

Anna Leginowicz
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Analiza procedur wizualizacji danych sejsmicznych z wykorzystaniem systemu Petrel

Rozwijający się pręźnie przemysł poszukiwań i wydobycia węglowodorów stawia coraz większe wymagania w dziedzinie wizualizacji. Rozwiązywane są coraz bardziej skomplikowane zagadnienia (także dzięki podniesieniu rozdzielczości) – nie tylko akwizycji i przetwarzania danych, ale i prezentacji graficznej interpretowanych wyników (sejsmicznych i in.). Najnowsze trendy prezentowane na międzynarodowych konferencjach nauk o Ziemi zmagają się w kierunku prezentacji wyników poszukiwań węglowodorów w rzeczywistości wirtualnej 3D. Warto podkreślić, iż zmysły i ich udział w percepcji to bardzo ważne zagadnienie w prezentacjach odnoszących sukces: udział zmysłu wzroku to aż 87%, a zmysłu słuchu – 7% [3].

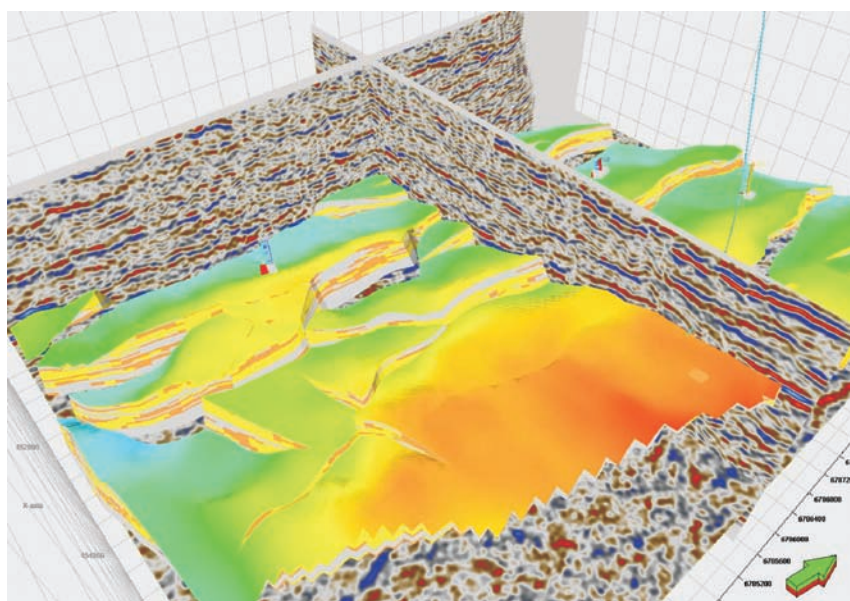
Interdyscyplinarne projekty, jakie realizowane są w Zakładzie Sejsmiki INiG, często muszą sprostać połączeniu wielkiej ilości danych z różnych rodzajów dziedzin. Niezwykle pomocna w tym zagadnieniu jest technologia wizualizacji, która dąży do uszczegółowienia informacji oraz do usprawnienia współpracy pomiędzy takimi dziedzinami jak: geologia, geofizyka oraz inżynieria złożowa.

W niniejszej publikacji przedstawiono możliwości wizualizacji z wykorzystaniem oprogramowania Petrel firmy Schlumberger (będącego w posiadaniu Zakładu Sejsmiki INiG), które pozwala właśnie na takie kompleksowe podejście do dziedziny poszukiwań węglowodorów. Petrel umożliwia interpretację danych sejsmicznych oraz geofizyki otworowej, a także modelowania: geometryczne, facjalne i petrofizyczne (rysunek 1). System jest kompatybilny z programami do symulacji i modelowań złożowych.

System ten posiada możliwości prezentowania wyników danych sejsmicznych i otworowych w rzeczywistości wirtualnej 3D za pomocą odpowiedniego, dodatkowego oprogramowania (oczywiście wymagany jest także specjalistyczny sprzęt do wizualizacji przestrzennej: monitor, kamery i okulary). Takie metody prezentacji wyników wychodzą naprzeciw najnowszym oczekiwaniom klientów branży poszukiwań węglowodorów.

W celu przeanalizowania procedur związanych z prezentacją danych sejsmicznych wykorzystano dane demo i materiały szkoleniowe firmy Schlumberger oraz dane sejsmiczne 2D z rejonu przedgórze Karpat.

Po założeniu projektu oraz wprowadzeniu do systemu danych sejsmicznych, dokonano przeglądu różnych opcji wizualizacji wyników interpretacji danych sejsmicznych,



Rys. 1. Petrel umożliwia interpretację danych sejsmicznych oraz geofizyki otworowej, a także modelowania: geometryczne, facjalne i petrofizyczne (dane szkoleniowe firmy Schlumberger)

a następnie przeanalizowano możliwości konstrukcji map powierzchniowych i doboru odpowiednich parametrów.

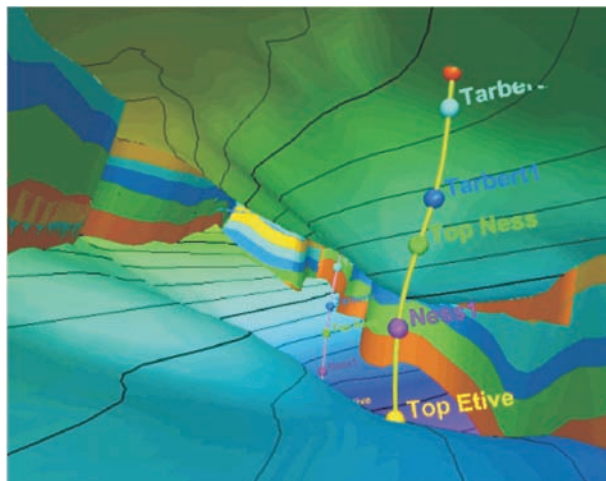
System łączy łatwość interpretacji 2D z zaletami kontroli jakości wizualizacji 3D; poprzez („windows’owy”), okienkowy interfejs wydaje się być bardziej przyjazny, dzięki czemu na początkowym etapie użytkowania obsługa modułów staje się bardziej intuicyjna. W Petrelu można szybko zinterpretować dane sejsmiczne i porównać wynik ze wszystkimi danymi znajdującymi się w projekcie. Oprogramowanie to daje możliwość spójnej, interdyscyplinarnej pracy geofizyków i geologów – w ostatecznym efekcie dając projekt modelu geologicznego.

