

EWA KAWALEC-LATAŁA*

The influence of seismic wavelet on the resolution of pseudoimpedance section for construction of underground storage

Introduction

Chemical and physical properties of salt deposits have been a subject of careful examination. Particularly favourable for construction of underground reservoirs are following properties: chemical inertia, very low permeability, homogeneity of large parts of deposit.

Rock mass containing salt deposits display high seismologic inhomogeneity. Due to considerable contrast of elastic properties of salt versus neighbouring layers within the Zechstein rocks high reflection coefficients are observed. Inhomogeneities in geometrical sense are related to thickness changes, dying-out of strata, presence of lenses a.s.o. Geometrical changes depend on sedimentary processes as well as on those later alterations within rocks salt deposits, which in turn lead to the origin of secondary, descendant salts.

Within salt deposit inhomogeneities as well as changes of thickness and lithology should be especially examined and predicted before the underground reservoir location is fixed.

A method of inversion of seismic section aiming at obtaining pseudo-acoustic impedance section gives the possibility to bind very closely the acoustic impedance changes with lithologic and facial changes in subsurface. Process effectively transforms seismic information into the geological domain. There are several ways to achieve this objective. (Veecken,

* Dr inż., University of Science and Technology, Krakow, Poland; e-mail: ewal@geol.agh.edu.pl

Da Silva 2004). This method is commonly used for the recognition of hydrocarbons. There is the new concept to adapt it to recognition of inhomogeneities within rocks salt deposits (Kawalec-Latała 2006).

Pseudo-acoustic impedance is a convolution of real acoustic impedance and seismic wavelet. It should be realised that the inversion procedure is not a unique process. There is no single solution to the given problem. Care should be taken conditioning is a prerequisite for quantitative interpretation of the final results. Feasibility studies with synthetic modelling are recommended before embarking on inversion.

Seismic traces are converted first into pseudoreflection coefficient time series, than into acoustic impedance by the inversion of the time series. The basic concept is simple; a reversal of the procedure long used to compute synthetic seismograms from sonic logs (Becquey et al. 1979; Oldenburg et al. 1983). In practice the reverse process is difficult, since it requires inversion of a low grade, the seismic trace, which is often, distorted by noise and wave propagation phenomena, into the higher-grade sonic log signal (Berteussen, Ursin 1983; Jędrzejowska-Zwinczak 1984).

Modern seismic field data can be processed to eliminate much of the distortion, and can be compensated in part wave propagation phenomena and density, to yield an approximation to reflection coefficients. An important procedure to help repair the damage to the spectrum (caused by transmission trough the earth and the recording instruments) is deconvolution. Ideally, an acoustic impedance interface should be represented by a single spike on the seismic trace.

1. Rock salt deposit in Sieroszowice area

The Sieroszowice deposits contain a set of rock salt layers belonging to the cyclothem (PZ 1, PZ 2, PZ 3, PZ 4). The oldest cyclothem PZ 1 is developed almost completely. Rock salt deposit in Sieroszowice forms set rock salt layers dipping NE with an angle of 3–6°, with general strike NW-SE (Preidl 1990). The top and bottom of the rock salt is shallowest at the southern boundary of area (630 m and 625 m respectively), and the deepest position of the top and bottom of the salt occur in the northern part of the deposit (1230 m and 1100 m respectively). The thickness of rock salt varies from 0 to 186 m. An area of extremely high thickness of salt is most convenient for location of underground storage of liquid fuels.

Internal structure of the salt deposit displays several lithological types of rock salt (pure coarse-crystalline salt, anhydrite salt, salt intercalated with anhydrite). Secondary salts are present at places.

2. Modelling

The synthetic pseudo-impedance acoustic sections presented in this paper are obtained by inversion method based on recursive relation in equation (2). The reflection coefficient for normal incidence is defined as

$$R_i = \frac{\rho_{i+1}v_{i+1} - \rho_i v_i}{\rho_{i+1}v_{i+1} + \rho_i v_i} \quad (1)$$

where:

- ρ_i, v_i – rock density and velocity of i^{th} layer
- $z = \rho_i v_i$ – acoustic impedance.

