

Robert Bartoń
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Sejsmiczna inwersja stochastyczna w systemie INPRES

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 złożowych w strefie złoża i w jego sąsiedztwie. Istotnym narzędziem w tej dziedzinie jest inwersja sejsmiczna – obliczana metodą deterministyczną lub probabilistyczną (stochastyczną) [6, 15].

W Zakładzie Sejsmiki Instytutu Nafty i Gazu inwersję sejsmiczną oblicza się już od kilkunastu lat – w postaci inwersji akustycznej oraz elastycznej na profilach sejsmicznych 2D – na użytek prac przemysłowych zlecanych

przez Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo oraz w ramach projektów badawczych zlecanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Dotąd obliczenia te realizowano na falach podłużnych oraz poprzecznych, konwertowanych przy użyciu programów autorskich dr Krystyny Żukowskiej, napisanych na podstawie literatury specjalistycznej oraz systematycznych doświadczeń i inspiracji – wynikających z różnorodnych zadań, realizowanych przez zespół badawczy pod kierunkiem prof. Haliny Jędrzejowskiej-Tyczkowskiej [9].

Zakupiony przez Instytut Nafty i Gazu system INPRES wzbogacił możliwości Zakładu Sejsmiki w zakresie obliczania impedancji akustycznej i elastycznej dla projektów 2D i 3D.

Inwersja sejsmiczna

Odtworzenie parametrów ośrodka na podstawie obserwacji zarejestrowanej w postaci obrazu falowego sejsmiki powierzchniowej jest zagadnieniem odwrotnym. Procedury umożliwiające odtworzenie prędkości z danych sejsmicznych noszą nazwę inwersji sejsmicznej.

Zainteresowanie tą metodą oraz jej rozwój przypada na lata 80. ubiegłego wieku. Obecnie znajduje ona szerokie zastosowanie w pracach geofizyczno-sejsmicznych w poszukiwaniach złóż węglowodorów, dostarczając dodatkowych – czasem bezcennych – informacji o zmianach parametrów fizycznych w ośrodku geologicznym [3, 4, 13, 15].

W metodzie sejsmicznej problem inwersji obejmuje dwa niezależne zagadnienia [9]:

- inwersję strukturalną – opartą praktycznie na inwersji hodografu, czyli zależności czas-odległość, prowadząc do przedstawienia modelu strukturalnego (geometrycznego) wnętrza ośrodka geologicznego,

- inwersję stratygraficzną – opartą na inwersji amplitud refleksów, prowadząc do przedstawienia modelu stratygraficznego ośrodka na podstawie prezentowanego parametru w postaci impedancji.

Inwersja stratygraficzna zawiera w sobie cechy kinematyczne, wykorzystując do odtworzenia parametrów ośrodka dynamikę drgań sprężystych. Metoda ta pozwala na ilościowe określanie relacji pomiędzy amplitudą zarejestrowanej fali a parametrami fizycznymi ośrodka – w postaci prędkości i gęstości oraz ich iloczynu, jako impedancji.

Inwersja sejsmiczna jest cennym narzędziem geofizycznym, umożliwiającym estymację parametrów fizycznych ośrodka geologicznego z danych sejsmicznych w postaci zmian impedancji, będącej iloczynem gęstości i prędkości propagacji. Umożliwia ona przekształcenie amplitudy refleksów sejsmicznych w fizyczne parametry skał i – w konsekwencji – ilościowy opis złoża. W uproszczonej formie, można ją rozumieć jako wyznaczenie otworowej

impedancji akustycznej dla każdej trasy sekcji sejsmicznej [3, 4, 6, 9, 10, 12, 15].

Podstawową procedurą odtworzenia prędkości sejsmicznych jest inwersja sejsmiczna. Prędkość propagacji fal sejsmicznych to jeden z parametrów, który najbardziej wiarygodnie charakteryzuje właściwości fizyczne ośrodka geologicznego.

Kolejnym ważnym zastosowaniem inwersji sejsmicznej

jest odtworzenie rozkładu gęstości w ośrodku. Ze względu na liniową zależność gęstości i porowatości, gęstość – w pewnym sensie – jest ważnym wskaźnikiem litologii.

Na szczególną uwagę zasługuje równoczesne wykorzystanie rozkładu prędkości fal podłużnych i poprzecznych oraz ich relacji, V_p/V_s , uznawanej jako jeden z najbardziej kryterialnych parametrów obecności węglowodorów w obiektach złożowych [8, 9, 10, 12].

Etapy postępowania w tworzeniu projektu inwersji sejsmicznej

Z uwagi na sposób obliczania inwersji sejsmicznej, wyróżnia się dwie metody: deterministyczną oraz probabilistyczną. Obie te metody mogą być obliczane na danych sejsmicznych zarówno po składaniu (*post-stack*), jak i przed składaniem (*pre-stack*), jednak inwersja sejsmiczna realizowana na danych sejsmicznych po składaniu uniemożliwia uzyskanie informacji o prędkościach propagacji fali poprzecznej, traktowanej jako łączność prędkości fali podłużnej i gęstości. Ograniczenia te eliminuje inwersja na rekordach pojedynczych tras sejsmicznych przed składaniem – wykorzystująca zależność współczynnika odbicia od kąta padania (a tym samym od odległości), określoną równaniem Zoeppritza. Ten typ inwersji wykorzystuje właściwości amplitudy refleksu, zależność czas-odległość oraz kształt sygnału – do oszacowania parametrów ośrodka (w postaci propagacji fali P i S oraz gęstości), które są podstawą w obliczeniu stałych Lamè'go, Poissona, impedancji akustycznej i elastycznej, służąc w rezultacie do identyfikacji typów litologicznych oraz określenia zawartości węglowodorów i płynów złożowych [9].

Sejsmiczna metoda obliczeniowa oparta o dekonwolucję stratygraficzną próbuje „umiejscowić” prostą odpowiedź, pochodzącą od granic geologicznych (zmian litologicznych) i głównych powierzchni refleksyjnych złoża (płynne kontakty medium złożowych), w postaci współczynnika odbicia (*simple spiked reflectivity response*). Procedura ta często realizowana jest przez wykonanie inwersji na pomiarach sejsmicznych 3D, w celu uzyskania impedancji akustycznej 3D (rysunek 1). Impedancja akustyczna ośrodka geologicznego jest zdefiniowana jako iloczyn gęstości i prędkości propagacji [15].