Do wizualizacji wyników sejsmicznych w systemie Petrel używane są następujące moduły: okno 2D i 3D oraz okno interpretacji. W zależności od potrzeby oraz wybranego modułu, możliwa jest wizualizacja całości danych sejsmicznych w oknie 3D, w którym prezentowane są wszystkie profile 2D lub cała kostka danych sejsmiki 3D, a także otwory (wraz z wybranymi danymi otworowymi) oraz dowolne, wprowadzone dane o rejonie. W systemie Petrel, w oknie 3D, oprócz ręcznego wyboru danych z kostki 3D istnieje także możliwość automatycznego przeglądania *in line*, *crossline* i *timeslice* za pomocą narzędzia *Player* – tzw. odtwarzacza. Niezwykle łatwo można manipulować ustawieniami danych: obracać je, przesuwać, przybliżać i oddalać; istnieje także możliwość automatycznej rotacji (automatycznego obracania danych sejsmicznych), które w każdej chwili może być zatrzymane.

W oknie 2D prezentowany jest rzut od góry – tak zwany *Base Map* (szkic sytuacyjny), z możliwością wyświetlenia współrzędnych obszaru badań, wybranych oznaczeń danych sejsmiki 3D i 2D oraz dodatkowych danych, takich jak wybrana uprzednio linia arbitralna, czy dane otworowe.

Petrel dysponuje narzędziem do ograniczania zakresu danych – ta funkcja jest szczególnie przydatna przy olbrzymich plikach danych, takich jak duże zdjęcia sejsmiczne 3D. Użytkownik może wybrać interesujący zakres danych używając procesu *Cropping*. Pracując na wybranym, pomniejszonym wolumenie danych, znacznie przyspieszone zostają wszelkie procesy obliczeniowe. Także w celu lepszego wykorzystania systemu zalecana jest praca na plikach ZGY – jest to specjalny format danych, w którym stworzona zostaje fizyczna kopia pliku SGY.

W najnowszej wersji Petrela została również dodana funkcja symulatora lotu – *Flight Simulator*, która pozwala na wizualizację w modelu 3D jak gdyby „z lotu ptaka”; trasa lotu jest sprecyzowana przez poligon biegnący po interesującym obszarze złożowym.



Rys. 2. Prezentacja funkcji symulatora lotu – *Flight Simulator* [5]

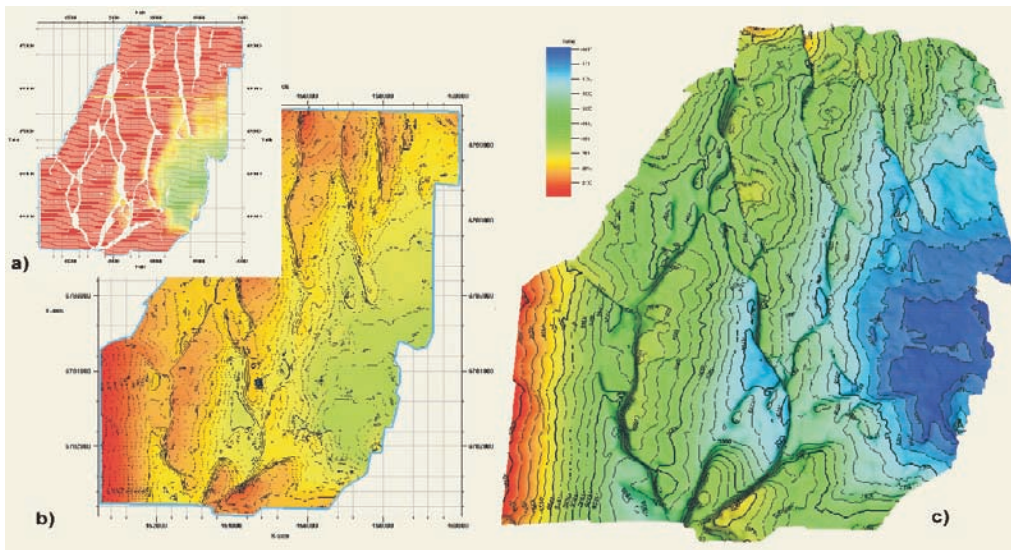
W zagadnieniach wizualizacji niezwykle ważna jest kolorystyka. Petrel oferuje wiele gotowych szablonów barw, dostosowanych do określonych danych. Istnieje także możliwość edycji skali barw oraz – co jest nowością od roku 2009 – możliwość importu dowolnych szablonów kolorystycznych.

Tematyka wizualizacji jest ściśle związana z zagadnieniem prezentowania wyników (danych sejsmicznych, map, i in.), dlatego w dalszej części publikacji, dotyczącej przeanalizowania możliwości konstruowania map powierzchniowych w systemie Petrel, możliwości wizualizacji omawiane są równoległe z prezentowanymi mapami.

Do skonstruowania map powierzchniowych w pierwszej kolejności wykorzystano dane szkoleniowe firmy Petrel, tj. dane sejsmiczne 3D z rejonu Morza Północnego. Mapy wykonano w domenie czasu.

Konstruowanie mapy rozpoczęto od wyznaczenia jej granic zasięgu, na gotowej interpretacji wybranego horyzontu (rysunek 3). Podczas kreślenia kształtu granicy mapy można dodawać, usuwać lub edytować wybrane punkty poligonu.

Tworzenie gridu w tym systemie możliwe jest z następujących danych wejściowych: markery otworowe – dane o stratygrafii, inne dane punktowe lub dane liniowe; można też wykonać powtórny grid powierzchni. System dysponuje różnymi typami algorytmów służącymi do interpolacji danych, np.: *Kriging*, *Convergent*, *Minimum Krzywizny*, sieci neuronowe i in. Petrel posiada także automatyczne ustawienia, dostosowane do jakości i ilości danych, przetestowane na różnorodnych zbiorach danych, dlatego sugerowane jest aby pierwsze podejście do interpolacji zostało wykonane z automatycznymi ustawieniami.