Rearranging equation (1)

$$z_{i+1} = z_{i+1} \frac{1+R_k}{1-R_k} = z_1 \prod \frac{1+R_k}{1-R_k} \quad (2)$$

gives the recursive relation to calculation of pseudo-impedance acoustics section from reflection coefficients series or its approximation by seismic trace.

The synthetic seismic trace is given by convolution reflection coefficients series and seismic wavelet

$$x(t) = r(t) \cdot w(t) \quad (3)$$

where:

- $r(t)$ – reflection coefficients series,
- $w(t)$ – seismic wavelet,
- $x(t)$ – synthetic seismic trace.

The basic concept of the reverse process is simple but in practice difficult. It should be realised that the inversion procedure is not a unique process especially due to limited bandwidth of the seismic data to typical seismic frequencies. The quality and quantity of interpretation of the final results increase with the bandwidth and dominant frequency increase.

For the calculations of synthetic pseudoacoustic impedance the computer programme INWERS was used. Previously the computer programme INWERS was elaborated in the frame project (Projekt nr 4 T12B 040 27, Kawalec-Latała 2004–2007). The programme consist of two main parts:

- 1) modelling,
- 2) visualisation of results.

Synthetic seismogram was calculated as a convolution of reflection coefficient series with seismic signal. The signal of Puzyriev $s(t)$ was applied

$$s(t) = \exp(-\beta^2 \cdot t^2) \cdot \sin(2\pi f_0 t \pm \varphi_0) \quad (4)$$

The parameters of signal are: f_0 – dominant frequency, φ_0 – initial phase, β – dumping factor. The ratio f_0/β determine the length of signal. When the ratio is 1 the signal is relatively short, the ratio 2 gives the long signal.

3. Results – modelling example

In the whole area of deposition of Zechstein evaporates on LGOM areas, within rock salt beds some inter-calculations of anhydrite occur. Their presence have been taken into account while creating theoretical models Fig. 1 on the base of introducing of typical elastic parameters values for Zechstein evaporates and upper layers (Grad 1987; Krynicki 1980). A number of pseudo-acoustic impedance sections for different signal parameter were constructed in order to test the possibility of determination of anhydrites distribution in sections of pseudo-acoustic impedance.

