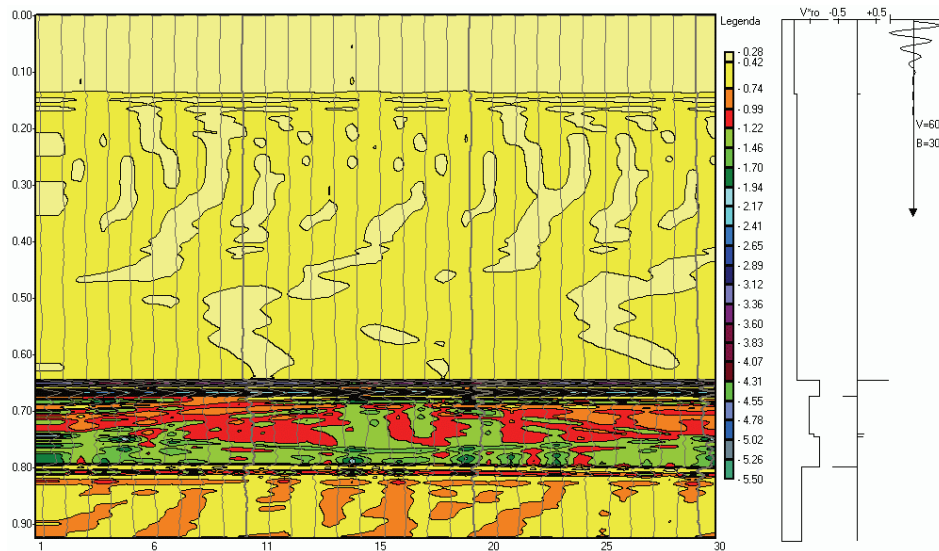
Na rysunkach 1 i 2 przedstawione są syntetyczne sekcje pseudoimpedancji akustycznej generowane z uwzględnieniem szumu o wartości 10%. Na rysunku 3 przedstawiona jest syntetyczna sekcja pseudoimpedancji akustycznej generowana dla wysokich parametrów sygnału sejsmicznego, bez szumu, traktowana jako wzorcowa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

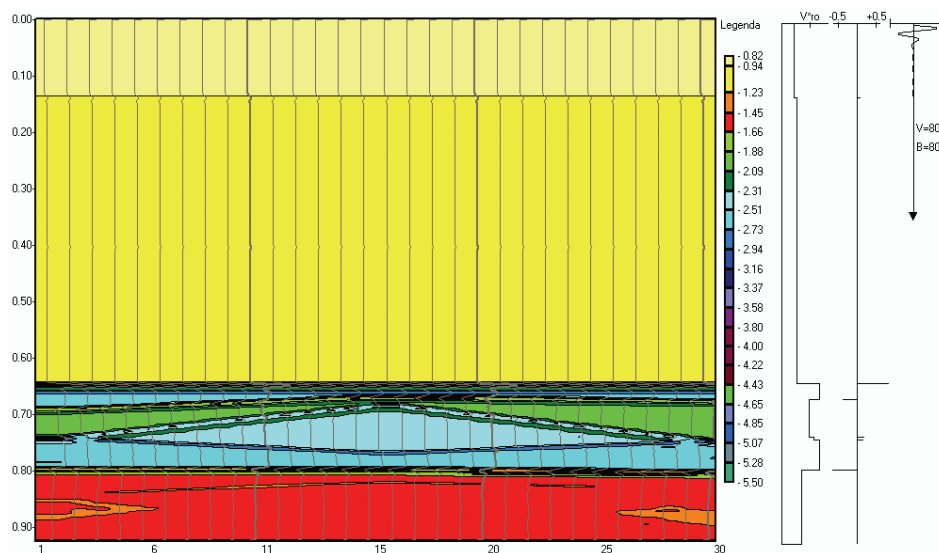
Rozdzielczość sekcji pseudoimpedancji akustycznej wzrasta w miarę wzrostu częstotliwości dominującej sygnału. Duży wpływ na poprawę jakości sekcji pseudoimpedancji akustycznej ma krótki czas trwania sygnału.



**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)**

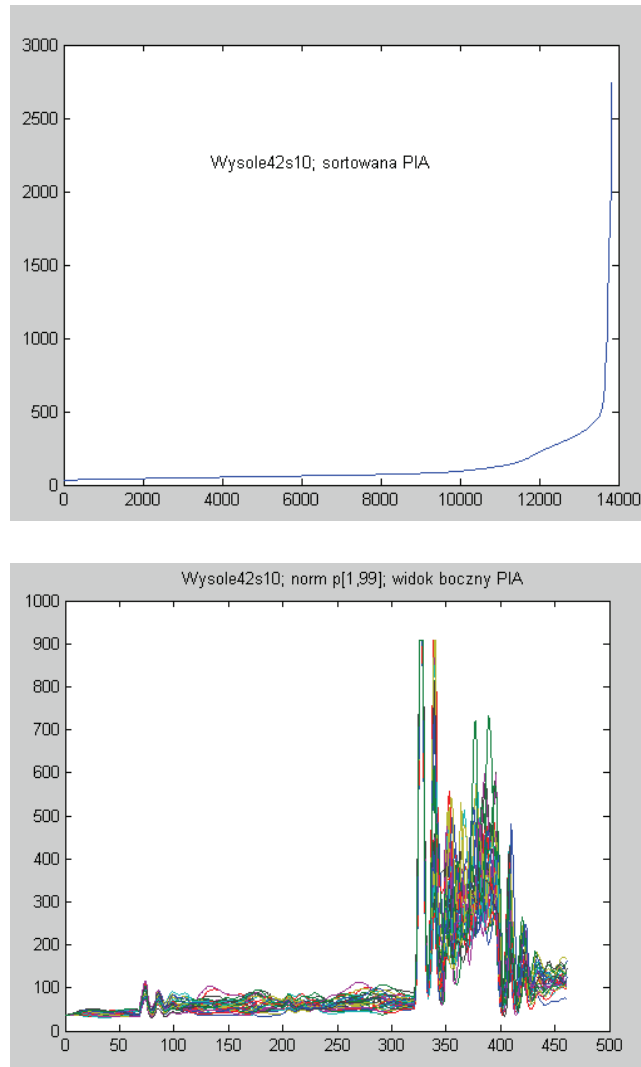
Macierze wartości wyjściowych systemu INWERS (T12B04027) i ich wizualizacja, którą stanowią obrazy sekcji pseudoimpedancji akustycznej, mogą być czytelne i łatwe w interpretacji geofizycznej i geologicznej tylko przy spełnieniu określonych warunków. Wysoką rozdzielczość uzyskuje się przy krótkich sygnałach 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 ułatwiałaby 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.