Rys. 3. Konstruowanie mapy dla wybranego poziomu nr 1

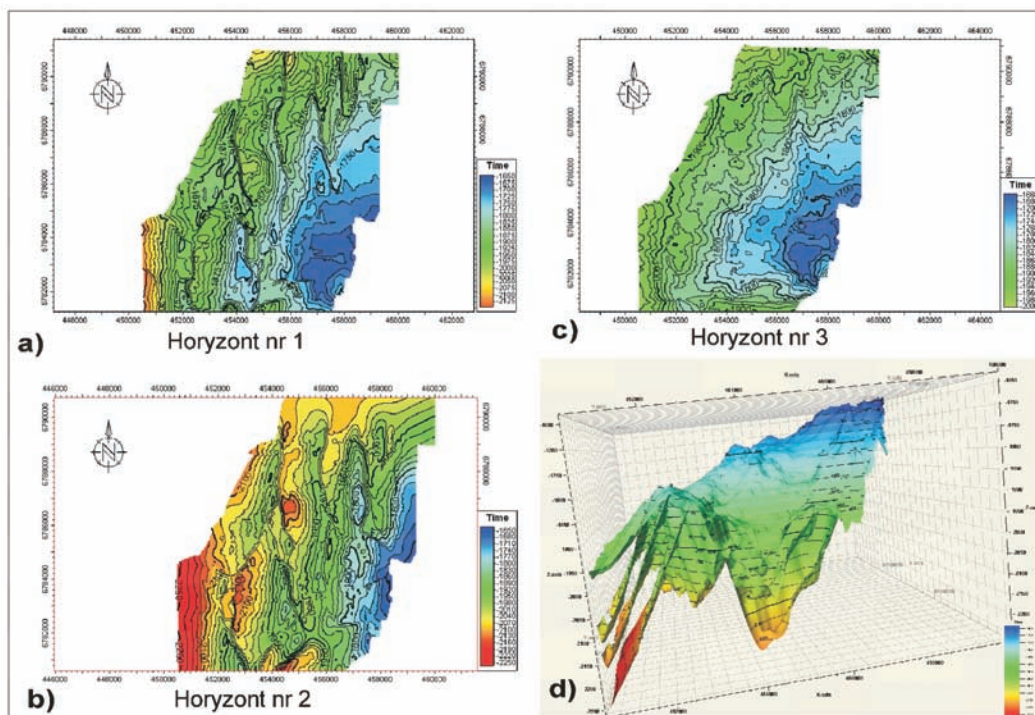
a) wyznaczenie zasięgu mapy – tworzenie poligonu, b) powierzchnia poziomu przed edycją, c) powierzchnia poziomu po dopasowaniu parametrów wizualizacji po edycji

W niniejszej publikacji stworzono grid dla wybranego poziomu nr 1 w domenie czasu, przy użyciu procesu *Make/Edit Surface* (rysunek 3b); jako najlepszy w tym wypadku sposób interpolacji został wybrany algorytm *Convergent*, a za optymalną wielkość siatki gridu przyjęto wartość równą 50 m.

Zaprezentowana w oknie 2D (rysunek 3b) powierzchnia wymaga ustawienia odpowiednich parametrów wizuali-

zacji, takich jak izoliny czy dopasowanie zakresów skali kolorów (rysunek 3c).

Świetną możliwością wizualizacji – i zarazem kontroli jakości – jest okno 3D, które umożliwia szybkie wychwytywanie błędów i niezgodności, trudnych do zauważenia w oknie 2D. Takie błędne wartości można usunąć za pomocą funkcji *Peak remover*. W procesie tym istnieją jeszcze dodatkowe użyteczne funkcje, takie jak: wygładzenie obszaru, wskazanie punktu i zmiana jego pozycji (wartości Z) oraz dodawanie lub odejmowanie zadanej wartości Z do wybranego węzła siatki. Funkcja



Rys. 4. a, b, c) Wizualizacje wybranych powierzchni w oknie *Plot window* 2D, d) Zestawienie czterech powierzchni w oknie 3D

są razem, z jedną skalą kolorów, z możliwością oglądania ich pod różnym kątem i w dowolnej skali (rysunek 4d).

Zestawienie razem wszystkich stworzonych powierzchni w oknie 3D (rysunek 4d) to, oprócz możliwości wizualizacji, zarazem bardzo dobra kontrola jakości. Taką wizualizację można obracać o dowolny kąt; użytkownik może szczegółowo, z każdej strony przeglądać dowolne obszary mapy – stosując przybliżenia, oddalenia, a przede wszystkim obserwując jak interesujące powierzchnie przebiegają nawzajem w stosunku do siebie.

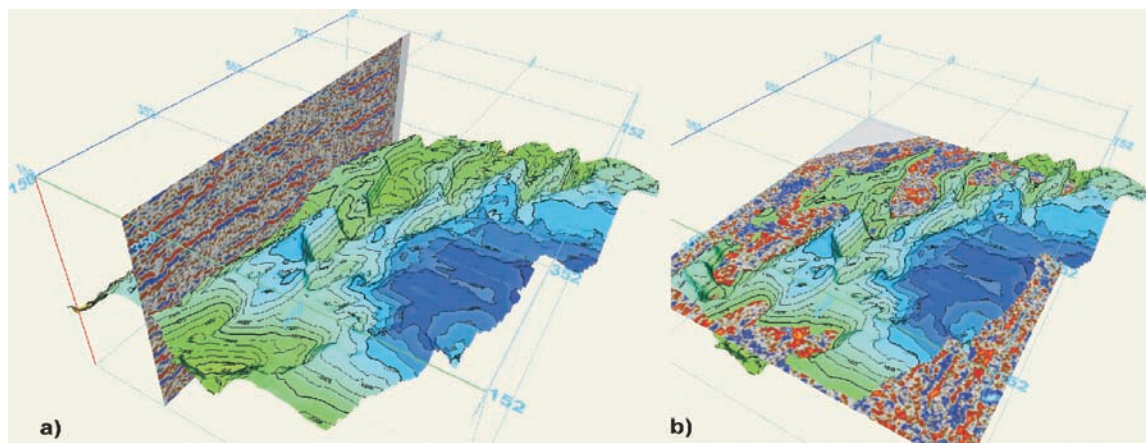
Podczas konstruowania map powierzchniowych dostępne są różne opcje, w zależności od dostępnych danych wejściowych. Dysponując danymi sejsmicznymi i otworowymi o różnym stopniu wiarygodności mamy możliwość przypisać im określone wagi. W ten sposób wykonano powierzchnię horyzontu nr 2, przypisując do

danych wejściowych (sejsmicznych i otworowych) odpowiednie wagi (rysunek 4b):

