

Mariusz Miziołek

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Nowe oprogramowanie geologiczne do budowy przestrzennych modeli złóż

W artykule przedstawiono możliwości oprogramowania geologicznego JewelSuite™ przeznaczonego do tworzenia modeli złóż gazu ziemnego, ropy naftowej i podziemnych magazynów gazu. JewelSuite™ pozwala użytkownikowi na szybkie zbudowanie modelu złoża o skomplikowanej budowie geologicznej. Autor omawia funkcje programu na bazie przykładowego niekonwencjonalnego złoża gazu ziemnego.

Słowa kluczowe: JewelSuite, model geologiczny, miocen autochtoniczny.

New geological software to build spatial models of deposits

This paper presents the capabilities of the JewelSuite™ geological modeling software used to build models of natural gas, oil fields and underground gas storage reservoirs. The JewelSuite™ software allows the user to quickly build complex reservoir models. The author describes the program functions based on a sample unconventional gas field.

Key words: JewelSuite, geologic model, autochthonous miocene.

Wstęp

Oprogramowanie JewelSuite™ firmy Baker Hughes, zakupione przez INiG w ostatnim czasie, jest nowoczesnym programem służącym m.in. do budowy skomplikowanych modeli geologicznych złóż gazu, ropy, podziemnych magazynów gazu i złóż niekonwencjonalnych. Dzięki wykorzystaniu przykładowego złoża gazu został zbudowany jego pełny, gridowy model geologiczny, bazujący na imporcie istniejących danych.

Modele stworzone przy pomocy JewelSuite™ mogą być w dalszej kolejności wykorzystywane do projektowania rozbudowy złóż i podziemnych magazynów gazu [13] oraz do odtworzenia historii wydobycia złóż czy PMG i prognozowania ich dalszej eksploatacji przy założeniu istniejących lub nowych parametrów eksploatacyjnych i petrofizycznych złoża.

Krótki opis programu JewelSuite™

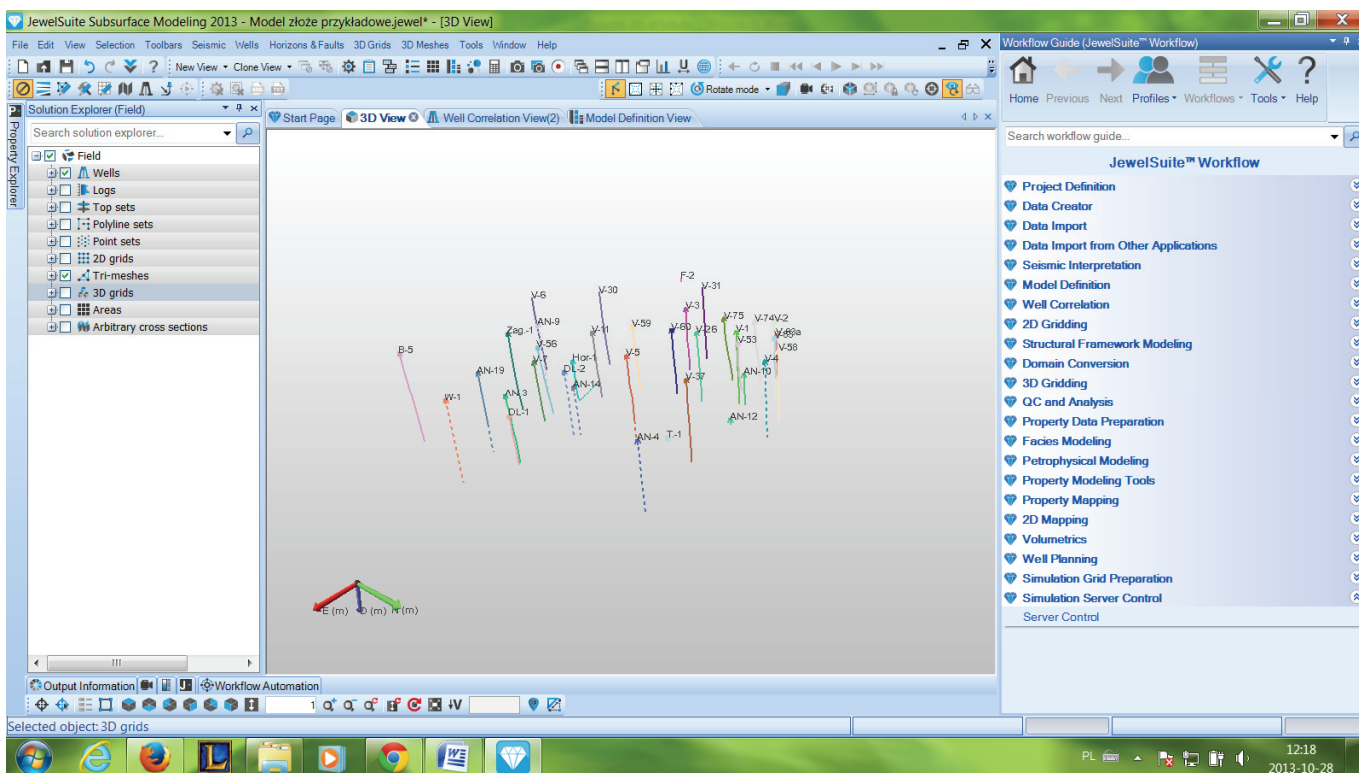
Program JewelSuite™ jest oprogramowaniem opracowanym przez firmę Baker Hughes Incorporated. Aktualnie dostępna wersja pochodzi z roku 2013.