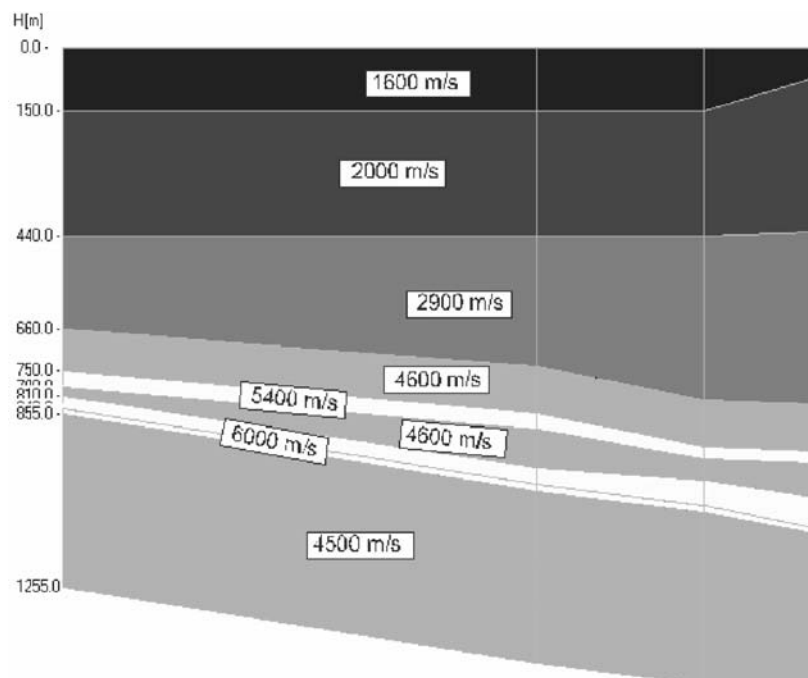


Fig. 1. Simplified seismological model from Sierszowice area

Rys. 1. Uproszczony model sejsmogeologiczny z rejonu Sierszowice

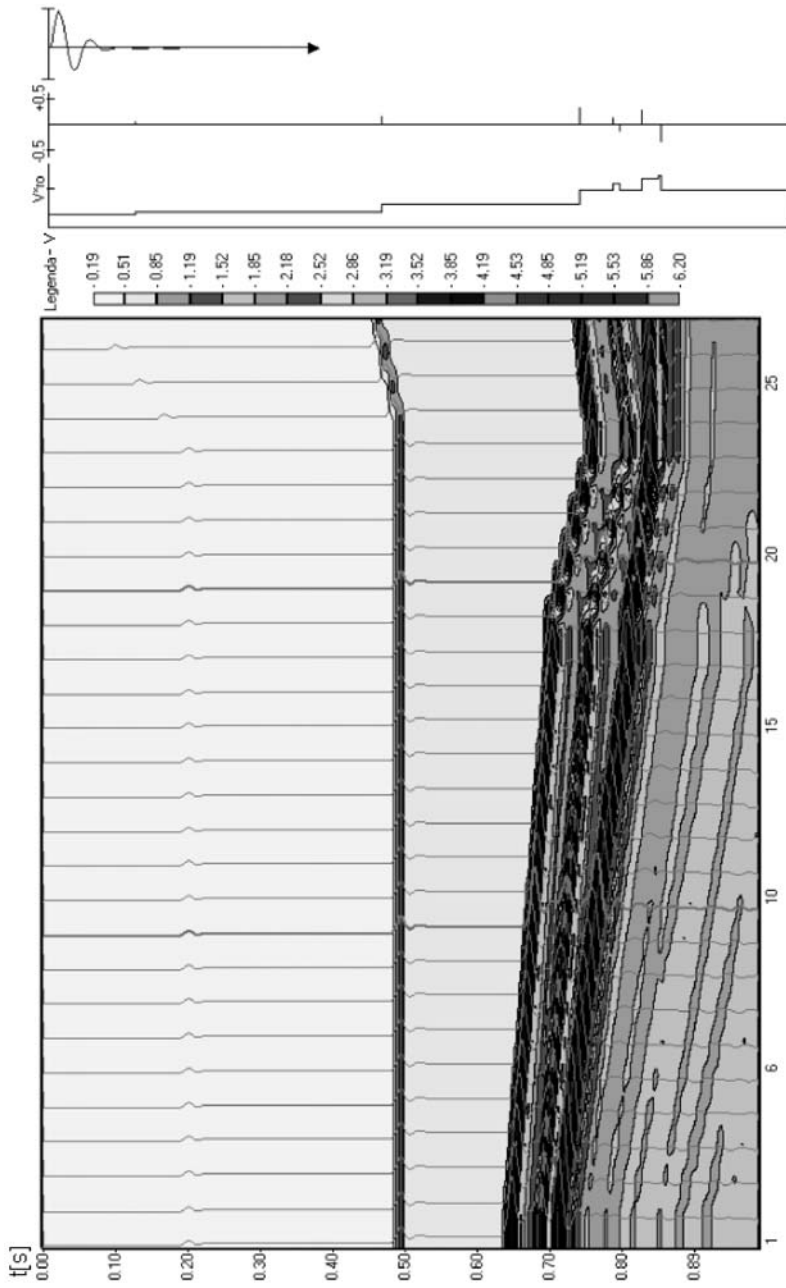


Fig. 2. Synthetic pseudo-impedance acoustic section with simplified seismological model for one trace, reflection coefficients and seismic signal. The parameters of signal applied to construction of synthetic seismogram are: f_0 – dominant frequency 40 Hz, ϕ_0 – initial phase 0, β – dumping factor 40 s