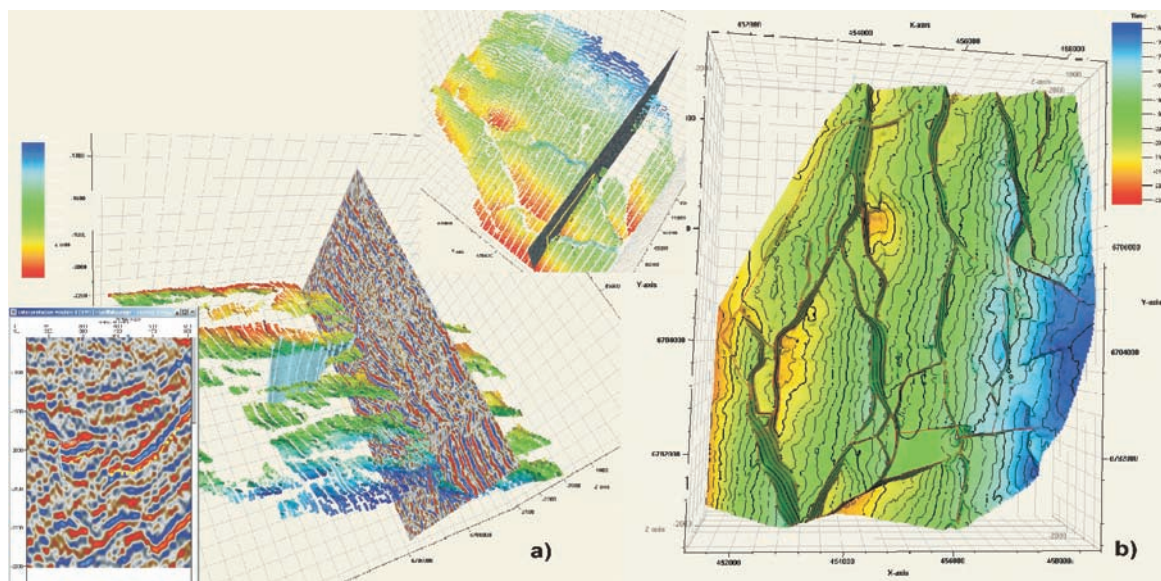
- 1,5 – interpretacja danych sejsmicznych – horyzont nr 2,
- 1,2 – informacja o stratygrafii z danych otworowych.

Użytecznym narzędziem jest również profil przecinający – *General Intersection*: pionowy (rysunek 5a) i poziomy (rysunek 5b), który pozwala jednocześnie śledzić zbiór danych (np. wybraną powierzchnię) w przestrzeni oraz szczegóły interpretacyjne na profilu sejsmicznym. Ponadto, podczas wyświetlania *General Intersection* warto wykorzystać funkcje odtwarzacza, który wybraną płaszczyznę przesuwają automatycznie (płynnie lub z zadaniem krokiem).

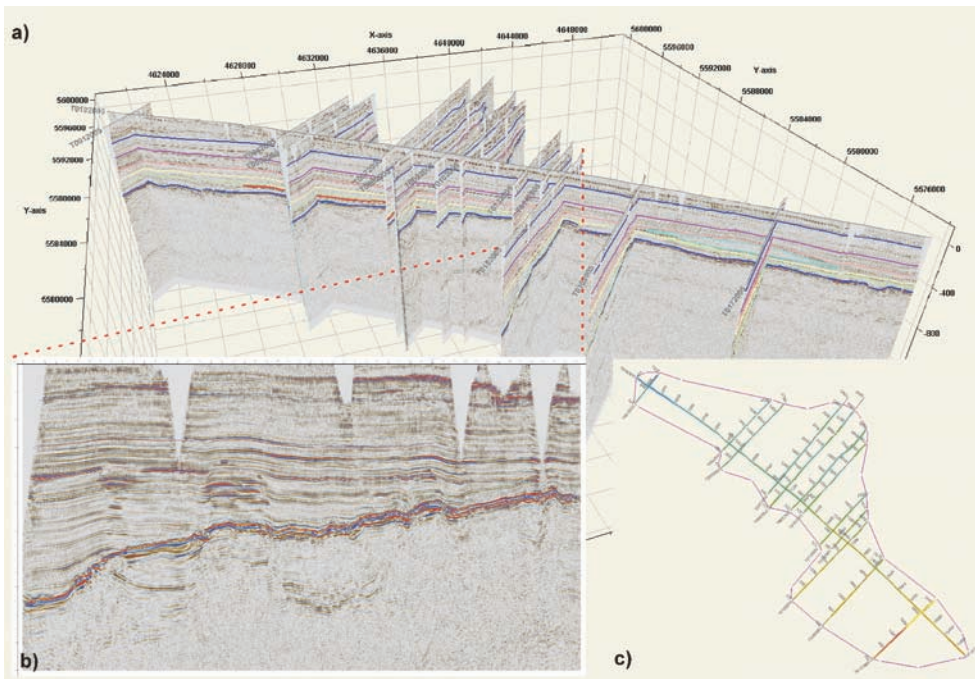
System dysponuje różnymi możliwościami obliczeń matematycznych – wykonywanych na powierzchniach, poligonach i innych zbiorach danych, a także funkcją tworzenia poligonów uskoków – na odpowiednio przygoto-



Rys. 5. Różne możliwości prezentacji powierzchni, wraz z innymi dostępnymi danymi, np. sejsmicznymi (*General Intersection*: pionowa (a) i pozioma *time slice* (b))



Rys. 6. a) Interpretacja płaszczyzny uskokowej w oknie interpretacji oraz kontrola jakości w oknie 3D, b) Wygenerowane poligony uskoków na utworzonej powierzchni horyzontu nr 2



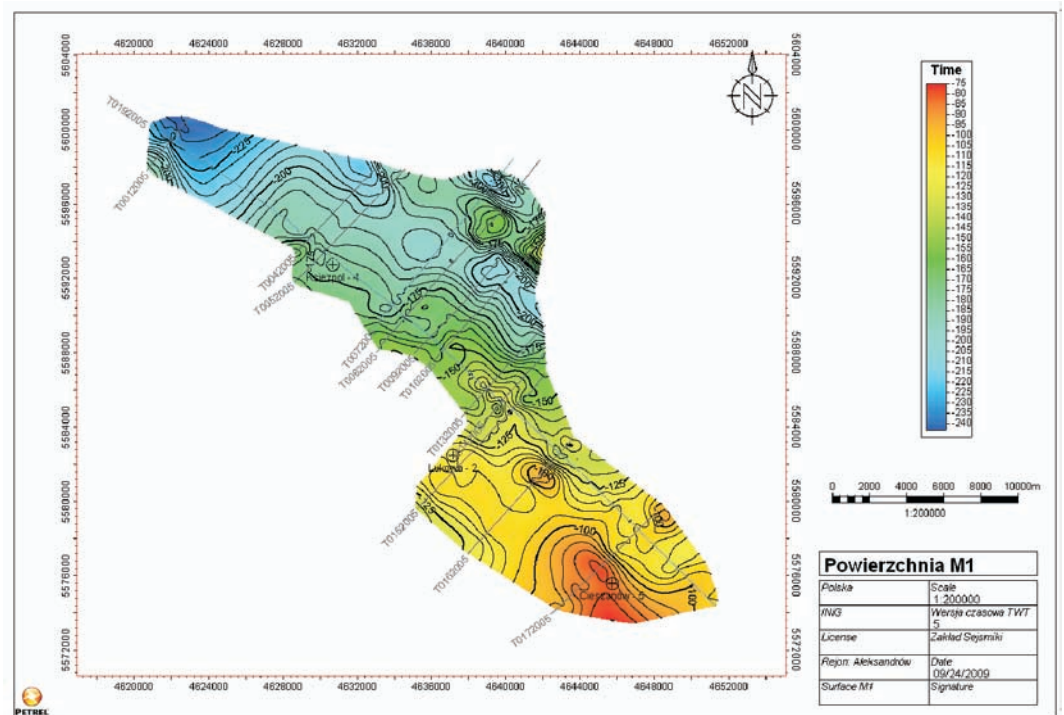
Rys. 7. a) Wizualizacja w oknie 3D wszystkich profili 2D, b) Wybrany profil porzeczny z interpretacją horyzontów, c) Wyznaczanie zasięgu mapy – poligonu – na wyinterpretowanym horyzoncie