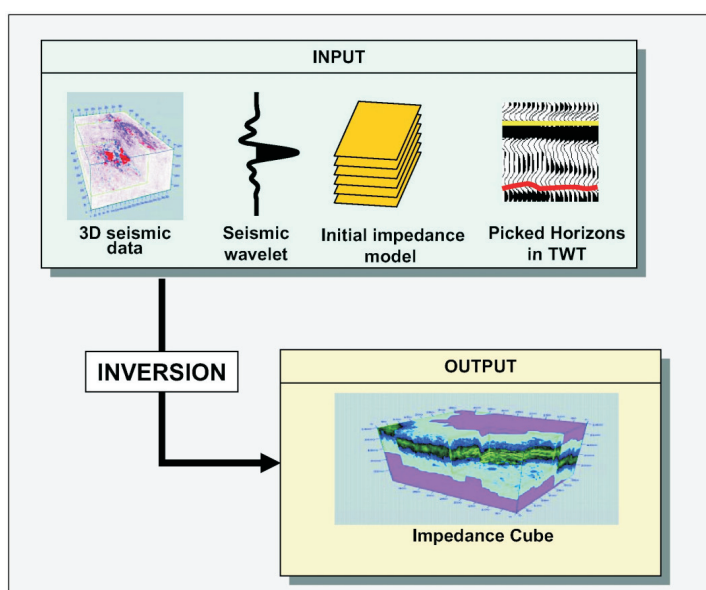
Elementem wiążącym dane sejsmiczne i impedancję akustyczną jest sygnał sejsmiczny (*seismic wavelet*). Sygnał ten uzyskiwany jest z danych sejsmicznych lub obliczany z dostępnych danych otworowych. Pomiaru geofizyczne gęstości i prędkości w otworze pozwalają obliczyć wartości impedancji

– posiadające znacznie większą rozdzielczość niż dane sejsmiczne – umożliwiając dokładniejszą interpretację zmian parametrów fizycznych ośrodka geologicznego.

Kalibracja otworowych pomiarów prędkości z pomiarami pionowego profilowania sejsmicznego PPS lub pomiarami typu *checkshots* jest niezbędna do wyznaczenia poprawnej konwersji głębokość-czas, skali pionowej. Zarejestrowana trasa sejsmiczna – odpowiadająca usytuowaniu otworu – dopasowana jest do trasy syntetycznej, obliczonej z danych otworowych przy użyciu sygnału sejsmicznego (*seismic wavelet*).

Typowy projekt inwersji sejsmicznej obejmuje następujące etapy [15]:

- 1) kontrolę jakości danych wejściowych (sejsmicznych, sygnału sejsmicznego oraz początkowego modelu impedancji), wyznaczenie horyzontów sejsmicznych i granic stratygraficznych, a także przygotowanie ww.



Rys. 1. Obliczanie inwersji sejsmicznej na podstawie przygotowanych danych wejściowych: czasowych sekcji sejsmicznych, sygnału sejsmicznego, modelu startowego impedancji (*initial impedance model*) oraz wyznaczonych horyzontów sejsmicznych (*picket horizons in TWT*) [15]

danych do wprowadzenia do systemu obliczeniowego (rysunek 1).

Dane sejsmiczne powinny być poddane niezbędnemu przetwarzaniu, w celu:

- odtworzenia względnych relacji amplitud,
- poprawy rozdzielczości pionowej (dekonwolucja spike'owa),
- poprawy rozdzielczości poziomej (migracja),
- eliminacji szumu z zapisu sejsmicznego.

Niska rozdzielczość trasy sejsmicznej powoduje utratę informacji o cienkich warstwach ośrodka geologicznego.

Dane otworowe powinny zawierać:

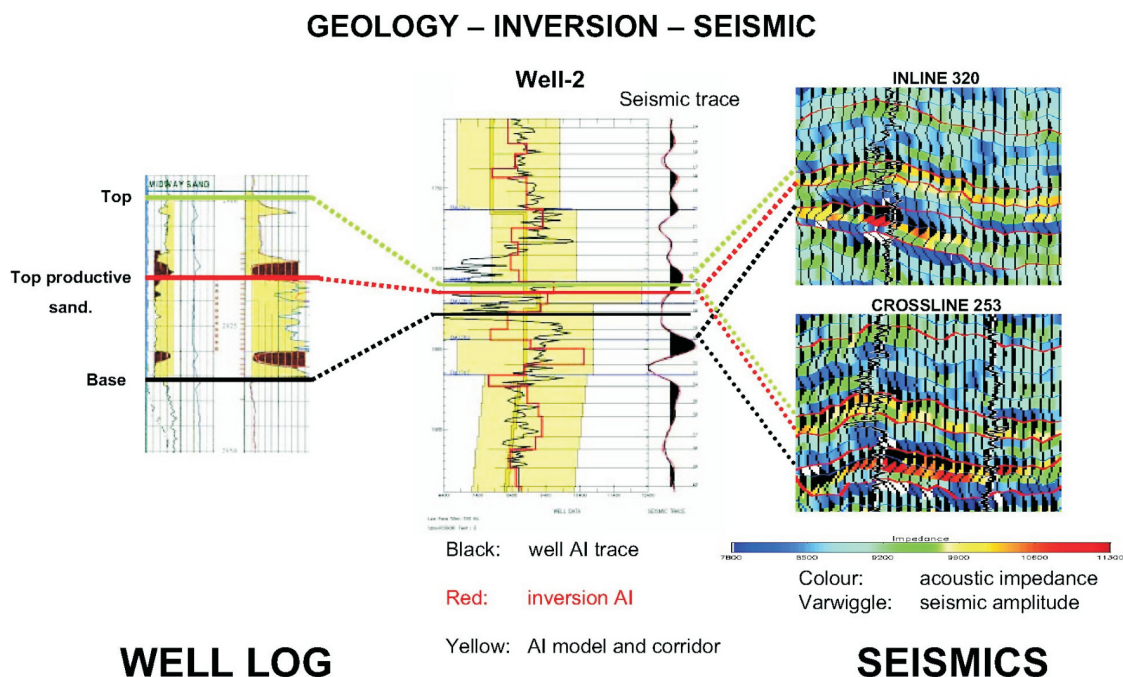
- krzywe profilowania akustycznego (prędkości),
 - krzywe opisujące litologię, porowatość oraz gęstość.
- 2) dopasowanie i korelację danych otworowych z zapisem sejsmicznym oraz wyznaczenie trasy syntetycznej,
 - 3) zero-fazowanie danych wejściowych w interesującej strefie pomiarowej, a także ekstrakcję sygnału sejsmicznego (*wavelet*). Procedura ta może być pominięta jeżeli wejściowe dane sejsmiczne są zero-fazowe,
 - 4) realizację algorytmu inwersji w otrzymaniu impedancji akustycznej lub elastycznej oraz ekstrakcję uzyskanych atrybutów,
 - 5) wizualizację i interpretację wyników, a także szczegółową analizę rezultatów w strefie złożowej i okalającej złożo (rysunek 2).