Rys. 2. Syntetyczna sekcja pseudoimpedancji akustycznej uzupełniona o wykresy uproszczonego modelu sejsmogeologicznego, sejsmogramu impulsowego oraz sygnału sejsmicznego. Parametry sygnału stosowanego do konstrukcji sejsmogramu syntetycznego: f_0 – częstotliwość dominująca 40 Hz, ϕ_0 – faza początkowa 0, β – współczynnik tłumienia 40 s

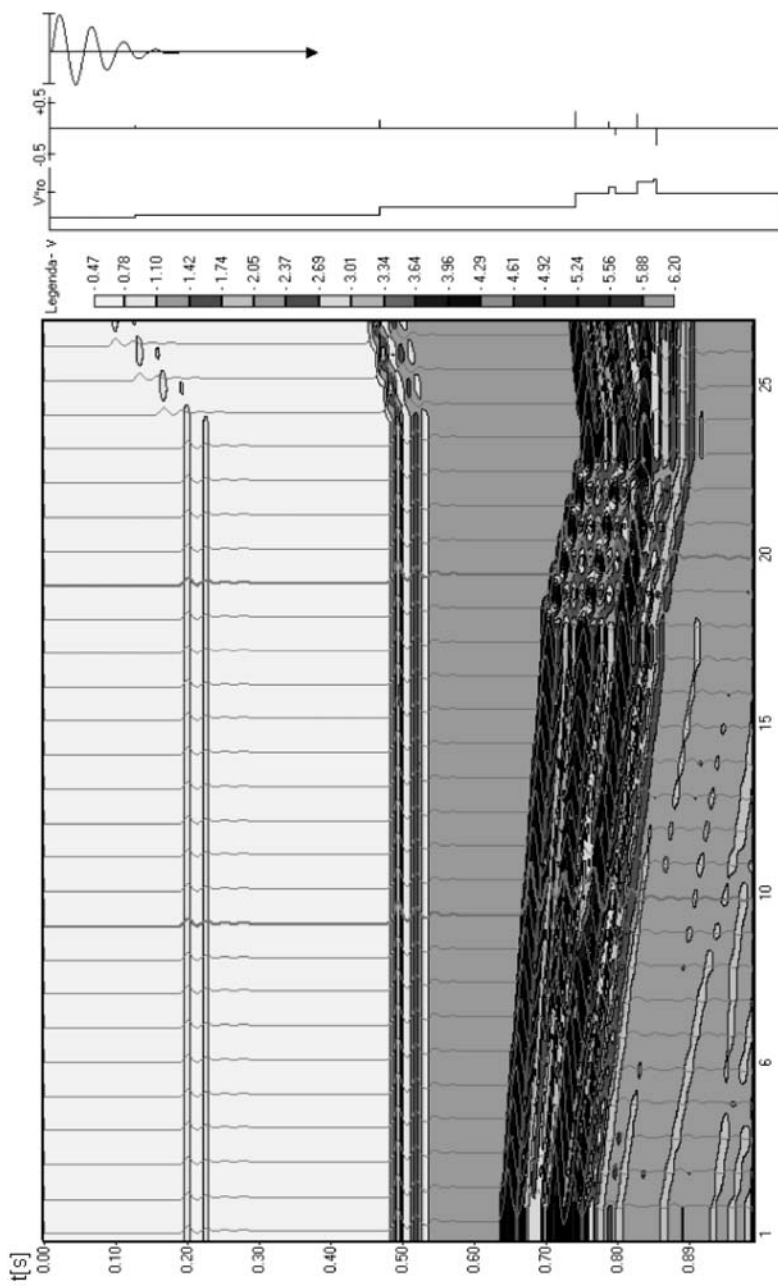


Fig. 3. Synthetic pseudo-impedance acoustic section with simplified seismological model for one trace, reflection coefficients and seismic signal. The parameters of signal applied to construction of synthetic seismogram are: f_0 – dominant frequency 40 Hz, φ_0 – initial phase 0, β – dumping factor 20 s