wanej interpretacji (rysunki 6a i 6b). Interpretacja uskoków może być wykonywana w oknie interpretacji na płaszczyźnie 2D i zarazem kontrolowana w oknie 3D (rysunek 6a). Efektem końcowym jest mapa powierzchniowa z naniesionymi poligonami uskoków (rysunek 6b), którą można prezentować w oknie 3D – oglądając ją pod dowolnym kątem i ustalając odpowiednią dla użytkownika skalę poziomą.

Przeanalizowano również procedurę konstruowania map powierzchniowych dla danych sejsmicznych 2D (dane pochodziły z rejonu zapadliska przedkarpackiego). Po założeniu projektu, zaimportowano dane sejsmiczne w formacie sgy – 13 profili sejsmicznych (rysunek 7a), następnie wykonano interpretację wybranych horyzontów: M1, M2, M3, M4, M5, Ma, Mf, Mf str, M tur II – kluczowych dla danego rejonu, które zostały

zaprezentowane na przykładowym profilu poprzecznym (rysunek 7b).

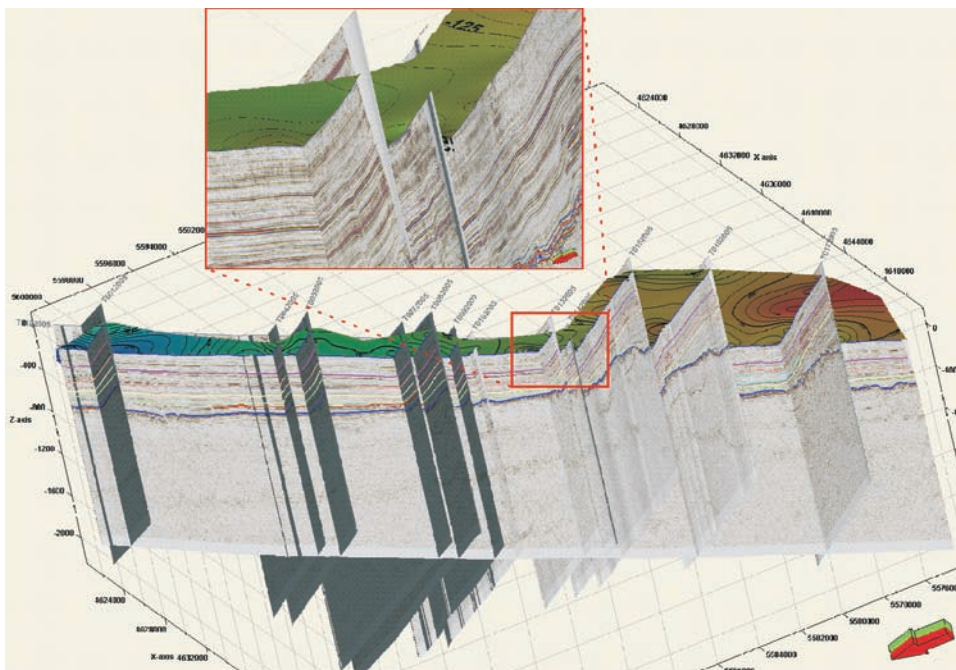
Konstruowanie mapy rozpoczęto od wyznaczenia jej zasięgu, czyli na wyinterpretowanym horyzoncie M1, wyświetlonym w oknie 2D, wykreślono poligon (rysunek 7c), a następnie z użyciem procesu *Make/Edit Surface* stworzono powierzchnię M1 oraz dodano siatkę profili sejsmicznych i lokalizację otworów. W ustawieniach parametrów odpowiednio dopasowano zakres kolorów, a następnie ustawiono parametry izolinii. Efekt końcowy utworzonej powierzchni M1 przedstawiono na wydruku *Map Window*



Rys. 8. Powierzchnia M1 po dopasowaniu parametrów wizualizacji. Okno *Map Window*

(w tej opcji jest możliwość wyświetlenia zakresu kolorów, skali mapy oraz nagłówka, do którego można wprowadzić pożądane informacje – rysunek 8).

System Petrel dysponuje różnymi możliwościami wizualizacji i prezentacji wyników. Mapę można np. przedstawić w oknie 3D wraz ze wszystkimi profilami sejsmicznymi



Rys. 9. Możliwość wizualizacji najmniejszych detali powierzchni, pod dowolnym kątem