Program zbudowany jest z modułu geologicznego, w skład którego wchodzi różne segmenty (rysunek 1), m.in.:

- do importu danych,
- do importu danych z innych aplikacji,
- do tworzenia nowych danych,
- do modelowania facji,
- do analizy statystycznej danych geologicznych,
- korelacyjny,
- mikro i makrosejsmiczny,
- modelowania strukturalnego,
- modelowania petrofizycznego,
- do triangulacji i gridowania,
- do tworzenia map,

- do wykonywania obliczeń objętościowych,
- do projektowania nowych otworów oraz wielu innych segmentów.

Zastosowanie do budowy modelu geologicznego przedstawionego zestawu narzędzi spowoduje, że będzie on miał charakter wszechstronny i bardziej zaawansowany.



Rys. 1. Panel główny programu JewelSuite™ z warstwami po lewej stronie, ekranem roboczym w środku oraz panelem roboczym po prawej stronie

Proces budowy modelu geologicznego

Przygotowanie danych oraz ich import do programu JewelSuite™

Wśród danych, które są konieczne do budowy dowolnego modelu, wyróżniamy:

- dane odwiertowe – współrzędne, inklinometry, stratygrafię odwiertu,
- dane geofizyczne – z geofizyki odwiertowej oraz reinterpretacji pomiarów geofizycznych,
- dane do map strukturalnych,
- dane do map petrofizycznych,
- dane sejsmiczne (o ile są dostępne).

W przypadku implementacji danych bezpośrednio do programu JewelSuite™ używa się specjalnego segmentu *Data Creator*, składającego się z 11 paneli, do których wprowadza się informacje dotyczące złoża i odwiertów, obejmujące m.in.: współrzędne i stratygrafię otworów, inklinometry, krzywe geofizyczne, powierzchnie strukturalne, uskoki i nasunięcia.

W większości przypadków mamy jednak do czynienia z istniejącym zasobem danych zgromadzonych w różnego rodzaju plikach. W programie JewelSuite™ dostępny jest panel importu *Data import*, za pomocą którego można wprowadzić

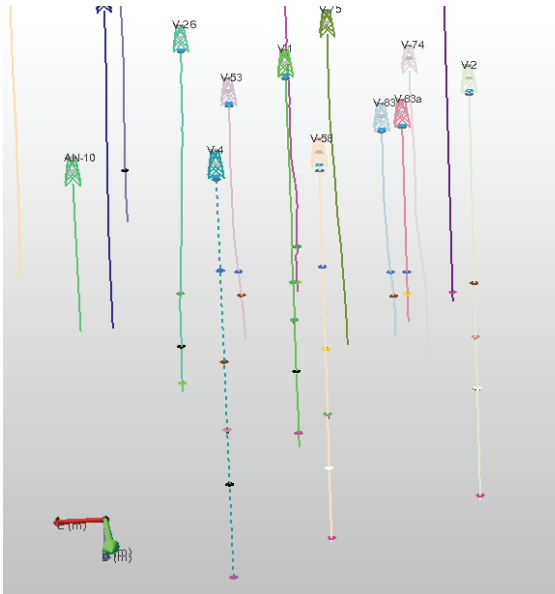
wiele danych, np.: współrzędne otworów, dane stratygraficzne, inne dane odwiertowe, inklinometry, krzywe geofizyczne, dane sejsmiczne, mikrosejsmiczne, gridy 2D i 3D, dane punktowe, wielolinie, dane produkcyjne oraz obrazy.