W przypadku inwersji sejsmicznej obliczanej metodą probabilistyczną, do utworzenia kompletnego modelu ośrodka geologicznego wykorzystywane są geostatystyczne metody symulacji (Monte Carlo, *simulated annealing*). Symulacja wykonywana jest zarówno na poziomie lokalnym – w pozycji otworu, jak i globalnym – dla ogólnego zadanego modelu. Wszystkie modele zawierają informacje pochodzące z danych otworowych.

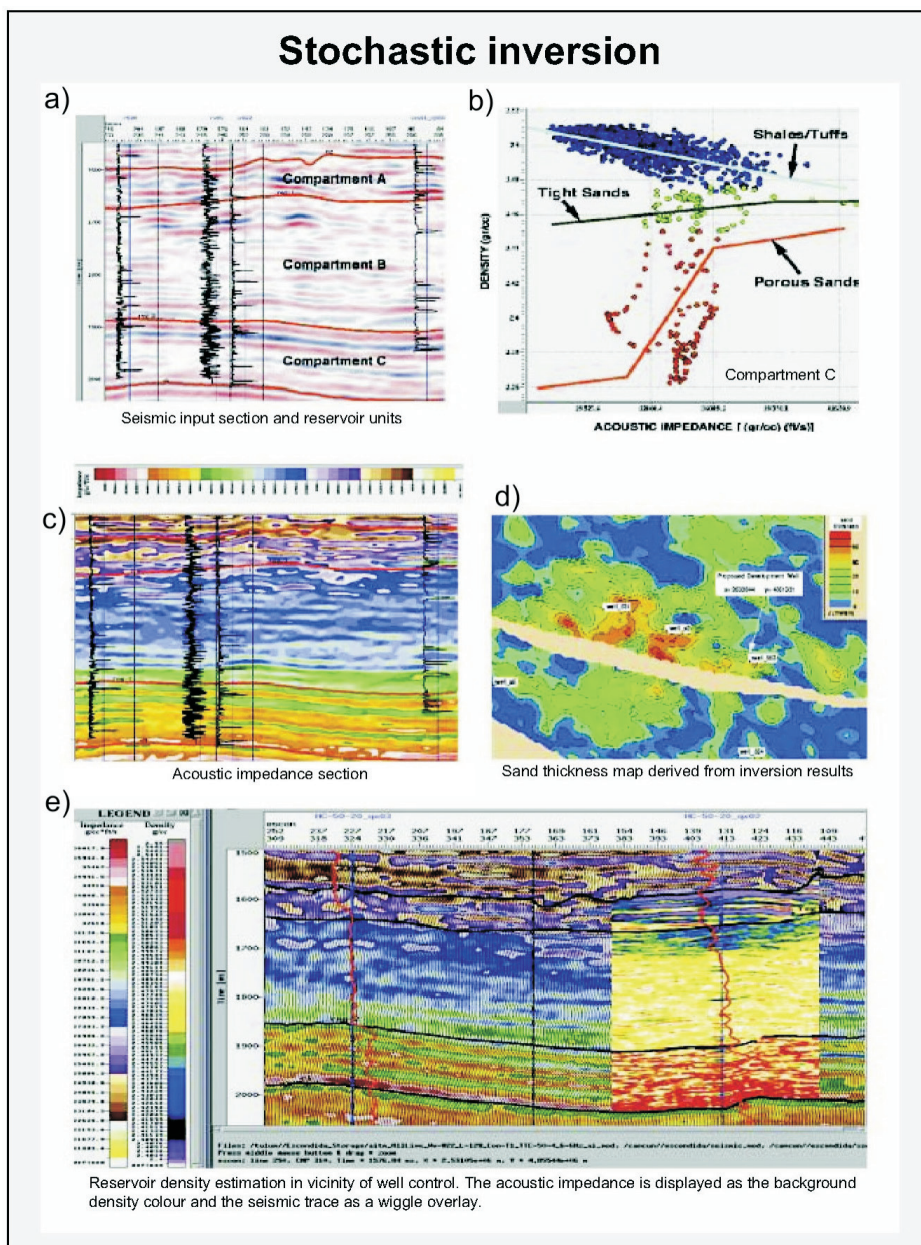
Symulacja może być oparta na obliczeniach przypadających na jednostkę, jako piksel lub jako obiekt. Zazwyczaj architektura obiektów złożowych jest sklasyfikowana, co pomaga wybrać do obliczeń odpowiednią metodę symulacji [15].

Ustalane dla każdego punktu siatki (gridu) funkcje gęstości prawdopodobieństwa (*Probability Density Functions* – PDFs) są podstawą do wykonania przypadkowych symulacji (*random simulation*) poszczególnych tras syntetycznych. Podstawa określenia parametrów gęstości prawdopodobieństwa (PDF) zależy od danych wejściowych: otworowych, przestrzennych własności ośrodka geologicznego (wariogram) i dystrybucji litologicznej [15] (rysunek 3).

Zaimplementowany w systemach obliczania inwersji sejsmicznej algorytm stochastyczny dla każdej symulacji oblicza trasę syntetyczną i porównuje ją z trasą rzeczywistą – dokonując jej akceptacji, bądź odrzucenia. Minimalizacja



Rys. 2. Porównanie danych otworowych (*well log*) z wynikami inwersji sejsmicznej – w postaci impedancji akustycznej (*acoustic impedance*) – w strefie złożowej. Z prawej strony od otworu *well-2* zaprezentowano fragmenty sekcji sejsmicznych w postaci tras (*wiggle*), na które naniesiono wartości impedancji akustycznej. Poziome zmiany impedancji akustycznej na sekcjach odzwierciedlają stopień nasycenia płynami złożowymi w utworach piaskowcowych złoża [15]



Rys. 3. Wyniki zastosowania procedury inwersji stochastycznej do obliczenia sekcji impedancji akustycznych oraz rozkładu gęstości w ośrodku skalnym

a) dane wejściowe – sejsmiczne, otworowe, z zaznaczeniem horyzontów złożowych, b) wykres zależności rozkładu gęstości i impedancji akustycznej; rozróżnienie formacji litologicznych, c) sekcja impedancji akustycznej, d) mapa miąższości utworów piaskowcowych, uzyskana z wyników inwersji sejsmicznej, e) estymacja rozkładu gęstości w sąsiedztwie otworu – sekcja impedancji akustycznej wyświetlana jest jako tło, na które nałożone są trasy sejsmiczne (*wiggle*) [15]

różnic oparta jest o optymalizację globalną (*simulated annealing*). Liczba rozwiązań jest redukowana – umożliwiając generowanie map prawdopodobieństwa, w celu oceny niepewności. Zachowane symulacje są weryfikowane na poziomie ich zgodności; jeżeli są one do siebie podobne, wówczas predykcja jest raczej dobra, a zaufanie do scenariuszy – zwiększone [15].