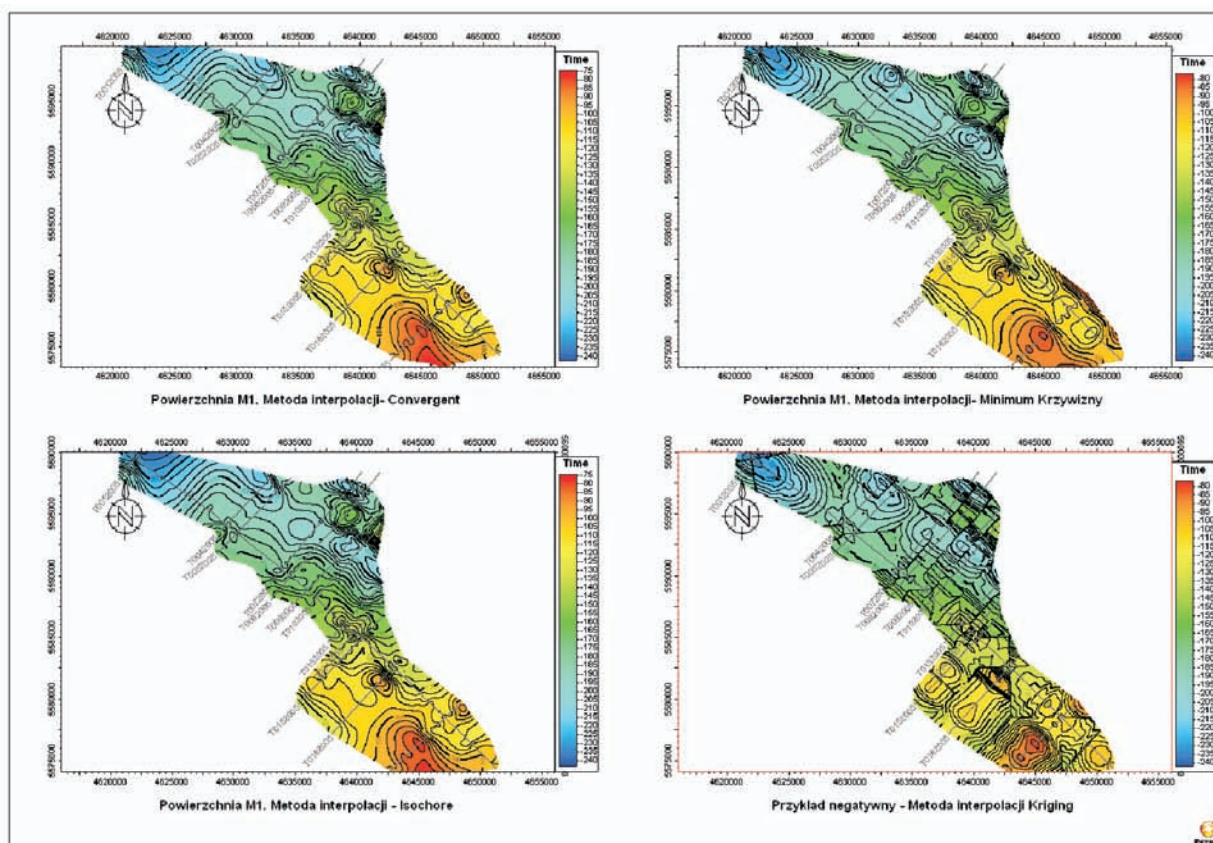
rejonu Aleksandrów, co jest zarazem świetnym narzędziem do kontroli jakości wyników. Powierzchnię wraz z całym projektem można obracać i oglądać pod dowolnym kątem, a także w każdej chwili wykonać zbliżenie dowolnego, in-

teresującego użytkownika obszaru (rysunek 9).

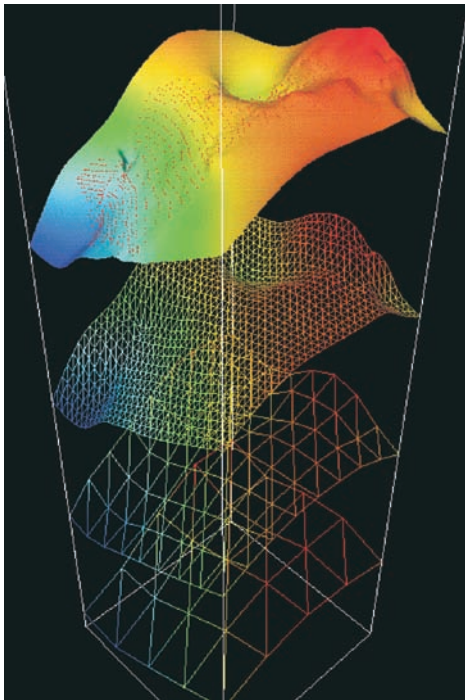
Na przykładzie powierzchni M1 porównano różne rodzaje algorytmów interpolujących. Wykonano wiele prób i testów dotyczących parametrów interpolowania gridu powierzchni. Wybrane przykłady zostały zestawione na jednym wydruku z okna *Plot Window* (rysunek 10); porównano na nim różne metody interpolacji danych, tj.: *Convergent*, *Minimum Krzywizny*, *Izochore* oraz *Kriging*. Okazało się, że najlepszą metodą interpolacji jest algorytm *Convergent*, a najgorszą metodą – w tym przypadku jest metoda *Kriging*. Spośród wielu map, jako najlepszą, wybrano powierzchnię po edycji wykonaną

przy pomocy algorytmu *Convergent* (oczko siatki 200) (rysunek 8).

Algorytm *Convergent gridder* jest stosunkowo uniwersalnym sposobem tworzenia odwzorowań na podstawie



Rys. 10. Porównanie różnych rodzajów algorytmów: *Convergent*, *Minimum Curvature*, *Isochore Interpolation*, *Kriging Interpolation*



Rys. 11. Poszczególne etapy powstawania gridu i powierzchni metodą interpolacji *Convergent* [5]

rozłożonych nierównomiernie na powierzchni punktów kontrolnych, który stanowi podstawę iteracji (rysunek 11).

Jego główną zaletą jest elastyczność; może pracować aproksymując lub iterując poszukiwaną powierzchnię na podstawie danych o zróżnicowanej gęstości – stąd idealnie nadaje się do zastosowań geofizycznych. Dobrze też śledzi trend w miejscach małej gęstości danych i zachowuje szczegóły w miejscach, gdzie gęstość posiadanych danych pozwala na większe zróżnicowanie. Algorytm oparty jest na zastosowaniu współczynników zbieżności do zagęszczanej w każdym kroku iteracji siatki (gridu).

