

WŁODZIMIERZ FIGIEL*, EWA KAWALEC-LATAŁA**

Zastosowanie analizy i przetwarzania obrazów do interpretacji syntetycznych sekcji pseudo-impedancji akustycznej

1. Wprowadzenie – identyfikacja zmian litologicznych metodami sejsmiki powierzchniowej

Prace związane z analizą możliwości wiarygodnej interpretacji sekcji pseudo-impedancji akustycznej w celu detekcji zmian w budowie litologicznej pokładu soli kamiennej metodami sejsmiki powierzchniowej wynikają z zainteresowania budową podziemnych zbiorników.

Złóża soli kamiennej stwarzają doskonałe warunki do lokalizacji podziemnych zbiorników. Jednakże, budowa zbiorników i późniejsze ich wykorzystanie jako magazynów powinno być wykonywane jedynie w partiach złoża soli o jednorodnej wewnętrznej strukturze i poziomym lub prawie poziomym warstwowaniu. W tym kontekście detekcja niejednorodności litologiczno-facjalnych w budowie pokładowych złóż soli kamiennej jest bardzo ważna. Istnieją przesłanki teoretyczne, zweryfikowane obliczeniami symulacyjnymi na modelach (Kawalec-Latała 2003), że zmiany takie mogą być rozpoznane na podstawie interpretacji sekcji pseudo-impedancji akustycznej. Sekcje pseudo-impedancji akustycznej otrzymuje się metodą inwersji sejsmogramów sejsmicznych (Oldenburg i in. 1983). Metoda ta opracowana przede wszystkim dla poszukiwań złóż węglowodorów teoretycznie może być stosowana wszędzie tam, gdzie niejednorodnej budowie geologicznej towarzyszy zmiana impedancji akustycznej. Teoretycznym podstawom inwersji trasy sejsmicznej w kierunku obliczania pseudo-oporu akustycznego poświęcona jest bogata literatura.

* Dr inż., Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: figiel@uci.agh.edu.pl

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

Wiele problemów pojawia się w momencie jej praktycznego zastosowania (Berteussen, Ursin 1983; Kawalec-Latała 2007).

2. Prace i wyniki systemu INWERS modelowania sekcji pseudo-impedancji akustycznej

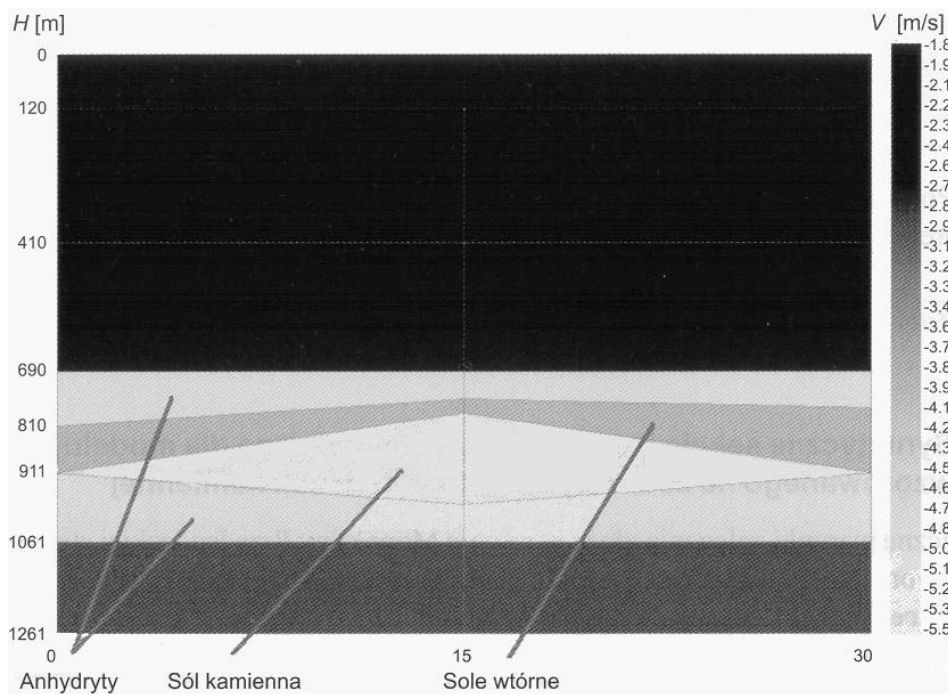
Wynikający z przyczyn obiektywnych, brak kompleksowej i wyczerpującej informacji o oporze akustycznym na trasach sejsmicznych rejestrowanych w terenie, skłania do poszukiwania metod pozwalających określić, w jakim stopniu jest wiarygodna interpretacja geologiczna na podstawie takich danych. Próba eliminacji zakłóceń powoduje na ogół także częściową utratę danych użytecznych. Dotyczy to zwłaszcza tych sygnałów, których zakres częstotliwości nakłada się na zakres częstotliwości sygnałów użytecznych. Sposoby eliminacji zakłóceń są ściśle implikowane ich naturą. Generalnie, zakłócenia dzieli się na dwie grupy. Jedną, to wszystkie zakłócenia regularne, wynikające z fizycznych praw rozchodzenia się fal sprężystych w ośrodku skalnym. Ogólnie nazywane są one zakłóceniami koherentnymi i jako takie nie stanowią one przedmiotu naszych rozważań. Drugą grupę stanowią tzw. zakłócenia niekoherentne spowodowane ograniczonym zakresem częstotliwości sygnału sejsmicznego oraz szumem przypadkowym. Szum przypadkowy jest niezależny od czasu rejestracji. To oznacza, że jego poziom jest na całym czasie rejestracji podobny, podczas gdy energia propagujących w ośrodku skalnym fal sprężystych znacznie maleje w miarę wzrostu czasu rejestracji. Rezultatem jest to, że sygnał użyteczny traci więc swoją energię, podczas gdy szum przypadkowy zachowuje swój stały poziom. W miarę wzrostu czasu rejestracji pogarsza się (czasami drastycznie) relacja wielkości stosunku sygnału użytecznego do zakłóceń. W tym przypadku skuteczne i bezpieczne metody filtracji w trakcie pomiaru są poza zakresem częstotliwości sygnałów użytecznych.