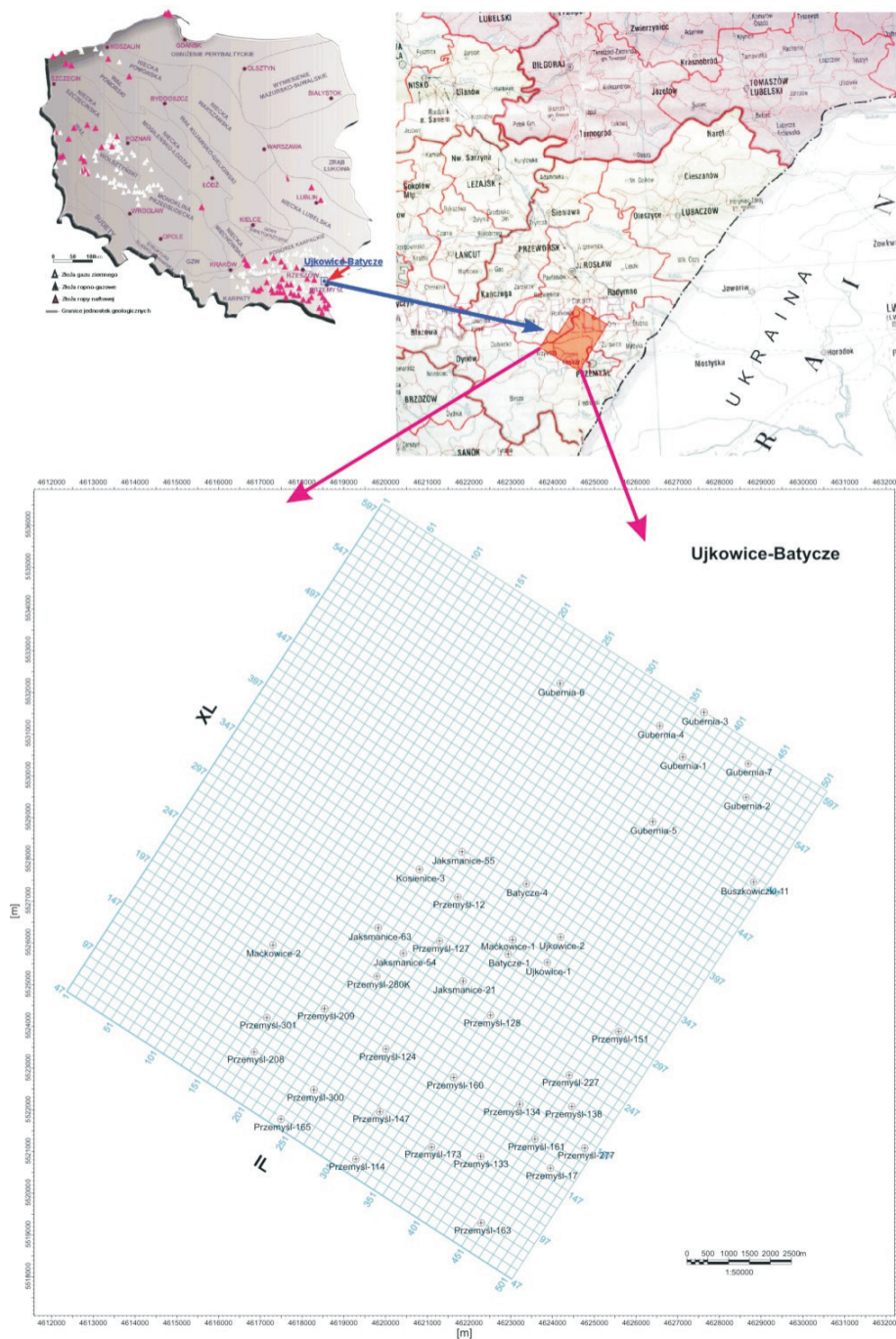
Zaletą stochastycznej inwersji sejsmicznej jest możliwość otrzymania wyników w wymaganej częstotliwości próbkowania. Ponadto metoda ta może symulować szerokie

pasmo częstotliwości obliczanej impedancji akustycznej i elastycznej. Zazwyczaj wyniki inwersji stochastycznej powinny dostarczać więcej szczegółów z danych sejsmicznych, przy danym spektrum częstotliwości i szerokości pasma, ponieważ lokalnie nie są wygładzane (jak w przypadku inwersji deterministycznej). Te różnice w wyborze rodzaju inwersji są kompromisem pomiędzy rozdzielczością a dokładnością przy niskich i wysokich częstotliwościach – na końcach sejsmicznego spektrum, gdzie stosunek sygnału użytecznego do szumu jest niski.

Rejon badań

Badaniami sejsmicznymi objęto rejon zapadliska przedkarpackiego – brzeżnej strefy nasunięcia karpacko-stebnickiego na terenie województwa podkarpackiego, usytuowanego na zachód od Przemyśla. Pod względem budowy morfologicznej, prezentowany na rysunku 4 obszar badań charakteryzuje się dużym urozmaiceniem – wysokości wahają się w granicach od 200 m do 430 m n.p.m.

W budowie geologicznej obszaru badań Ujkowice-Batycze 3D wyróżniono podłoże utworów mioceniowych, osady miocenu autochtonicznego, jednostkę stebnicką, Karpaty fliszowe oraz pokrywę osadów czwartorzędowych. Podłoże osadów miocenu autochtonicznego stanowią utwory prekambry – wykształcone głównie jako łupki pstrze, z cienkimi wkładkami twardych piaskowców



Rys. 4. Lokalizacja badań sejsmicznych Ujkowice-Batycze 3D, na tle mapy występowania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w Polsce [P. Karnkowski, 2004 – zmodyfikowanej] oraz mapy administracyjnej Polski (1:750 000). Układ przebiegu profili, linii (IL) i tras (XL) sejsmicznych zdjęcia Ujkowice-Batycze 3D, wraz z zaznaczonymi pozycjami otworów

kwarcytowych w kolorze szarym i jasnoszarym. Kompleks utworów miocenu autochtonicznego reprezentowany jest przez warstwy baranowskie badenu dolnego, warstwy ewaporatowe badenu środkowego, warstwy nadewaporatowe badenu górnego oraz osady sarmatu. Utwory jednostki stebnickiej reprezentują głównie niższe ogniwa badenu – wykształcone przede wszystkim jako

łupki oraz mułowce szare lub szaropopielate, margliste, przewarstwione zlepnięciami, a utwory Karpat fliszowych, reprezentowane przez jednostkę skolską, wykształcone są w postaci łupków, piaskowców oraz margli (rzadziej mułowców czy wapieni). Cały obszar pokrywają utwory czwartorzędowe – wykształcone jako gliny, piaski i żwiry, o miąższości w granicach 10÷50 m [1].