Program JewelSuite™ ma szeroki zestaw dostępnych plików importowych, m.in.: *.ASCII, *.txt, *.dat, *.las, *.xls, *.bmp, *.jpg, *.jpeg, *.gif, *.png, *.tiff, *.tif, *.doc, *.ppt, *.pdf oraz danych sejsmicznych w standardowych formatach PL (GOCAD), ZMAP, CPS, Charisma, IRAP, IESX. Istnieje też możliwość importu danych z innych programów geologicznych takich jak np.: Petrel, Geographics, OpenWorks, IHS, Kingdom, Geocad, MFrac.

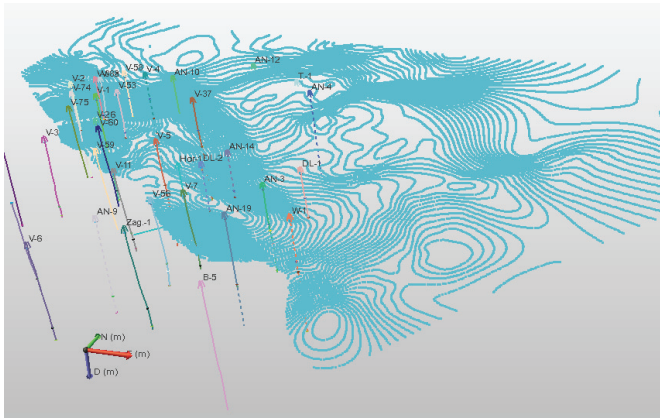
Podczas wprowadzania danych część plików wymaga obróbki w celu uzyskania odpowiedniego formatu.

W pierwszej kolejności importowane są dane odwiertowe (współrzędne, inklinometry), a następnie dane do budowy powierzchni strukturalnych stropu i spągu kolejnych wydzielen stratygraficznych (rysunki 2 i 3).

Obraz formacji uzyskanej po imporcie wszystkich powierzchni strukturalnych składających się na model geologiczny budowanego złoża przedstawiono na rysunku 4.



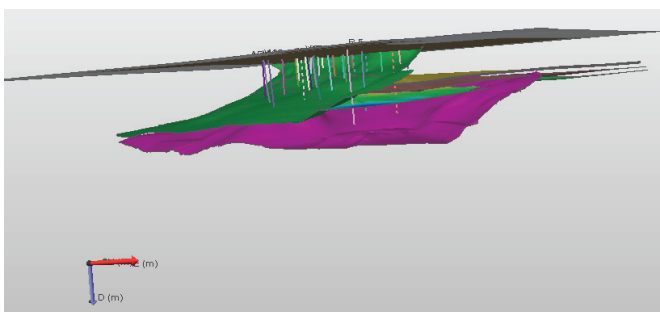
Rys. 2. Otwory z zaimportowanymi punktami stratygraficznymi



Rys. 3. Zaimportowana powierzchnia strukturalna wybranego horyzontu widoczna w postaci punktów przed procesem triangulacji

Kolejnymi danymi wprowadzanymi do modelu są dane stratygraficzne (rysunek 2) w rozbiciu na poszczególne otwory. Cały profil odwiertu powinien być rozdzielony stratygraficznie od wierzchu do dna otworu.

Następnie importowane są krzywe geofizyczne i dane z reinterpretacji pomiarów geofizycznych.



Rys. 4. Model przestrzenny złoża po imporcie powierzchni strukturalnych oraz wykonaniu procesu tzw. triangulacji

Przeprowadzenie procesu triangulacji, korekta powierzchni strukturalnych, budowa modelu stratygraficznego oraz gridowanie

Wygląd modelu przestrzennego przykładowego złoża po wykonaniu importu danych otworowych, stratygraficznych, geofizycznych i strukturalnych przedstawiono na rysunku 4. Powierzchnie horyzontów oraz uskoki zostały utworzone przez linie złożone z punktów. W celu wykreowania jednolitej powierzchni wykonuje się tzw. zabieg triangulacji, który polega na przekształceniu izol linii w powierzchnie zbudowane z trójkątów.

Ponieważ niektóre z zaimportowanych powierzchni strukturalnych (np. uskoki, nasunięcia, powierzchnie erozyjne) mogą się przecinać lub nie stykać z pozostałymi powierzchniami strukturalnymi, konieczna jest korekta ich powierzchni triangulacyjnych. Wykonuje się ją przy pomocy zestawu narzędzi dostępnych w oprogramowaniu. Pozwalają one na obcięcie wystających fragmentów powierzchni, ich rozdzielenie oraz dociągnięcie.