Interpretacja sekcji pseudo-impedancji akustycznej ma charakter oceny wizualnej. Zależy ona od jakości warunków sejsmicznych ze szczególnym uwzględnieniem poziomu zakłóceń i doświadczenia interpretatora. Całkowita eliminacja zakłóceń z danych rzeczywistych nigdy nie jest możliwa. Ponadto, przetwarzanie danych poprzedzające proces inwersji, wymagający nie zaburzonej relacji amplitud stanowi dodatkowe ograniczenie. Z tych powodów podjęto próbę zastosowania komputerowych metod przetwarzania obrazów do interpretacji sekcji pseudo-impedancji akustycznej dla wykrywania zmian litologicznych w pokładach soli.

Metodę testowano na hipotetycznym modelu sejsmiczno-geologicznym złoża soli HMSGS-1. Model zdefiniowano na płaszczyźnie XZ, gdzie Z – to współrzędna głębokościowa, a X – to współrzędna pozioma na płaszczyźnie odniesienia (powierzchnia ziemi). Model składa się z warstw o różnej oporności akustycznej. Dla każdej warstwy modelu podaje się jej miąższość, gęstość oraz prędkość rozchodzenia się fali sejsmicznej. Pierwszą warstwą modelu HMSGS-1, jest górna półprzestrzeń, dla której zadaje się miąższość równą zero, a prędkość i gęstość takie same, jak w pierwszej warstwie ośrodka skalnego (w celu

uniknięcia odbicia od powierzchni ośrodka). Ostatnią warstwą jest dolna półprzeźroczystość. Jako dolną półprzeźroczystość w modelu, przyjmuje się najniższą warstwę. Od stropu tej warstwy odbija się promień sejsmiczny.

W systemie przyjęto długość modelu w dziedzinie czasu równą maksymalnemu czasowi $2T_0$ przebiegu i powrotu sygnału sejsmicznego z powierzchni do stropu warstwy ostatniej. W pokładzie soli kamiennej założono wtrącenia soli wtórnie przeobrażonych oraz anhydrytu (w spągu i stropie). W modelu HMSGS-1 uwzględniono występowanie soli kamiennej i soli wtórnych w formie soczewki jak i anhydrytów (w stropie i spągu) poprzez wprowadzenie wartości sprężystych typowych dla tych utworów cechsztynu oraz formacji nadkładowych (Krynicky 1980). Graficzna prezentacja modelu wzorcowego HMSGS-1 przedstawiona jest na rysunku 1.



Rys. 1. Uproszczony model HMSGS-1 budowy sejsmiczno-geologicznej ośrodka

Fig. 1. Simplified seismological the HMSGS-1 model

System INWERS (T12B04027), który służy do modelowania syntetycznych sekcji pseudo-impedancji akustycznej dla zadanego modelu budowy seismogeologicznej ośrodka i typu sygnału sejsmicznego. W prezentowanych badaniach modelowych zastosowano sygnał Puzyriva opisany zależnością (1)

$$s(t) = \exp(-\beta^2 \cdot t^2) \cdot \sin(2\pi f_0 t \pm \varphi_0) \quad (1)$$

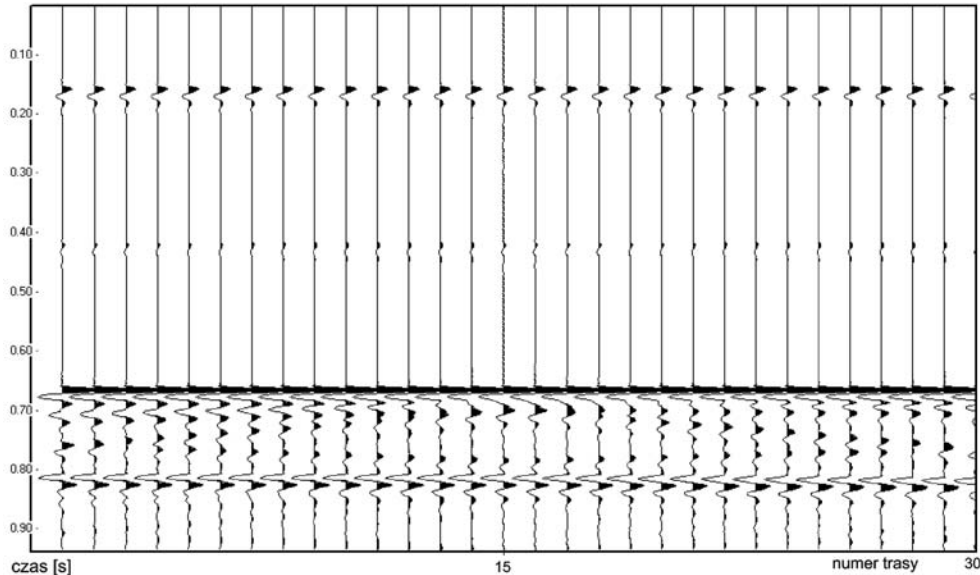
Parametrami sygnału są:

- f_0 – częstotliwość dominująca sygnału zmieniana w zakresie od 40 do 80 [Hz],
- β – współczynnik tłumienia,
- φ – faza początkowa.

W systemie INWERS (T12B04027) przewidziana jest możliwość nakładania szumu przypadkowego na generowane sejsmogramy syntetyczne. Przykładowe syntetyczne sekcje sejsmiczne generowane dla częstotliwości dominującej 40 [Hz] i współczynnika tłumienia $\beta = 1$ z szumem 10% dla modelu wzorcowego HMSGS-1 z rysunku 1, przedstawiono poniżej na rysunku 2.