Badania sejsmiczne

Połowe prace sejsmiczne tematu Ujkowice-Batycze 3D zostały przeprowadzone metodą dynamitową oraz wibratorową w okresie sierpień-grudzień 2004 r., na zlecenie PGNiG S.A. W okresie od lutego do sierpnia 2008 roku poddano je reprocessingowi i reinterpretacji – co wykonała Geofizyka Kraków Sp. z o.o. Podstawowym celem prac sejsmicznych 3D realizowanych w ramach tematu: „Ujkowice-Batycze” było uszczegółowienie morfologii podłoża miocenu oraz dokładne rozpoznanie budowy strukturalnej i litofacjalnej osadów miocenu autochtonicznego, a następ-

nie wydzielenie obszarów potencjalnego występowania węglowodorów. Procedury reprocessingu i reinterpretacji miały zapewnić: zweryfikowanie modelu budowy strukturalnej, szczegółowe rozpoznanie przebiegu stref tektonicznych (mających zasadnicze znaczenie dla określenia dróg migracji węglowodorów), wykartowanie nowych pułapek strukturalnych w utworach miocenu autochtonicznego oraz wskazanie nowych obiektów o charakterze potencjalnych pułapek złożowych, w celu wyznaczenia optymalnych miejsc pod kolejne wiercenia rozpoznawcze [1].

Procedura obliczania inwersji stochastycznej w systemie INPRES

Właścicielem systemu oprogramowania o nazwie INPRES jest firma CGE (*Central Geophysical Expedition*) z siedzibą w Moskwie. System ten przeznaczony jest do zintegrowanej interpretacji pomiarów sejsmicznych 2D i 3D, w połączeniu z pomiarami otworowymi oraz informacjami geologicznymi. Zasadniczą część tego systemu umożliwia obliczanie inwersji sejsmicznej metodą stochastyczną oraz deterministyczną.

Program obliczania inwersji sejsmicznej systemu INPRES-5 używa algorytmu zaproponowanego przez dr G. N. Gogonenkov'a na początku lat 70. ub. wieku. Algorytm ten początkowo nazwany był „pseudoakustyczną konwersją” (*pseudo acoustic conversion*) lub „inwersją rekursywną” (*recursive inversion*) tras sejsmicznych i służył do wyznaczenia impedancji akustycznej tras. Wynikiem inwersji sejsmicznej była impedancja akustyczna sekcji sumowanych 2D lub kostki 3D (*User Manual*).

Program inwersji stochastycznej danych sejsmicznych umożliwia uzyskanie cienkowarstwowego modelu akustycznego ośrodka geologicznego, opisanego przez parametry prędkości i gęstości. System INPRES umożliwia obliczanie inwersji stochastycznej dla dwóch typów danych:

- inwersji akustycznej – model akustyczny jest parametryzowany przez wartości prędkości fali podłużnej V_p i gęstości, z danymi sejsmicznymi (trasy z promieniem normalnym lub sumowane),

- inwersji elastycznej – model akustyczny jest parametryzowany przez wartości prędkości fali podłużnej V_p , poprzecznej V_s i gęstości, z danymi sejsmicznymi reprezentowanymi przez 1÷5 sumowanych offsetów.

Model akustyczny *a priori* syntetyczne pole falowe utworzony jest przy użyciu procedury konwolucji sygnału sejsmicznego i funkcji współczynników odbicia dla każdego modelu 1D. W inwersji akustycznej współczynnik odbicia (R) jest obliczany jako:

$$R_i = \frac{I_{i+1} - I_i}{I_{i+1} + I_i}$$

gdzie:

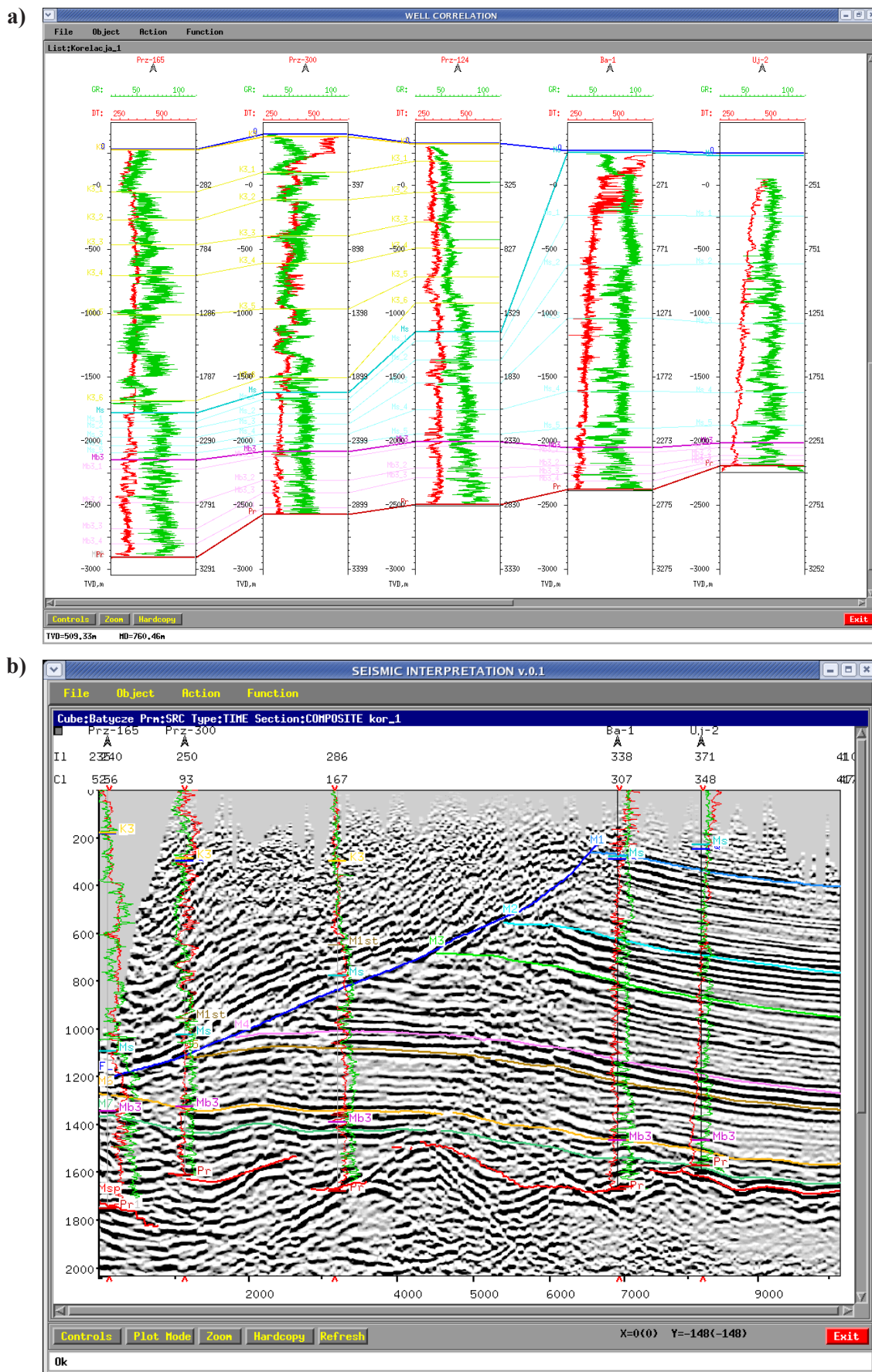
D – gęstość,

$I_i = V_{pi} \times D_i$ – impedancja akustyczna powyżej reflektora,

I_{i+1} – impedancja akustyczna poniżej reflektora.

Inwersja stochastyczna oparta jest na minimalizacji różnicy pomiędzy zadaniem przez model *a priori* syntetycznym polem sejsmicznym, a rzeczywistym polem sejsmicznym – z uwzględnieniem wszystkich posiadanych informacji geofizycznych oraz geologicznych. Zastosowana optymalizacja (minimalizacja różnic) w systemie INPRES oparta jest o optymalizację globalną (*simulated annealing*).

Stochastyczna inwersja sejsmiczna jest procesem iteracyjnym i polega na stopniowym udoskonalaniu para-



Rys. 5. a) Korelacja otworowa profili geofizycznych otworów: Przemysł-165, Przemysł-300, Przemysł-124, Batycze-1 oraz Ujkowice-2; b) linia arbitralna zdjęcia sejsmicznego przechodząca przez korelowane otwory

metrów modelu akustycznego *a priori*. Podczas jednej iteracji, w wybranym punkcie, losowo generowane są nowe wartości parametrów modelu. Dla tak zmodyfikowanych parametrów modelu oblicza się nowe trasy syntetyczne, a następnie odchylenie średniokwadratowe otrzymanych tras syntetycznych od rzeczywistych tras sejsmicznych (obliczenie funkcji celu). Wygenerowany zbiór parametrów akustycznych jest akceptowany lub odrzucony w oparciu o probabilistyczną zasadę Metropolis'a. Najmniejsze z minimum funkcji *E* (globalne minimum) odpowiada modelowi akustycznemu, który najlepiej przybliża rzeczywiste dane sejsmiczne.

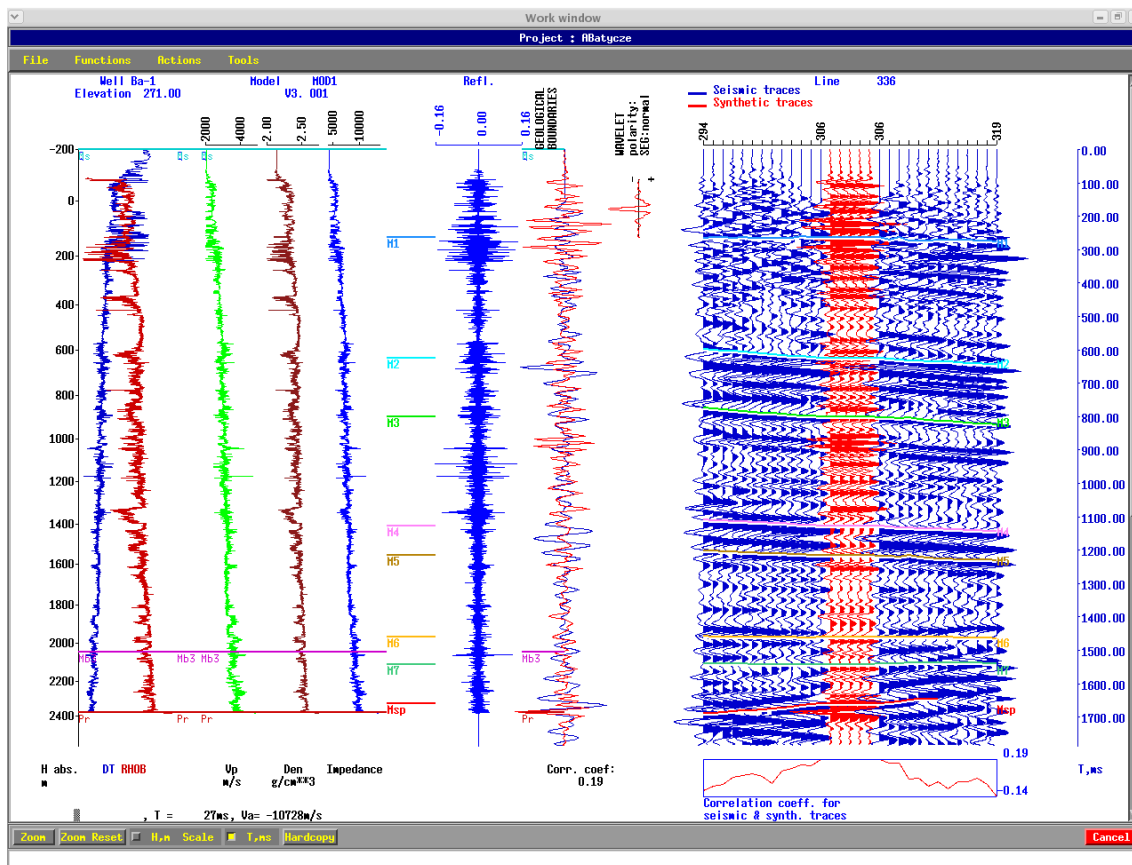
Procedura postępowania przy tworzeniu projektu inwersji stochastycznej w systemie INPRES:

- 1) utworzenie projektu,
- 2) wprowadzenie danych pomiarowych:
 - sejsmicznych 2D/3D, wraz z parametrami akwizycji,
 - horyzontów sejsmicznych oraz uskoków,
 - otworowych: nazw i parametrów akwizycyjnych otworów, profilowań geofizycznych, krzywizny otworów i hodografów,
 - granic litologiczno-stratygraficznych,
- 3) sporządzenie korelacji otworowej – profilowań geofi-