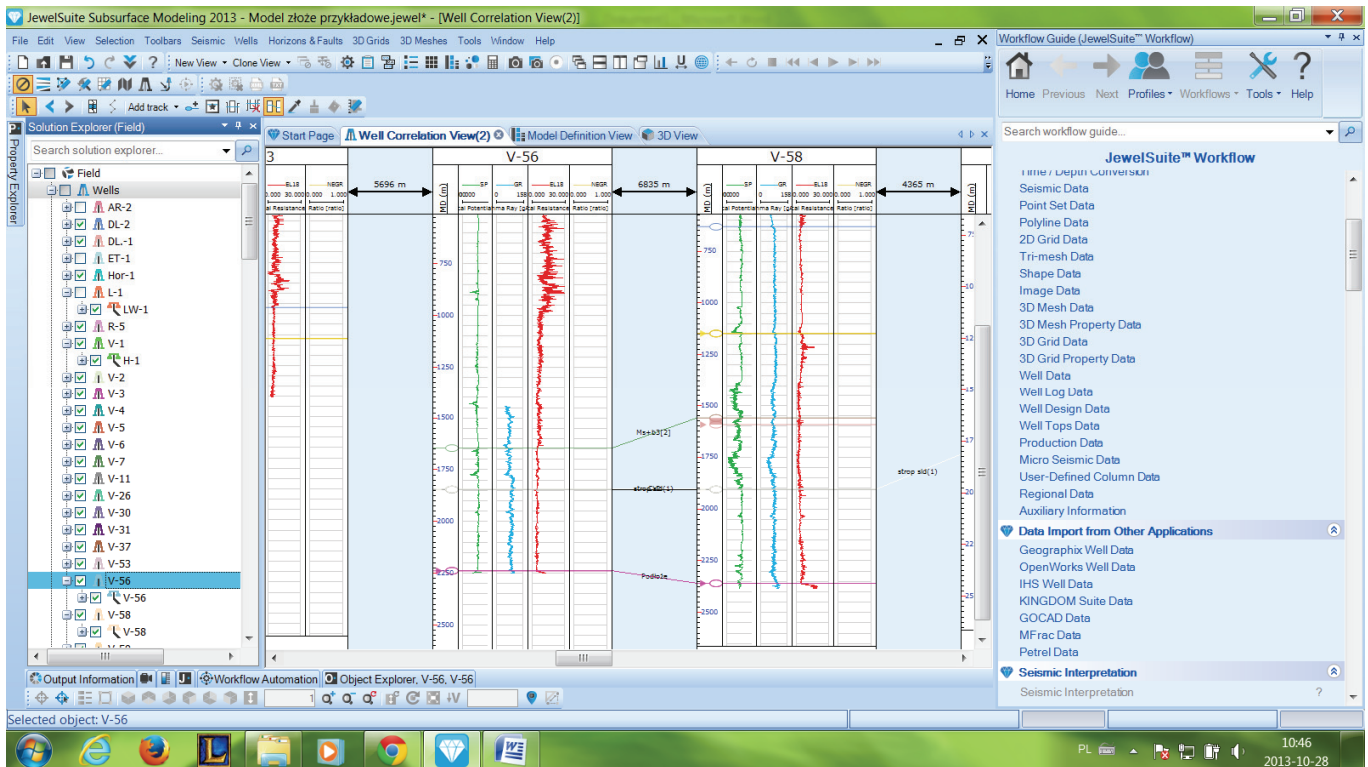
Kolejnym zabiegiem, koniecznym do przeprowadzenia przed procesem gridowania modelu geologicznego, jest zharmonizowanie punktów stratygraficznych wyznaczonych na osi otworu z ich odpowiednimi powierzchniami stratygraficznymi. Jest to konieczne, gdyż najczęściej dana powierzchnia strukturalna przechodzi przez odwiert poniżej lub powyżej odpowiadającego jej punktu stratygraficznego w otworze. *Well matching* (proces dopasowania) polega na dopasowaniu powierzchni do punktu stratygraficznego w otworze, przy jednoczesnej modyfikacji budowy wokół otworu.

Proces dopasowywania wykonuje się w panelu korelacyjnym (rysunek 5), gdzie jest wstępnie obliczana różnica w dopasowywaniu, a następnie odpowiednio poprawiana powierzchnia strukturalna.