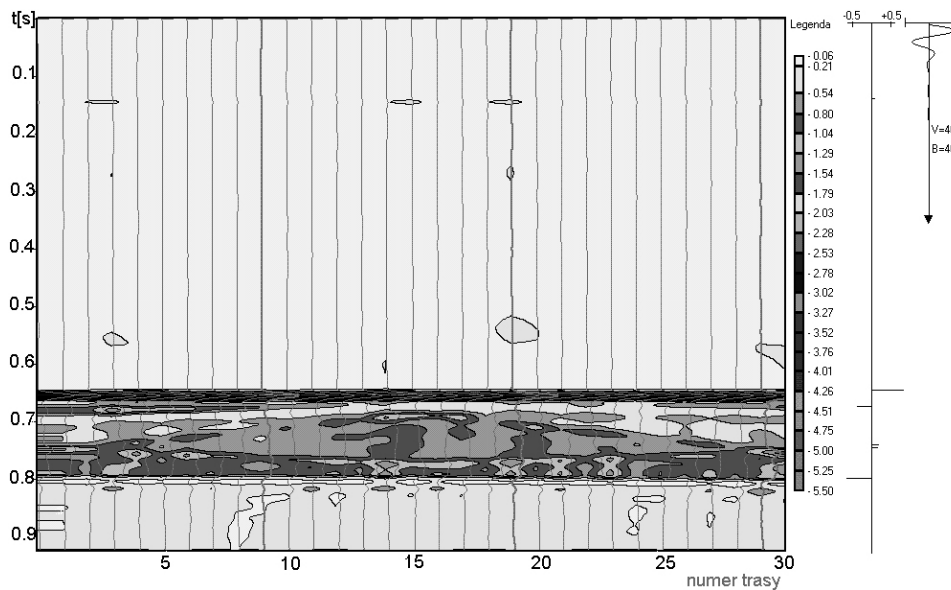
Analiza policzonych dla modelu sejsmogeologicznego z rysunku 1 syntetycznych sekcji pseudo-impedancji akustycznej wskazuje na niskie wymagania względem jakości sygnału sejsmicznego. Jednakże, trudne lub wręcz niemożliwe do interpretacji będą te sekcje, gdzie niskiej częstotliwości dominującej towarzyszy długi czas trwania sygnału. Obraz sekcji pseudo-impedancji akustycznej dla modelu WS44s10, którego bezpośrednia interpretacja nastręcza zasadniczych trudności ilustruje rysunek 3. Przy takiej samej częstotliwości dominującej, ale dłuższym sygnale interpretacja staje się niemożliwa. Dla wyższej, częstotliwości dominującej i krótkich sygnałów, jakość obrazu do identyfikacji sekcji jest wystarczająco dobra.

Sekcje pseudo-impedancji akustycznej prezentowane na rysunku 3, uzupełniono o skalę barwną obrazującą relatywne zmiany pseudo-impedancji akustycznej i sejsmogramu impul-



Rys. 2. Czasowe sekcje syntetyczne policzone dla modelu WS44s10 z sygnałem źródłowym $f = 40$ [Hz], współczynnikiem tłumienia $\beta = 1$ i szumem 10%

Fig. 2. Synthetic seismic section v. time calculated for the WS44s10 model (dominant frequency $f = 40$ [Hz], $\beta/f = 1$, noise 10%)



Rys. 3. Obraz sekcji pseudoimpedancji akustycznej dla modelu WS44s10

Fig. 3. Image of acoustic pseudoimpedance section for the WS44s10 model

sowego, oraz sygnału sejsmicznego stosowanego do konstrukcji sejsmogramu syntetycznego. Wykresy przedstawione są w ujednoliconej skali czasowej, zgodnej ze skalą sekcji pseudo-impedancji akustycznej.

Wprowadzenie do modelu sejsmogeologicznego, soli wtórnych i anhydrytów pozwala ocenić możliwości detekcji tych stref na sekcjach pseudo-impedancji akustycznej. Interesująca z punktu widzenia lokalizacji podziemnego magazynu formacja cechsztyńska (na syntetycznych sekcjach pseudo-impedancji akustycznej, dla których skalą pionową jest skala czasowa) występuje w zakresie czasu 0,27–0,45s.

3. Analiza danych generowanych w systemie INWERS(-T12B04027)

Macierze wartości wyjściowych systemu INWERS(-T12B04027) i ich obrazy sekcji pseudo-impedancji akustycznej są czytelne i łatwe w interpretacji geofizycznej i geologicznej tylko dla wybranych parametrów. Przy sygnałach o niższych częstotliwościach (ok. 40–60 Hz), a równocześnie wyższych wartościach współczynnika ilorazu wiążącego częstotliwość dominującą drgań sejsmicznych do czasu tłumienia, interpretacja obrazów nie jest już tak prosta i jednoznaczna. Gdy do symulacji włączone są efekty szumu, typowego dla warunków pomiarów terenowych, sekcje impedancji akustycznej nie są tworamami spójnymi i łatwo wyróżnianymi. Powstaje zatem pytanie, czy istnieją metody wspierające ich poprawne interpretowanie. Z przeglądu dostępnych metod takich jak statystyka, sieci neuronowe i techniki analizy i przetwarzania obrazów, metoda ostatnia okazała się być najefektywniejsza