Rys. 3. Syntetyczna sekcja pseudoimpedancji akustycznej uzupełniona o wykresy współczynnika odbicia sejsmologicznego, sejsmogramu impulsowego oraz sygnału sejsmicznego. Parametry sygnału stosowanego do konstrukcji sejsmogramu syntetycznego f_0 – częstotliwość dominująca 40 Hz, φ_0 – faza początkowa 0, β – współczynnik tłumienia 20 s

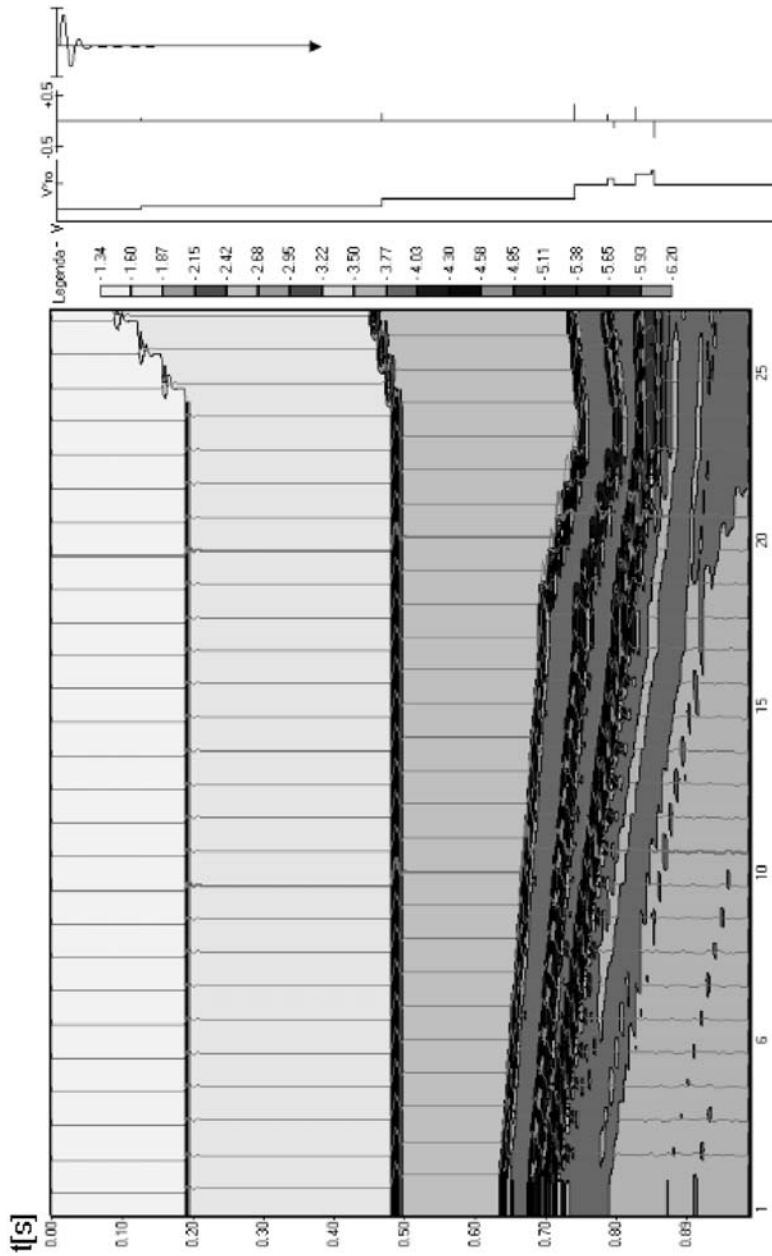


Fig. 4. Synthetic pseudo-impedance acoustic section with simplified seismological model for one trace, reflection coefficients and seismic signal.