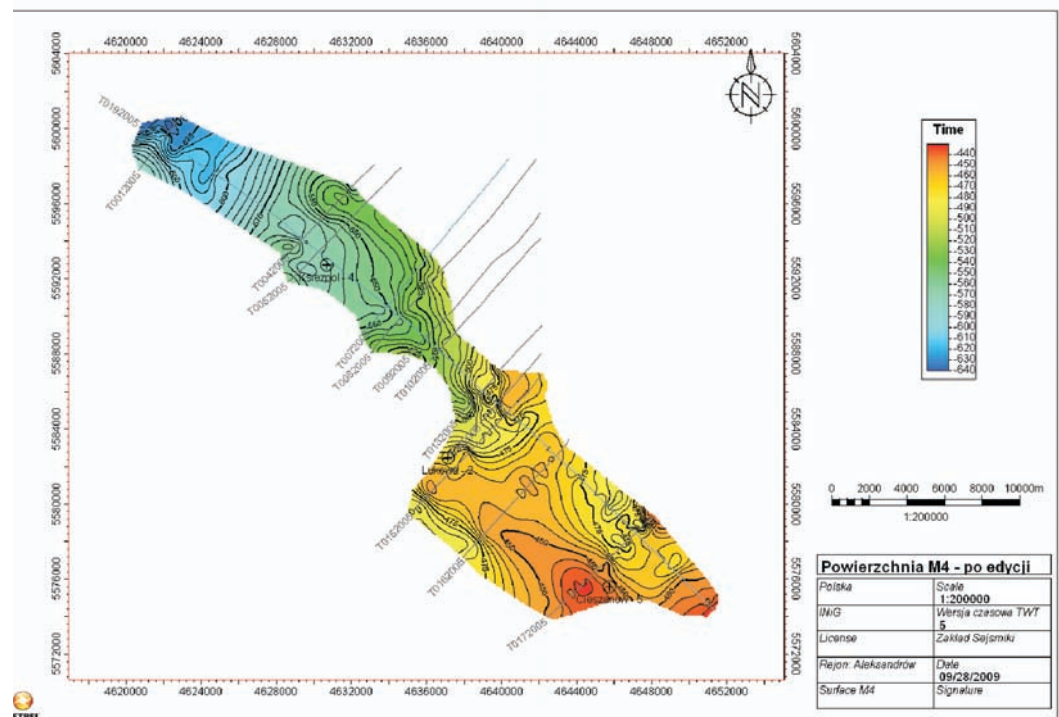
W kolejnych krokach wykorzystywane są pochodne otrzymane w krokach poprzedzających. Same obliczenia są stosunkowo proste – nie ma konieczności przeszu-

kiwania i sortowania danych – co owocuje dużą szybkością obliczeń. Jednocześnie, nie wymaga ustawienia wielu parametrów, a na istniejące odpowiada jednoznacznie. Dodatkowo algorytm uwzględnia niepewność danych wejściowych.

Podczas estymowania powierzchni strukturalnych algorytm uwzględnia obecność uskoku, kosztem nakładu obliczeniowego. Możliwe jest też zadanie parametru związanego z ignorowaniem uskoku w pierwszych etapach interpolowania powierzchni.

Mając już sprecyzowane i wybrane najlepsze parametry oraz algorytm *Convergent*, stworzono kolejną powierzchnię M4. W pierwszym etapie wykreślono poligon (na wyinterpretowanym horyzoncie M4, wyświetlonym w oknie 2D), będący zakresem powierzchni, a następnie przy pomocy procesu *Make/Edit Surface* stworzono powierzchnię M4. W ustawieniach parametrów odpowiednio dopasowano zakres kolorów, a następnie ustawiono parametry izolinii. Efekt końcowy utworzonej powierzchni M4 przedstawiono na wydruku *Map Window* (rysunek 12).

System oferuje szereg bardzo przydatnych narzędzi służących do szybkiej edycji powierzchni, takich jak: *Smooth Area* – wygładzanie obszaru, *Peak Remover* – usuwanie pików (niepożądanych, błędnych maksimumów), wskazanie punktu i zmiana jego pozycji (wartości Z) oraz dodawanie lub odejmowanie zadanej wartości Z do wybranego węzła

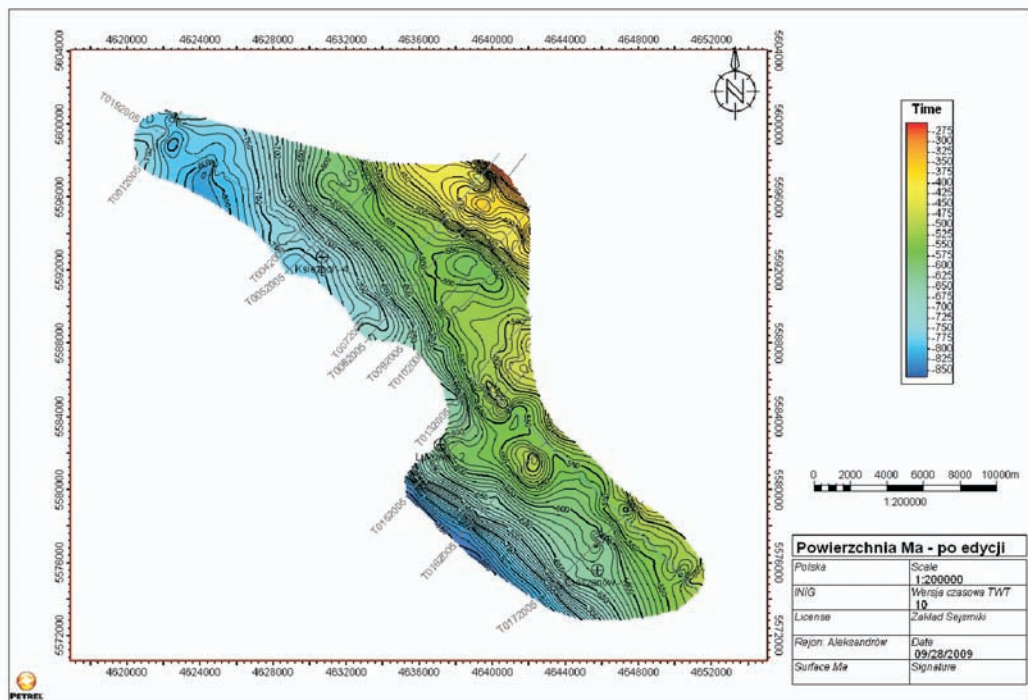


Rys. 12. Powierzchnia M4 po dopasowaniu parametrów wizualizacji w oknie *Map Window* oraz edycji *Smooth Area*

siatki. Bardzo przydatnym narzędziem okazało się *Smooth Area*, które służy do ręcznej edycji – wygładzenia izolinii mapy. Na rysunku 12 przedstawiono powierzchnię M4 po edycji *Smooth Area*, gdzie poprzez funkcję ręcznego wygładzania wygładzono kształt wybranych izolinii, oraz usunięte zostały fikcyjne ekstrema w miejscach poza zbiorem danych wejściowych, czyli poza profilami sejsmicznymi. Na koniec, w podobny sposób jak przedstawiono powyżej, po uprzednim stworzeniu odpowiedniego poligonu-granicy, otrzymano powierzchnię horyzontu anhydrytu – Ma, którą poddano edycji funkcją *Smooth Area* (rysunek 13).