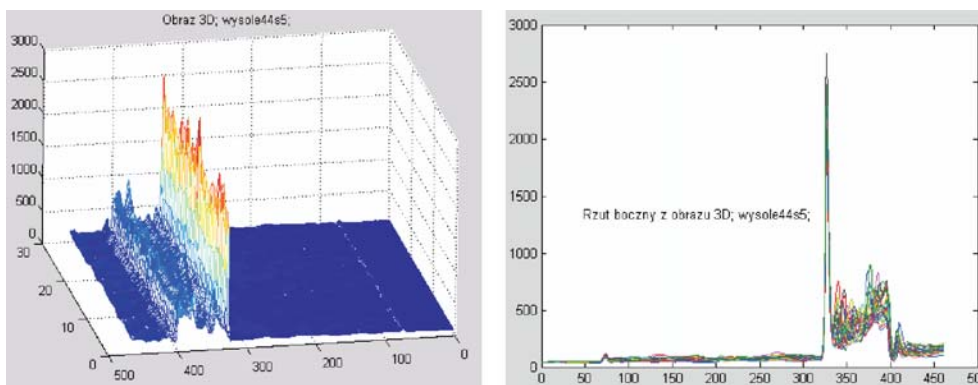
(Meldahl, Hegglund, Bril, Groot 2001; Rudnicki, Figiel 2006; Tadeusiewicz, Korohoda 1997). Komputerowa obróbka obrazów generowanych przez system INWERS(-T12B04027), która ułatwiałaby poprawne wyszukiwanie sekcji pseudo-impedancji akustycznych dla interpretacji geologicznych jest celem niniejszego opracowania.

Stawiając hipotezę, że istnieje możliwość opracowania algorytmu obróbki posiadanych wyników obliczeń modelowych i weryfikując jej prawdziwość, można się w kolejnym podejściu do problemu zmierzyć z opracowaniem algorytmu wspomagającego interpretację graficznych obrazów badań terenowych. W poniższych rozważaniach przedstawiono proces poszukiwania metod komputerowego wsparcia interpretacji wyników symulacji systemu INWERS(-T12B04027). Krytyczne ustosunkowanie się do osiągniętych wyników ma pomóc w weryfikacji postawionej hipotezy.

4. Charakterystyka podstawowych danych przetwarzanych obrazów.

Wyniki uzyskiwane z symulacji są macierzami $[461 \times 30]$ elementowymi o wartościach typu całkowitego. Dla poszczególnych modeli mają charakter wartości względnych, czyli nie były one skalowane by interpretować wartości macierzy w postaci danych geofizycznych. Porównując analizowane macierze, zauważono duże różnice (dochodzące do dwóch rzędów) w analizowanych wartościach danych. Obraz przykładowej macierzy analizowanych danych wynikowych przedstawia rysunek 4.

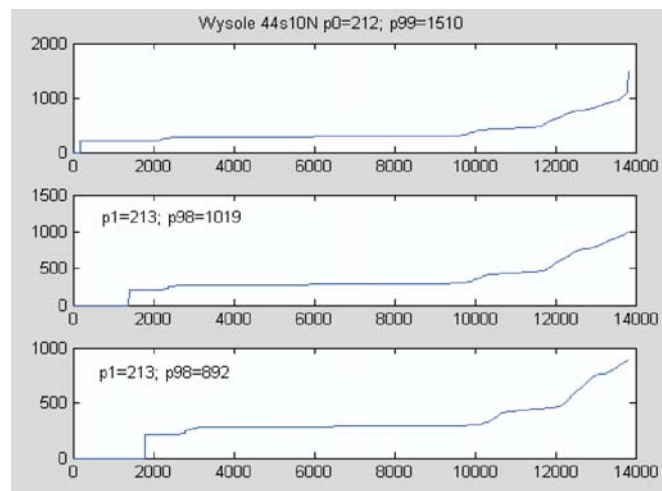
W celu wyszukania prawidłowości, całą macierz potraktowano jako jeden zbiór, którego elementy posortowano w kolejności rosnącej. Pozwoliło to obliczyć dla takich zbiorów medianę i wartości górnych percentyli (95,98 i 99-ty percentyl). Percentyl rozkładu wartości



Rys. 4. Wizualizacja 3D macierzy względnych wartości impedancji akustycznej (IA – oś pionowa; nr tras 0–30 i głębokość 0–500 – osie poziome) dla modelu WS44s5 i widok boczny wartości IA wzdłuż głębokości Z

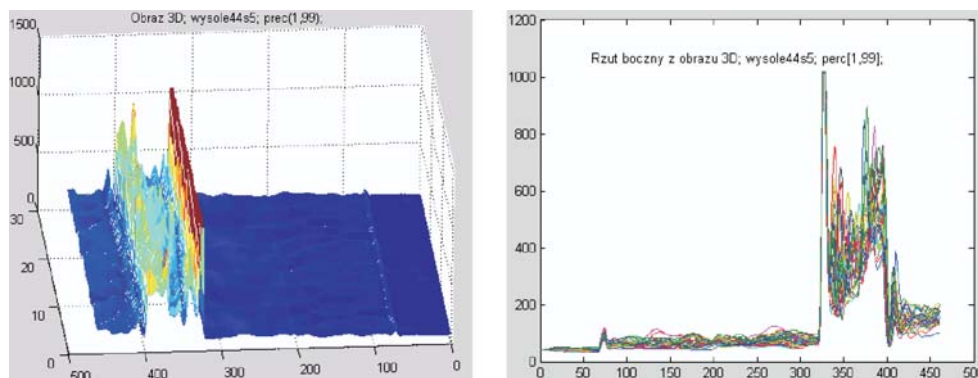
Fig. 4. Matrix three-dimensional visualisation of relative acoustic pseudoimpedance value (IA – vertical axis; trace no 0–30 & depth 0–500 – horizontal axis) of the WS44s5 model and its side view along depth

jest liczbą x_p o takiej własności, że odsetek p wartości populacji jest mniejszy lub równy wartości x_p . Przykładowo 99-ty percentyl jest wartością zmiennej, poniżej której znajduje się 99% wartości. Ta operacja pozwala na wyszukanie w badanej macierzy elementów o wartościach największych, które utrudniają tworzenie czytelnego obrazu. Elementy macierzy o wartościach przekraczające badany percentyl (95, 98 i 99%) zastąpiono pierwotnie wartościami zerowymi. Zbiór posortowanych względnych impedancji akustycznej dla górnych percentyli macierzy przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Zbiór posortowanych wartości względnych impedancji akustycznej (IA – oś pionowa, oś pozioma – nr elementu macierzy) dla 99, 98, 95 percentyla