The parameters of signal applied to construction of synthetic seismogram are: f_0 – dominant frequency 40 Hz, φ_0 – initial phase 0, β – dumping factor 80 s

Rys. 4. Syntetyczna sekcja pseudoimpedancji akustycznej uzupełniona o wykresy uproszczonego modelu sejsmologicznego, sejsmogramu impulsowego oraz sygnału sejsmicznego. Parametry sygnału stosowanego do konstrukcji sejsmogramu syntetycznego: f_0 – częstotliwość dominująca 40 Hz, φ_0 – faza początkowa 0, β – współczynnik tłumienia 40 s

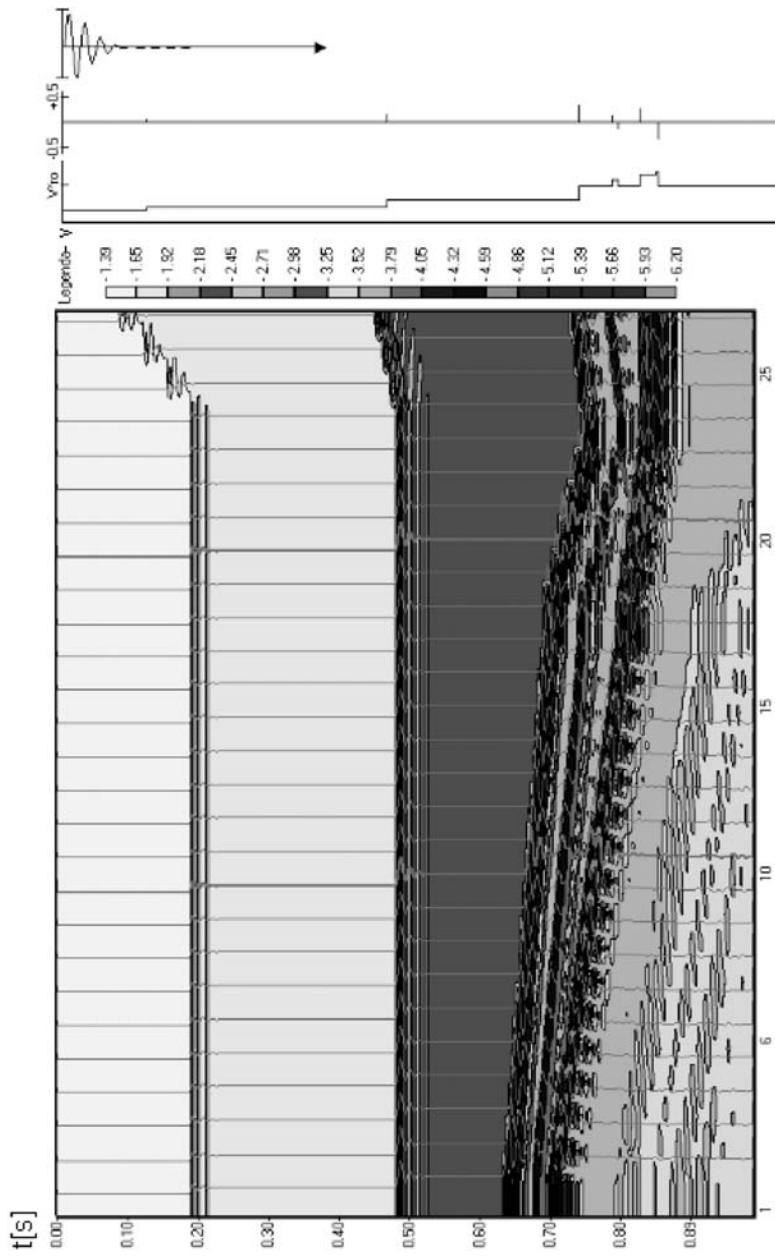


Fig. 5. Synthetic pseudo-impedance acoustic section with simplified seismological model for one trace, reflection coefficients and seismic signal.