Wszystkie stworzone powierzchnie można również wyświetlić w oknie 3D Window, po uprzednim dostosowaniu zakresu skali kolorów (od czasu minimum dla powierzchni M1 do czasu maksimum dla powierzchni Ma) (rysunek 14).

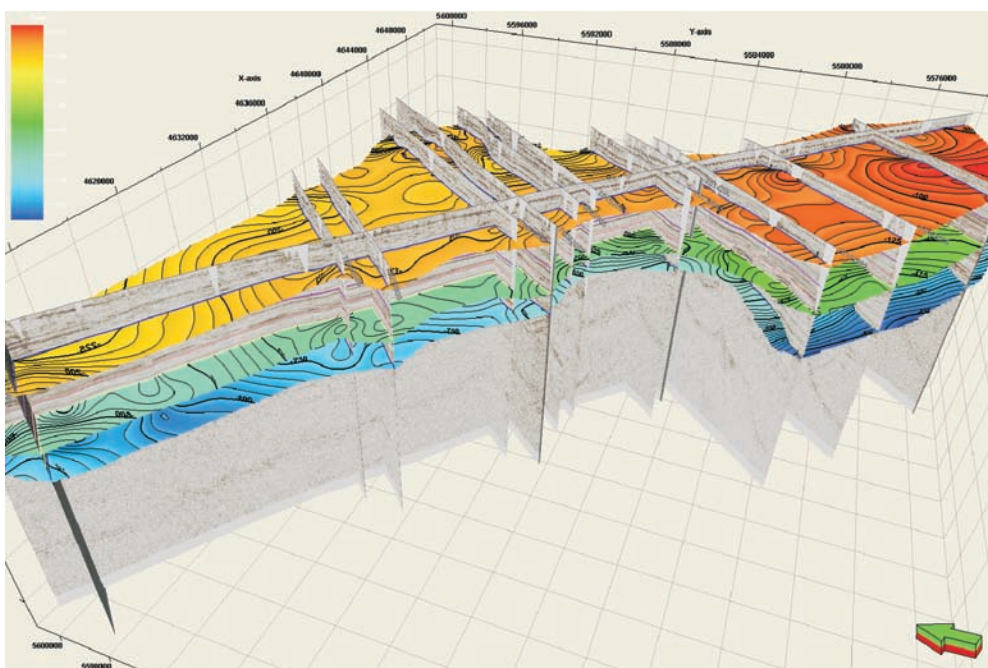
W niniejszej publikacji omówiono główne możliwości wizualizacji i prezentacji danych sejsmicznych oraz przedstawiono proces tworzenia map powierzchniowych. Zaprezentowana w tej pracy wiedza i umiejętności kreślenia map są wynikiem kilkumiesięcznej pracy autorki, jednak należy sobie uświadomić, iż system posiada o wiele więcej możliwości. Podsumowując można powiedzieć, że Petrel posiada bardzo użyteczne narzędzia do wizualizacji danych oraz konstruowania map powierzchniowych, jednak procesy te lepiej funkcjonują w przypadku danych sejsmicznych 3D; aniżeli 2D. Przebiegają one w systemie stosunkowo szybko (oczywiście w zależności od ilości



Rys. 13. Powierzchnia Ma przedstawiona w oknie *Map Window* po dopasowaniu parametrów wizualizacji oraz edycji *Smooth Area*

danych), sprzyjają również temu odpowiednio dobrane algorytmy interpolujące dane wejściowe.

Reasumując niniejszą publikację należy stwierdzić, że system posiada olbrzymie możliwości wizualizacji i prezentacji danych geologicznych i geofizycznych. Za pomocą systemu rozwiązywane są skomplikowane zagadnienia geologiczno-geofizyczne wymagające zaangażowa-



Rys. 14. Wizualizacja w oknie 3D powierzchni: Ma, M4 oraz M1, na tle profili sejsmicznych

nia interdyscyplinarnego zespołu. Podnoszenie rozdzielczości – nie tylko akwizycji i przetwarzania danych, ale także prezentacji graficznej interpretowanych wyników (sejsmicznych i in.) – jest obecnie standardem. Petrel

ma doskonale rozwiniętą technologię wizualizacji, która dąży do uszczegółowienia informacji oraz usprawnienia współpracy pomiędzy takimi dziedzinami jak: geologia, geofizyka oraz inżynieria złożowa.

Artykuł nadesłano do Redakcji 22.03.2010 r. Przyjęto do druku 27.04.2010 r.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej Kostecki

Literatura

- [1] *Introduction Course* – materiały pomocnicze ze szkolenia firmy Schlumberger, 2009.
- [2] Leginowicz A. i in.: *Analiza sedymentacyjno-tektoniczna danych z rejonu Aleksandrowa pod kątem identyfikacji pułapek węglowodorów w obrębie kompleksu mioceńskiego*. INiG, 2007.
- [3] Młodkowski J.: *Aktywność wizualna człowieka*. PWN, Warszawa-Lódź, 1998.
- [4] *Opracowanie badań sejsmicznych 2D z rejonu: Lubliniec-Cieszanów-Aleksandrów*. Geofizyka Toruń, 2005.
- [5] Petrel HELP 2009.1 – online manual w systemie Petrel.



Mgr inż. Anna LEGINOWICZ – absolwentka Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie. Jest asystentem w Zakładzie Sejsmiki INiG w Krakowie, gdzie zajmuje się interpretacją sejsmiczną przy użyciu oprogramowania Schlumberger'a GeoFrame/Charisma oraz zagadnieniami inwersji sejsmicznej i sejsmiki wielokomponentowej.

ZAKŁAD SEJSMIKI

Zakres działania:

- interpretacja strukturalna i litofacyjna zdjęć sejsmicznych 2D i 3D;
- budowa modelu prędkościowo-głębokościowego ośrodka na podstawie analizy danych sejsmicznych;
- wieloskładnikowa sejsmika powierzchniowa i otworowa (3D-3C, PPS-3C);
- migracja sejsmiczna MGF-K sekcji czasowych sumowanych i przed sumowaniem w dziedzinie czasu i głębokości;
- konstrukcja map powierzchniowych;
- ocena wpływu anizotropii w ośrodku geologicznym na podstawie danych sejsmicznych;
- zastosowania sejsmiki do monitorowania parametrów fizycznych złoża w czasie jego eksploatacji (sejsmika 4D);
- zastosowanie metod geostatycznych do budowy statycznych i dynamicznych modeli złóż węglowodorów.

Kierownik: dr Anna Półchłopek

Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków

Telefon: 12 653-25-12 wew. 155

Faks: 12 653-16-65

E-mail: anna.polchlopek@inig.pl