Fig. 5. Set of incrementally ordered relative acoustic pseudoimpedance (IA – vertical axis, matrix element no – horizontal axis) with 99, 98, 95 percentile normalization



Rys. 6. Wizualizacja 3D przykładowej macierzy impedancji akustycznej (oś pionowa), po normalizacji percentylowej dla modelu WS44s5 i jej widok boczny wzdłuż głębokości

Fig. 6. Matrix three-dimensional visualization of relative acoustic pseudo impedance value (vertical axis) after percentile normalization of the WS44s5 model and its side view along depth

Analiza obrazu 3D wartości macierzy wskazała sztuczność takiego podejścia wypaczającego obraz obrabianych danych. Bardziej naturalne i nie wpływające negatywnie na interpretację okazała się metoda zastępowania wartości największych wartością badanego percentyla. Obrazy 3D wartości impedancji akustycznej wybranej macierzy uzyskanej z symulacji systemem INWERS(-T12B04027) po normalizacji percentylowej przedstawia rysunek 6.

5. Przekształcenia kontekstowe sekcji obrazów impedancji akustycznej

W literaturze traktującej o technikach komputerowego przetwarzania obrazu, spotyka się wiele sposobów z których najważniejsze to przekształcenia geometryczne, punktowe, kontekstowe, widmowe i morfologiczne (Tadeusiewicz, Korohoda 1997). Obrazy cyfrowe są podatne na wpływy różnego rodzaju szumów. Jest kilka sposobów wnikania szumów do zapisu obrazu w zależności od tego jak obraz jest tworzony. Przykładowo, jeśli obraz jest skanowany, to szum może być wynikiem działania skanera; jeśli obraz jest pozyskiwany bezpośrednio w formie cyfrowej, to mechanizm gromadzenia danych (np. detektor CCD, szumy toru pomiarowego, itp) może wprowadzać szum; ponadto samo przesyłanie i transmisja danych może wprowadzać szum.

Narzędzia MATHLAB'a, używanego w obliczeniach na potrzeby tego opracowania, dostarczają kilka sposobów usuwania czy też redukcji szumu w zapisie obrazu. Skuteczność metody walki z szumem uzależniona jest od jego rodzaju. Jako ogólną zasadę można wyróżnić trzy sposoby walki z szumami: użycie filtrów liniowych, filtrów medianowych i adaptacyjnych.

Filtry liniowe używane są do usuwania niektórych zakłóceń. Przykładowo, filtr uśredniający lub Gauss'a jest odpowiedni dla typowego usuwania ziarna obrazu. Ponieważ każdy piksel obrazu zostaje zamieniony wartością średnią jego otoczenia, miejscowa wariancja obrazu powodowana wyrazistością ziarna jest redukowana.

Filtr medianowy ma działanie podobne do działania filtru liniowego w tym sensie, że wejściowa wartość piksela (oryginalnego) obrazu jest zastępowana wartością uzależnioną od wartości pikseli będących w sąsiedztwie (otoczeniu) piksela wejściowego. Różnica jest w tym, że wartość piksela wyjściowa, jest określana przez medianę otoczenia a nie przez wartość średnią. Mediana jest mniej czuła na wartości ekstremalne będące w otoczeniu. Medianowy filtr jest zatem skuteczniejszy w redukcji wpływów na obraz przez wartości skrajne bez redukcji ostrości obrazu. Popularnie, tego rodzaju filtry stosuje się dla usuwania tzw. efektów „pieprzu i soli” na obrazie. Filtr medianowy należy do tzw. filtrów porządkująco-statystycznych.

Dla celu tego opracowania, wykorzystujemy przekształcenia przy pomocy filtrów kontekstowych (Tadeusiewicz, Korohoda 1997). Polegają one na modyfikacji poszczególnych elementów obrazu w zależności od stanu ich samych i ich otoczenia. Operacje te mają charakter kontekstowy opisywany funkcjami splotu. Oznacza to, że dla wyznaczenia jednego

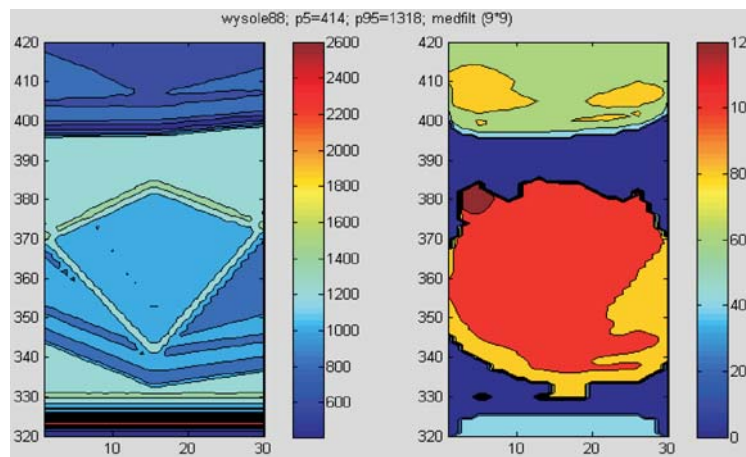
punktu obrazu przekształconego należy wykonać obliczenia dla wielu punktów obrazu źródłowego. W komputerowej analizie, reprezentacja pikselowa obrazu powoduje, że dziedziną funkcji $D(m,n)$ jest dwuwymiarowa i dyskretna. Splot funkcji dla funkcji ciągłych

$$g(x) = f(x) \cdot h(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x-t)h(t)dt \quad (2)$$

upraszcza się do formuły iloczynu (konwolucji). Dla 2-wymiarowego dyskretnego obrazu, formuła ta ma postać podaną poniżej:

$$D'(m,n) = W(m,n) \cdot D(m,n) = \sum_{i,j \in K} D(m-i,n-j)W(i,j) \quad (3)$$

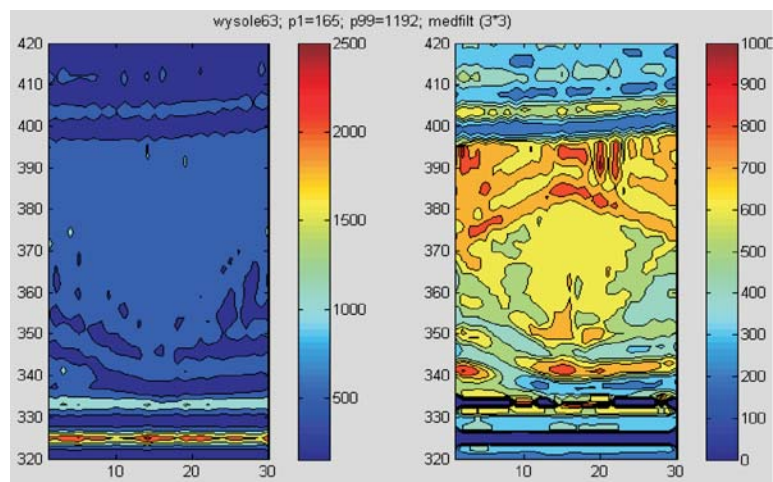
W naszym przypadku, aby filtracja usuwając zakłócenia nie niszczyła drobnych szczegółów i co najważniejsze krawędzi przetwarzanych obrazów stosujemy filtrację nieliniową jaką jest filtr medianowy. Mediana z próby (ang. median) jest jedną z miar tendencji centralnej, dla której połowa obserwacji (50%) leży powyżej, a druga połowa poniżej jej wartości. Jeśli liczba obserwacji w próbie jest parzysta, wówczas mediana jest obliczana jako średnia z dwóch wartości leżących pośrodku. 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 w postaci prostokąta o wymiarach 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 7.



Rys. 7. Obrazy wzorcowego modelu WS88 sekcji impedancji akustycznej i obrazu przekształconego z filtracją medianową o zbyt dużym otoczeniu

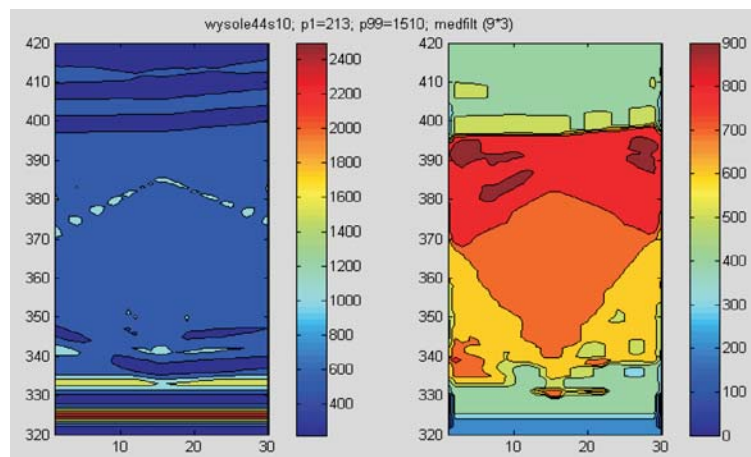
Fig. 7. Contour images of acoustic pseudoimpedance section of demonstration WS88 model and its after processing image for too big surrounding median filtration

Jak można zauważyć na obrazach 3D (rys. 4 i 6) interesujące zakresy impedancji akustycznej są schowane między charakterystycznymi dwoma granicami warstw oddzielającymi nadkład i spong. Te warstwy (górną nadkładu i dolną spongu) na rysunku 7 i następnych, będą pomijane jako nieinteresujące. W prezentowanych obrazach wizualizowane będą tylko obszary antracytu, soli kamiennej i soli wtórnych. Obraz pokazujący oryginał macierzy impedancji akustycznych dla modelu WS63 i efekty filtracji medianowej dla małego $[3 \times 3]$ pikseli otoczenia przedstawia rysunek 8.



Rys. 8. Obrazy konturowe oryginału modelu WS63 z efektem drobnej filtracji medianowej

Fig. 8. Contour images of acoustic pseudo impedance section of WS63 model and its after processing image for to small surrounding median filtration



Rys. 9. Obrazy konturowe oryginału modelu WS44s10 i przekształcenia z efektem optymalnej filtracji medianowej

Fig. 9. Contour images of acoustic pseudo impedance section of the WS44s10 model and its after processing image for optimal surrounding median filtration

Dla przypadków o niskiej częstotliwości podstawowej sygnału sejsmicznego, małym współczynnikiem 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 9.

Obraz słabo czytelny lub wręcz nieczytelny z systemu INWERS prezentowany na rysunku 3, i w postaci konturowej na rysunku 9a, staje się znacznie łatwiejszy do interpretacji, co można zauważyć z rysunku 9b.

6. Koncepcja użycia filtracji adaptacyjnej z algorytmem Wiener'a

W rzeczywistych pomiarach seismograficznych, dane obrazujące stan rzeczywisty jest złożoną formą danych niosących informacje i różnych zakłóceń. Powodują one powstawanie braku ostrości obrazu, rozmazanych form obrazów i przesunięć tworzących cienie. Rozmazany, zamglony lub poruszony obraz może być aproksymowany opisem równania:

$$g = H \cdot f + n \quad (4)$$

gdzie: \mathbf{g} – nieostry obraz; \mathbf{H} – operator zniekształcenia, często nazywany operatorem funkcji rozmycia punktu (PSF – point spread function). W przestrzeni trójwymiarowej, PSF opisuje stopień rozproszenia punktu światła przez system optyczny. Funkcja PSF jest odwrotną transformata Fourier'a optycznej funkcji transferu (przejścia) (OTF). W dziedzinie częstotliwości, OTF opisuje odpowiedź liniowego, pozycyjno niezmiennego systemu (position invariant system) na impuls. OTF jest transformatą Fourier'a funkcji rozmycia punktu (PSF). Operator zniekształcenia \mathbf{H} , wprowadzony do opisu obrazu, tworzy zniekształcenie. Zniekształcenie to, powodowane przez operator funkcji rozmycia (PSF) jest tylko jednym z wielu typów rozmycia obrazu; \mathbf{f} – oryginalny, hipotetycznie prawdziwy obraz; \mathbf{n} – dodatkowy szum, wprowadzony w trakcie pozyskiwania obrazu, który go psuje.