The parameters of signal applied to construction of synthetic seismogram are: f_0 – dominant frequency 40 Hz, φ_0 – initial phase 0, β – dumping factor 40 s

Rys. 5. Syntetyczna sekcja pseudoimpedancji akustycznej uzupełniona o wykresy współczynnika odbicia sejsmologicznego, sejsmogramu impulsowego oraz sygnału sejsmicznego. Parametry sygnału stosowanego do konstrukcji sejsmogramu syntetycznego: f_0 – częstotliwość dominująca 40 Hz, φ_0 – faza początkowa 0, β – współczynnik tłumienia 40 s

First seismic traces are constructed for simplified data from Sieroszowice area and basic wavelet given by equation (4). The seismic traces were converted into pseudoacoustic impedance sections Fig. 2, 3, 4, 5. The colour scale reflecting the relative velocity (or acoustic impedance) variations, simplified seismological model for one trace recalculated for time scale, reflection coefficients and seismic signal was added to presented synthetic pseudoacoustic impedance sections.

The recursive algorithm, based on equation (2) was used for calculation of pseudo-acoustic impedance. For signal with low dominant frequency $f_0 = 40\text{Hz}$ two values of factor $\beta = 40$ and $\beta = 20$ were chosen for short and long signals respectively. Proper pseudoacoustic impedance sections are presented in Figs. 2 and 3.

For signal with high dominant frequency $f_0 = 80\text{Hz}$ two values of factor $\beta = 80$ and $\beta = 40$ were chosen for short and long signals respectively. Proper pseudoacoustic impedance sections are presented in Figs. 4 and 5.

The analysis of above presented sections apparently shows the improvement of their quality on frequency increase. This effect can be strongly diminished by long seismic signal.

Conclusions

Pseudo-acoustic impedance is a convolution of real acoustic impedance and seismic wavelet. These modelled sections of synthetic pseudo-acoustic impedance for salt deposit in Sieroszowice area show how changes of thickness and lithology can be visible on such transformation.

The process effectively transforms seismic information into the geological domain. It facilitates the interpretation. Despite of band limited seismic signals pseudo impedance sections serve very well to map geologic structure.

To compare the synthetic pseudo-acoustic impedance section one can see the influence of the seismic wavelet parameters on the resolution. The resolution apparently increases with the improvement of seismic signal quality, especially for short wavelets. Even though the dominant frequency is low, but a signal is short the resolution sufficient for the interpretation.

Presented works give the positive answer about the possibility of predicting the inhomogeneities in deposits of Zechstein salts. Feasibility studies with synthetic modelling are recommended before embarking on inversion.

REFERENCES

- Becquey M., Lavergne M., Willm C., 1979 – Acoustic impedance logs computed from seismic traces. *Geophysics* vol. 44, 9, 1485–1501.
- Berteussen K.A., Ursin B., 1983 – Approximate computation of the acoustic impedance from seismic data. *Geophysics* v. 48, 10, 1351–1358.

- Grad M., 1987 – Prędkość fal sejsmicznych w pokrywie osadowej platformy wschodnioeuropejskiej. *Kwart. Geol.*, t. 31, 97–112.
- Jędrzejowska-Zwinczak H., 1984 – Zastosowanie metody sejsmoakustycznej w zagadnieniach prognozowania przekroju geologicznego. *Prace IGNiG*, nr 52, s. 105.
- Kawalec-Latała E., 2006 – Wykrywanie zmian litologicznych w pokładach soli metodami powierzchniowymi. *ZSMGiG*, nr XXIX, Geotechnika i budownictwo specjalne, 189–194.
- Kawalec-Latała E., 2007 – „Informatyczny system modelowania sekcji pseudo-impedancji akustycznej w celu optymalizacji interpretacji w rejonach perspektywicznych dla lokalizacji podziemnych zbiorników. Projekt badawczy Nr – 4 T12B 040 27.
- Krynicki T., 1980 – Własności sprężyste utworów cechsztyńskich. *Kwart. Geol.*, tom 24, nr 3, 593–609.
- Oldenburg D.M., Shauer T., Levy S., 1983 – Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms: *Geophysics*, v. 48, 10, 1318–1337.
- Preidl M., 1990 – Dokumentacja geologiczna soli kamiennej występującej ponad złożem rud miedzi kopalni „Sieroszowice” – C1. CAG PiG, Warszawa.
- Veeken P.C.H. and Da Silva M., 2004 – Seismic inversion methods and some of their constraints. *First break*, vol. 22, 47–70