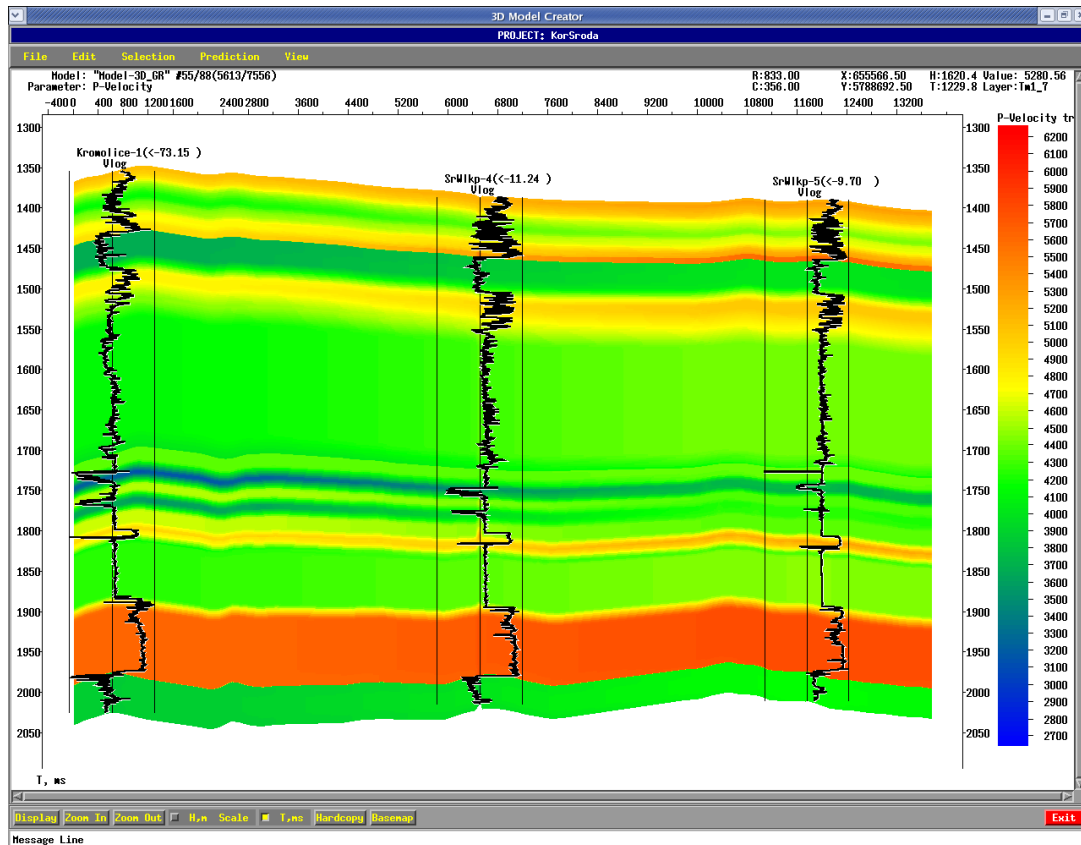
zycznych dla wybranych otworów, wyznaczenie głównych makrowarstw do modelu prędkości (*macrolayers*), (rysunek 5),

- 4) wyznaczenie modeli prędkości 1D, sygnałów sejsmicznych oraz tras syntetycznych dla wybranych otworów (rysunek 6),
- 5) konwersja czas-głębokość – danych geologicznych, otworowych, granic litostratygraficznych, a także krzywizny otworów do domeny czasowej (inklinometr),
- 6) konstrukcja modelu *a priori* (rysunek 7),
- 7) wprowadzenie parametrów inwersji stochastycznej,
- 8) uruchomienie obliczeń,
- 9) wizualizacja wyników inwersji – sekcje oraz mapy impedancji akustycznej lub elastycznej, prędkości, gęstości i parametrów złożowych (rysunek 8).

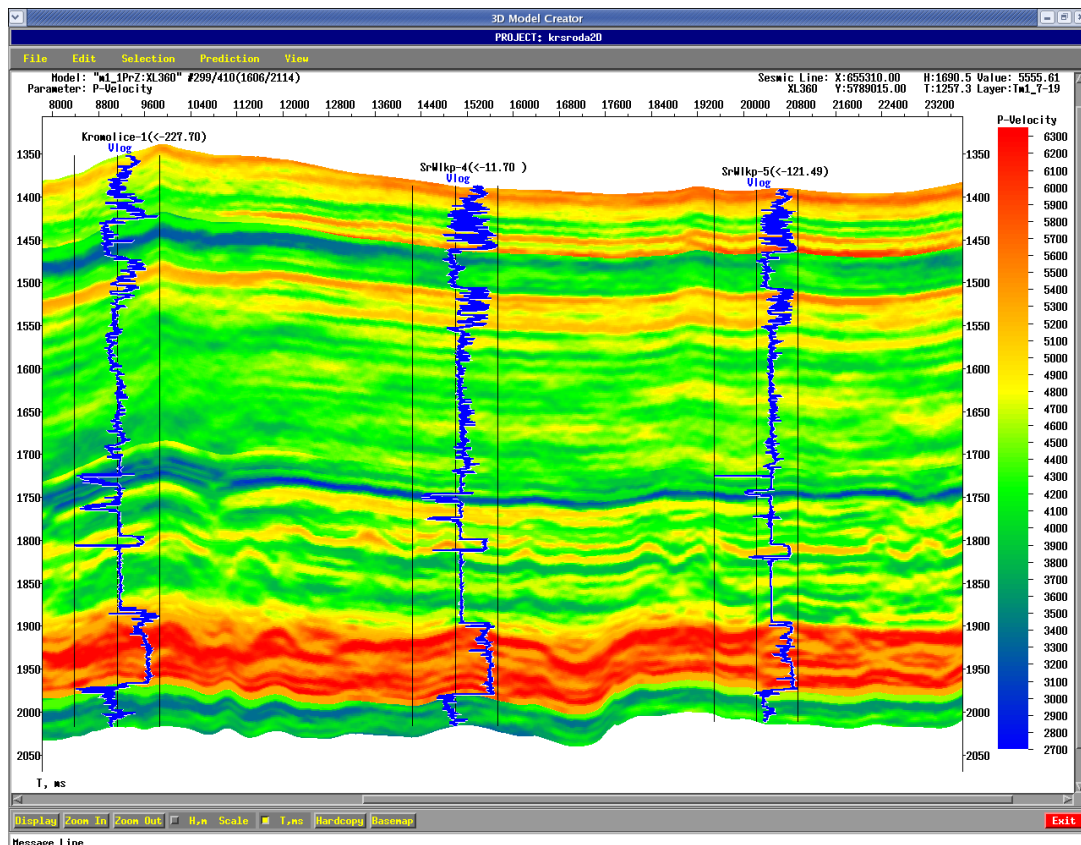
Na rysunku 5 zaprezentowano wybrane wyniki poszczególnych etapów realizacji projektu inwersji stochastycznej, obliczanej na podstawie danych sejsmicznych 3D, profilowań otworowych oraz informacji geologicznych – pochodzących z rejonów zapadliska przedkarpackiego (obszar badań sejsmicznych Ujkowice-Batycze) oraz Nizy Polskiego (obszar badań sejsmicznych Kórnik-Środa Wielkopolska).