Na uwagę zasługuje fakt, że obraz prawdziwy \mathbf{f} nie istnieje gdyż jego pozyskanie musiałoby nastąpić w idealnych nieistniejących warunkach.

Bazując na założeniach do modelu rozmycia (PSF), zasadniczym zadaniem procesu wyostrzania obrazu jest odwrócić proces zniekształceń wykorzystując PSF, który opisuje proces zniekształceń. Proces ten nazywamy dekonwolucją (ang. deconvolution) i jest procesem odwrotnym do efektów zniekształceń – konwolucji. Należy zdawać sobie sprawę, że jakość ostrości odzyskiwanego obrazu zależy głównie od znajomości operatora \mathbf{H} funkcji rozmycia (PSF). Funkcja PSF w matematyce definiowana jest przez długość rozmazania punktu np. 37 pikseli, oraz kąt „ciągnięcia” podawany w stopniach.

Dla potrzeb naszego opracowania, sugeruje się wykorzystanie funkcji **wiener2** MATLAB'a w programach transformujących obrazy. Przy jej pomocy można przeprowadzić adaptacyjną, dwu wymiarową filtrację usuwającą szum. Działanie polega na zastosowaniu fil-

tru dolno przepustowego kontrastu obrazu w warunkach obecności stałej wartości mocy szumu. Metoda bazuje na algorytmie Wienera – statystycznej estymacji parametrów szumu dla lokalnego sąsiedztwa każdego punktu obrazu. Algorytm działa w postaci trzech kroków:

- wylicza dla otoczenia każdego piksela obrazu wartość średnią (5) oraz wariancję według zależności (6)

$$\mu = \frac{1}{NM} \sum_{n_1, n_2 \in \eta} a(n_1, n_2) \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{NM} \sum_{n_1, n_2 \in \eta} a^2(n_1, n_2) - \mu^2 \quad (6)$$

gdzie: $n_1, n_2 \in \eta$ jest $N \times M$ elementowym sąsiedztwem każdego punktu (piksela) obrazu.

- określa kwadrat wariancji szumu v^2 dla zidentyfikowanych przebiegów szumu lub przy braku danych oblicza kwadrat średniej wariancji ze wszystkich lokalnych otoczeń pikseli filtrowanego obrazu;
- wylicza nową wartość piksela z zależności (7)

$$b(n_1, n_2) = \mu + \frac{\sigma^2 - v^2}{\sigma^2} (a(n_1, n_2) - \mu) \quad (7)$$

Filtr adaptacyjny ma działanie dopasowywane do lokalnej wariancji obrazu. Wykorzystuje on opisany powyżej algorytm Wiener'a. W lokalnych regionach obrazu, gdzie wariancja jest duża, filtr wygładza tylko nieznacznie (przyjmując, że zmiany są istotą obrazu). W odwrotnym przypadku tj. w regionach o małej zmienności (wariancja jest mała) wygładzanie filtru jest mocniejsze. Takie podejście daje lepsze rezultaty niż działanie filtru liniowego. Filtr adaptacyjny jest bardziej selektywny w porównaniu z filtrem liniowym, zachowując ostrość krawędzi i części obrazu o dużej dynamice wartości pikseli. Filtry te wymagają większych mocy obliczeniowych dla efektywnego przetwarzania dużych obrazów.

Filtry adaptacyjne wykorzystujące algorytm Wiener'a są najefektywniejsze w przypadku obecności w obrazie oryginalnym zidentyfikowanego szumu „białego” (o stałej mocy). Formą takiego szumu jest np. szum o rozkładzie Gaussa.

Efekty praktyczne zastosowania wyżej wymienionej metody są przedmiotem bieżących eksperymentów i z uwagi na fragmentaryczność zgromadzonych doświadczeń i brak opracowanych końcowych wyników będą publikowane w przyszłych opracowaniach.

Podsumowanie i wnioski

Analizowane i opracowywane modele syntetycznych sekcji pseudo-impedancji akustycznej dla modelu sejsmogeologicznego HMSGS-1 wzorowano na złożach soli kamiennej na Monoklinie Przedsudeckiej. Wykonane modelowania są ilustracją stopnia i sposobu odzwierciedlania się na sekcjach pseudo-impedancji akustycznej, niejednorodności w budowie pokładów soli kamiennej.

Możliwość modelowania teoretycznych sekcji pseudo-impedancji akustycznej, pozwoli oszacować rozdzielczość metody w aspekcie litologiczno-facjalnym oraz geometrycznym, związanym z przestrzennym ułożeniem warstw.

Przerosty anhydrytów w pokładach soli kamiennej muszą być rozpoznane przed podjęciem decyzji o lokalizacji podziemnego zbiornika. Metoda inwersji tras sejsmicznych w kierunku obliczania pseudo-impedancji akustycznej jest skuteczna w rozpoznawaniu tego typu form. Dla ustalenia obszarów ewentualnej eksploatacji i zagospodarowania złoża soli, ma to istotne znaczenie. Pozwala bowiem na korzystanie z danych sejsmicznych metod powierzchniowych, co umożliwi śledzenie ośrodka skalnego w sposób ciągły. Prezentowane syntetyczne sekcje pseudo-impedancji 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. Problemem pozostaje jednak zawsze rozdzielczość metody dla rozwiązywania tego typu zagadnień.