**WPLYW SYGNAŁU SEJSMICZNEGO NA ROZDZIELCZOŚĆ SEKCJI PSEUDOIMPEDANCJI AKUSTYCZNEJ
W REJONIE BUDOWY PODZIEMNYCH MAGAZYNÓW**

Słowa kluczowe

Podziemne magazyny, sekcje pseudoimpedancji akustycznej, sygnał sejsmiczny

Streszczenie

Rozpoznanie niejednorodności budowy pokładowych złóż nabrało szczególnego znaczenia z chwilą pojawienia się koncepcji budowy podziemnych zbiorników. Podziemne zbiorniki są rozpatrywane jako składowiska odpadów oraz magazyny do przechowywania rezerw węglowodorów. Złoża soli kamiennej spełniają odpowiednie warunki do budowy takich magazynów. Cechsztyńskie złoża soli kamiennej na monoklinie przedsudeckiej są rozpoznane w granicach LGOM (Legnicko-Głogowski Okręg Miedziowy). Jednakże bardziej szczegółowe dane o wewnętrznej budowie pokładu są pożądane przed podjęciem decyzji o lokalizacji podziemnego zbiornika. Powierzchniowe pomiary sejsmiczne są bardzo ekonomicznym źródłem pozyskiwania takich informacji. Dane z powierzchniowych pomiarów sejsmicznych i sejsmicznych profilowań otworów wiertniczych zawierają podobne informacje, ale wyrażone w inny sposób. Trasa sejsmiczna jest miarą amplitudy refleksów na granicach warstw o różnych wartościach prędkości (impedancji akustycznej), podczas gdy profilowanie akustyczne otworów wiertniczych dostarcza wprost informacji o wartości prędkości. Inwersja sekcji sejsmicznych w kierunku otrzymania sekcji pseudoimpedancji akustycznej pozwala na wydobycie z sekcji sejsmicznych informacji bezpośrednio powiązanych z geologią. To ułatwia interpretację, ale parametry sygnału sejsmicznego wyraźnie wpływają na rozdzielczość. Powszechnie metoda ta stosowana jest do rozpoznawania złóż węglowodorów. Nową koncepcją jest jej zastosowanie do rozpoznawania niejednorodności budowy pokładowych złóż soli. Istnieje wiele metod wykonywania inwersji, prowadzących do tego celu. Syntetyczne sekcje pseudoimpedancji akustycznej prezentowane w pracy są skonstruowane dla sygnałów o różnych parametrach dla uproszczonego sejsmogeologicznego modelu ośrodka z rejonu LGOM.

THE INFLUENCE OF SEISMIC WAVELET ON THE RESOLUTION OF PSEUDOIMPEDANCE SECTION
FOR CONSTRUCTION OF UNDERGROUND STORAGE

Key words

Underground storage, pseudoimpedance sections , wavelets

Abstract

The recognition of inhomogeneities within salt deposit became important especially when the idea of construction underground reservoirs has appeared. Underground reservoirs are very interesting as the objects for storage of wastes and hydrocarbons. In salt deposits there are favourable conditions for construction of such reservoirs. Zechstein rocks salts of the – Sudetic Monocline have been recognised within the limits of the Legnica-Glogow Copper District (LGOM). More detailed information is needed before the underground storage location is fixed. Seismic survey is the most economical source of detailed subsurface information. Both seismic and sonic/density log data contains similar information expressed in a different form. Seismic trace measures reflection amplitude, which varies as the relation of velocity contrast across rock boundaries, whereas a sonic log measures rock velocity directly. Inversion is one of the means to extract additional information from seismic data. The process effectively transforms seismic information into the geological domain. It facilitates the interpretation, but the seismic wavelet parameters briefly influence on the resolution. This method is commonly used for the recognition of hydrocarbons. There are several ways to achieve this objective. There is the new concept to adapt it to recognition of inhomogeneities within rocks salt deposits The synthetic pseudo-impedance acoustics section presented in this paper are constructed for different seismic parameters for the simplified data from **LGOM** areas.