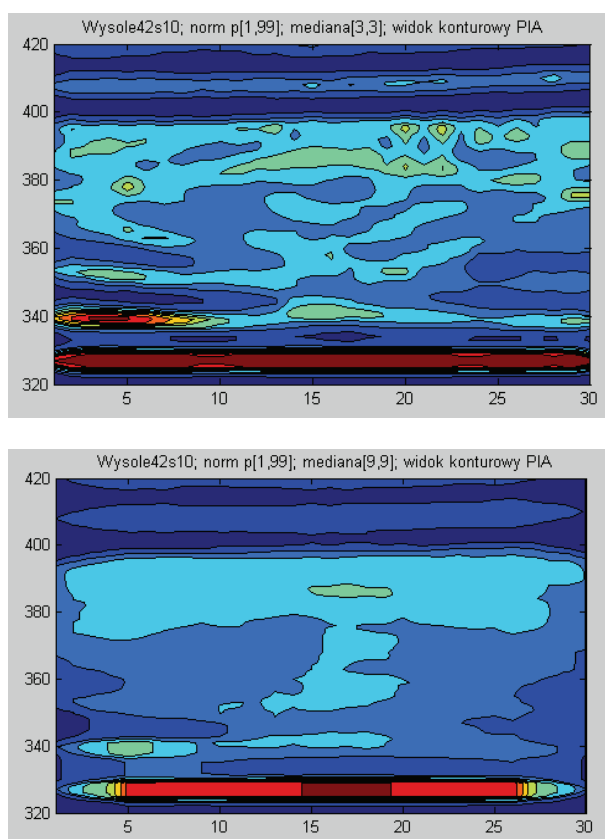
Dla macierzy obliczono medianę i wartości górnych percentyli (95., 98. i 99. percentyl). Percentyl rozkładu wartości jest liczbą  $x_p$  o takiej własności, że odsetek  $p$  wartości populacji jest mniejszy lub równy wartości  $x_p$ ; np. 99. percentyl jest wartością zmiennej, poniżej której znajduje 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 percentylowej [1, 99], wzdłuż głębokości  $Z$

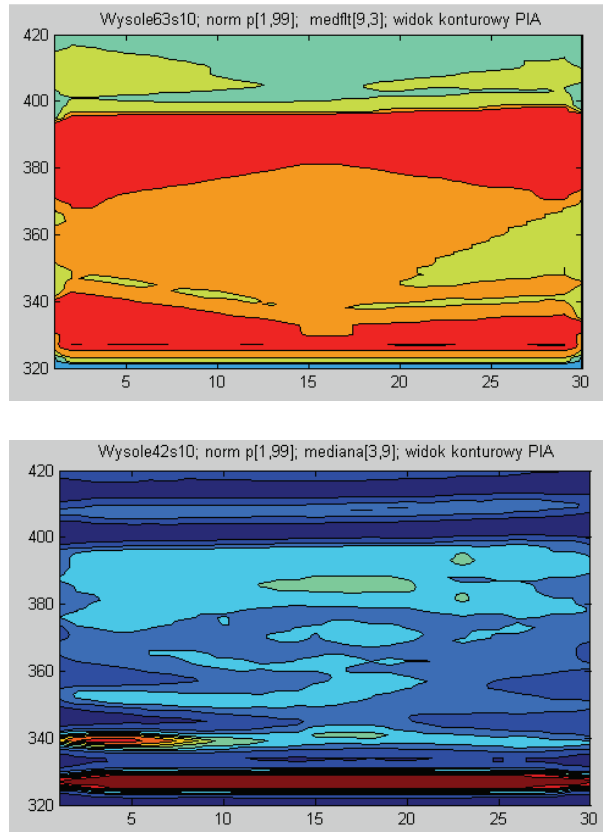
W literaturze traktującej o technikach komputerowego przetwarzania obrazu spotyka się wiele sposobów, z których najważniejsze to przekształcenia geometryczne, punktowe, kontekstowe, widmowe i morfologiczne [9]. Dla celu tego opracowania wykorzystujemy przekształcenia przy pomocy filtrów kontekstowych [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 sejsmologicznego 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