Obliczanie i interpretacja oparta o komputerowo wsparte interpretacje obrazów sekcji pseudo-impedancji akustycznej wynikają z poszukiwań metod uzyskiwania informacji o rozkładzie oporu akustycznego w ośrodku skalnym na podstawie danych sejsmicznych o relatywnie niższej rozdzielczości. Wyniki modelowania syntetycznych sekcji, wykonane dla danej konfiguracji geologicznej złoża soli z uwzględnieniem wtrąceń anhydrytu i soli wtórnych jest skutecznym materiałem do doboru parametrów obróbki obrazów syntetycznych sekcji pseudo-impedancji akustycznych.

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

- Berteussen K.A., Ursin B., 1983 – Approximate computation of the acoustic impedance from seismic data. *Geophysics* v. 48, no 10, 1351–1358
- Image processing Toolbox User's Guide, version 4, 1993–2003 by The Math Works, Inc.
- Kawalec-Latała E., 2003 – Rozpoznawanie niejednorodności pokładowych złóż soli w aspekcie budowy podziemnych zbiorników. *Miesięcznik WUG* nr 5, 45–46.
- Kawalec-Latała E., 2007 – Wpływ poziomu szumu na rozdzielczość sekcji pseudo-impedancji akustycznej w NW części LGOM. *Górnictwo Odkrywkowe* 7, 81–86.
- Krynicki T., 1980 – Własności sprężyste utworów cechsztyńskich. *Kwart. Geol.*, t. 24, nr 3, 593–609.
- Lim Jae S., 1990 – *Two-Dimensional Signal and Image Processing* Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.
- Meldahl P., Heggland R., Bril B., Groot P., 2001 – Identifying faults and gas chimneys using multiauttributes and neural networks, Norway/Netherland, *The Leading Edge*, May, 2001, 474–482.
- Oldenburg D.M., Shauer T., Levy S., 1983 – Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms: *Geophysics*, v. 48, no 10, 1318–1337.
- Rudnicki Z., Figiel W., 2006 – Komputerowa analiza i kompensacja zakłóceń obrazów powierzchni tarca ślizgowego. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, vol. 41, z. 2, 171–183.
- Tadeusiewicz R., Korohoda P., 1997 – Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, WFPT, Kraków.

ZASTOSOWANIE ANALIZY I PRZETWARZANIA OBRAZÓW DO INTERPRETACJI SYNTETYCZNYCH SEKCJI PSEUDOIMPEDANCJI AKUSTYCZNEJ

Słowa kluczowe

Pseudo-impedancja akustyczna, wizualna interpretacja, analiza i przetwarzanie obrazów, filtry medianowe, algorytm Wienera, sekcje syntetyczne, złoża soli

Streszczenie

Powierzchniowe pomiary sejsmiczne są podstawą konstruowania sekcji sejsmicznych. Inwersja sekcji sejsmicznych prowadzi do uzyskania sekcji pseudoimpedancji akustycznej. Dane takich przybliżonych rozkładów oporu akustycznego są bazą do wizualnej interpretacji wglębnej budowy ośrodka skalnego. Metoda jest używana do identyfikacji zmian litologicznych i facjalnych lecz w specyficznych warunkach, może stwarzać trudności. W sytuacji wysokiego stosunku zakłóceń do sygnału N/S interpretacja wizualna jest trudna lub nawet niemożliwa. W artykule przedstawiono metody analizy i przetwarzania obrazów, wspierające wizualizację interesujących cech obrazów pseudooporu akustycznego. Analizę oparto na wynikach modelu będących nieskalowanymi wartościami względnymi (typu całkowitego) pseudoimpedancji akustycznej rozciągniętej nad płaszczyzną o współrzędnych odpowiednio głębokości (zakres 0–500) i numeru trasy (nr od 0–30). Przetwarzanie danych wyjściowych modelu obejmuje normalizację percentylową, filtrację medianową i przekształcenie kontekstowe z zastosowaniem filtracji Wienera. Dla filtracji medianowej obszar elementarny obrazu dla obliczania mediany był dobierany eksperymentalnie w celu optymalizacji wizualnej interpretacji obrazu. Opisane doświadczenia i sugestie mają za zadanie wzrost wiarygodności interpretacji w/w obrazów w procesie wykrywania zmian litologiczno-facjalnych w pokładach soli.

ANALYSIS AND IMAGE PROCESSING APPLICATION TO INTERPRETATION OF SYNTHETIC SECTION
OF ACOUSTIC PSEUDOIMPEDANCE

Key words

Acoustic pseudoimpedance, visual interpretation, analysing and images processing, median filters, Wiener's algorithm, synthetic section, salt deposits

Abstract

Seismic surface measurement data are used to construct seismic section after data processing. Inversion of the seismic section provides to obtain pseudoacoustic impedance section. The data of the approximated acoustic impedance distribution are the base that is used to visual interpretation of subsurface rock structure. That method is useful for lithology changes detection, but in some cases visual interpretation are difficult and unpleasant. In the case when the ratio of measurement noise to detected signal N/S is high, visual interpretation is especially difficulty or even impossible. In the paper are presented some methods of analyzing and image processing to support and inhance the interesting acoustic pseudoimpedance image feature visualization. The analysis is based on simulation model results that are relative non-scaled values (integer type) acoustic pseudoimpedance split over the surface of two coordinates i.e. properly depth (range 0–500) and trace number (range 0–30). The data processing of the simulation model results comprises percentile normalization, median filtration and context conversion with employment Wiener algorithm filter. The elementary image region of the median calculation in median filter processing was experimentally selected for optimization of image interpretation. Discussed in paper results, experiments and suggestions are aiming to increase image interpretation credibility in process of lithology changes detection in a salt deposit.