Rys. 6. Wyniki obliczenia modelu prędkości 1D (z danych geofizycznych), sygnału sejsmicznego (z danych sejsmicznych oraz trasy sejsmicznej – powstałej jako konwolucja sygnału sejsmicznego) i trasy współczynników odbicia (z modelu prędkości)



Rys. 7. Konstrukcja modelu *a priori* w systemie INPRES, na danych pochodzących z rejonu Kórnik-Środa Wielkopolska – projekt 2D



Rys. 8. Wyniki obliczenia inwersji stochastycznej w systemie INPRES, na danych pochodzących z rejonu Kórnik-Środa Wielkopolska – projekt 2D

Podsumowanie i wnioski

Obliczanie inwersji stochastycznej 3D było możliwe do etapu, w którym należało wykonać model *a priori* (moduł *Stochastic Inversion Model Management*), co okazało się nie do zrealizowania ze względu na wykryte błędy systemowe, uniemożliwiające dalszą realizację projektu. Przedmiotowy model – zgodnie z procedurą postępowania – powinien zostać użyty w module *Stochastic Inversion Annealing*. Wykryte błędy systemowe zostały zgłoszone twórcom i administratorom systemu INPRES, którzy podjęli działania zmierzające do ich usunięcia.

W celu wykazania możliwości systemu INPRES, w aspekcie obliczania inwersji stochastycznej, autor przedstawił wyniki końcowe obliczenia jej z innego, wcześniej realizowanego projektu 2D – na podstawie danych pochodzą-

cych z rejonu Kórnik-Środa Wielkopolska. Uzyskano cieniokwarstwowy model akustyczny w postaci sekcji prędkości.

Usunięcie wad w systemie INPRES-5 umożliwi poprawne obliczenie inwersji stochastycznej na projekcie 3D Ujkowice-Batycze oraz pozwoli na optymalne wykorzystanie możliwości tego systemu.

Opanowanie i sprawne posługiwanie się systemem INPRES w obliczaniu inwersji stochastycznej, w postaci impedancji akustycznej lub elastycznej, umożliwi realizację prac sejsmicznych ukierunkowanych na rozpoznawanie parametrów fizycznych ośrodka geologicznego oraz estymację parametrów złożowych, a także ich interpretację – w aspekcie poszukiwania i rozpoznawania złóż węglowodorów na wskazanym obszarze badań.

Artykuł nadesłano do Redakcji 17.03.2011 r. Przyjęto do druku 17.03.2011 r.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej Kostecki

Literatura

- [1] Borowska L., Haber A. i in.: *Opracowanie wyników badań sejsmicznych dla tematu: Reprocessing i interpretacja prac sejsmicznych 3D Ujkowice-Batycze*, Geofizyka Kraków Sp. z o.o., Kraków, listopad 2004.
- [2] Borowska L., Haber A. i in.: *Opracowanie wyników badań sejsmicznych dla tematu: Reprocessing i interpretacja prac sejsmicznych 3D Ujkowice-Batycze*, Geofizyka Kraków Sp. z o.o., Kraków, listopad 2008.
- [3] Francis A.: *Understanding stochastic inversion: part 1*. First Break, vol. 24, November 2006.
- [4] Francis A.: *Understanding stochastic inversion: part 2*. First Break, vol. 24, December 2006.
- [5] Gunning J., Glinisky M.: *Detection of reservoir quality using Bayesian seismic inversion*. Geophysics, vol. 72, nr 3, 2007.
- [6] Helland-Hansen D. et al.: *Seismic Inversion for Reservoir Characterization and Well Planning in the Snorre Field*. The Leading Edge, 16, p. 269, 1997.
- [7] Jędrzejowska-Tyczkowska H., Bartoń R., Leginowicz A.: *Metodyka oceny szczelinowości węglanowych utworów dewonu Polski południowo-wschodniej na podstawie zintegrowanej interpretacji danych geologicznych i geofizycznych w rejonie otworu Trzebowniko-3*. Nafta-Gaz, nr 9, s. 380–388, 2005.
- [8] Jędrzejowska-Tyczkowska H., Bartoń R.: *Współczesne możliwości metody sejsmicznej w zadaniach ilościowej charakterystyki obiektów złożowych*. Nafta-Gaz, nr 7–8, s. 349, 2005.
- [9] Jędrzejowska-Zwinczak H.: *Inwersja sejsmiczna akustyczna i elastyczna fal podłużnych, konwertowanych i poprzecznych, w zagadnieniach interpretacji złożowej*. Prace Naukowe INiG, nr 160, 2009.
- [10] Jędrzejowska-Zwinczak H.: *Zastosowanie metody sejsmoakustycznej w zagadnieniach prognozowania przekroju geologicznego*. Prace IGNiG, nr 52, s. 105, 1984.
- [11] Materiały – instrukcja obsługi systemu INPRES-5 – USER MANUAL.
- [12] Pendrel J.: *Seismic Inversion – A Critical Toll in Reservoir Characterization*. Scandinavian Oil-Gas Magazine, nr 5/6, 2006.
- [13] Robinson G.: *Stochastic seismic inversion applied to reservoir characterization*. CSEG Recorder, January 2001.
- [14] Solarski T.: *Porównanie porowatości utworów dolomitu głównego przy pomocy różnych metod inwersji sejsmicznej*. Prace Naukowe INiG nr 170 s. 503–508, 2010.
- [15] Veeken P.C.H., Silva M.: *Seismic inversion methods and some of their constraints*. First Break, vol. 22, June 2004.



Dr inż. Robert BARTOŃ – absolwent Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki na kierunku Górniczo i Geologia, AGH. Pracownik Zakładu Sejsmiki Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Specjalizuje się w zagadnieniach związanych z geostatystyką złóż węglowodorów, wyznaczaniem stref anomalnych ciśnień porowych z danych sejsmicznych oraz przetwarzaniem i interpretacją PPS.