Przed przeprowadzeniem procesu gridowania niezbędne jest również zbudowanie prawidłowego modelu stratygraficznego rejonu badań. W modelu stratygraficznym należy określić położenie powierzchni względem siebie, czyli wzajemny stosunek sąsiadujących ze sobą warstw. Zabieg ten pozwoli na określenie, czy powierzchnia jest stropem, czy też spągami tych warstw.

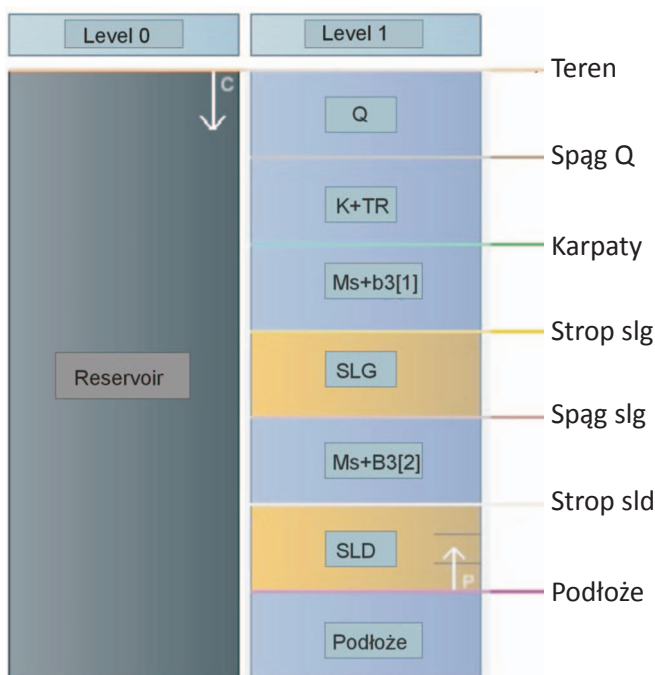
Bez prawidłowego ustawienia warstw nie będzie możliwe zgridowanie modelu geologicznego. Model stratygraficzny opracowany dla przykładowego rejonu badań przedstawiono na rysunku 6.

Po przeprowadzeniu powyżej opisanych czynności zostaje uruchomiony proces gridowania, który można wykonać przy użyciu różnych narzędzi, np.: *Easy Grid Creator* lub *Jewel Gridding*. Przed procesem ustalany jest obszar gridowania, czyli zakres współrzędnych i grubość bloku (rysunek 7). W efekcie procesu gridowania otrzymuje się przestrzenną



Rys. 5. Panel korelacyjny z wybranymi pomiarami geofizycznymi

bryłę podzieloną na zadaną ilość bloków (rysunek 8), co umożliwi przeprowadzenie dalszych prac, takich jak prognozowanie wydobywania złoża, PMG [7], modelowanie parametrów petrofizycznych czy też projektowanie rozwiercania złoża lub magazynu.



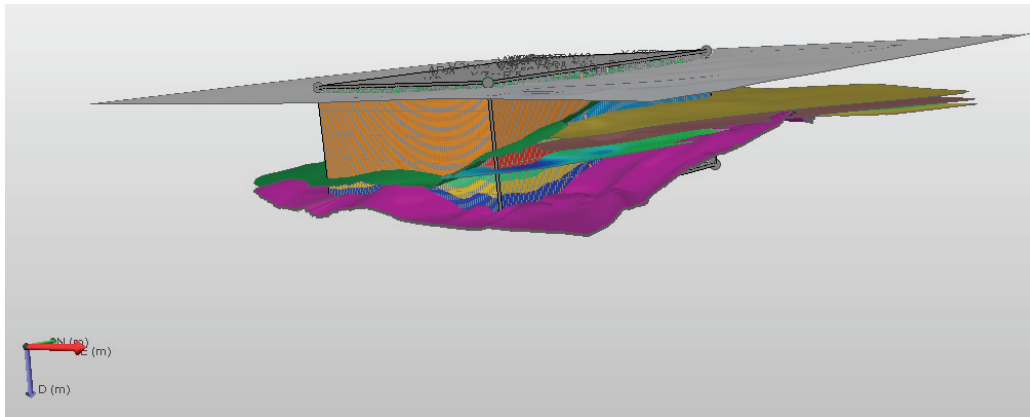
Rys. 6. Zdefiniowany model stratygraficzny przykładowego złoża

Tworzenie przekrojów geologicznych oraz modeli parametrów fizycznych

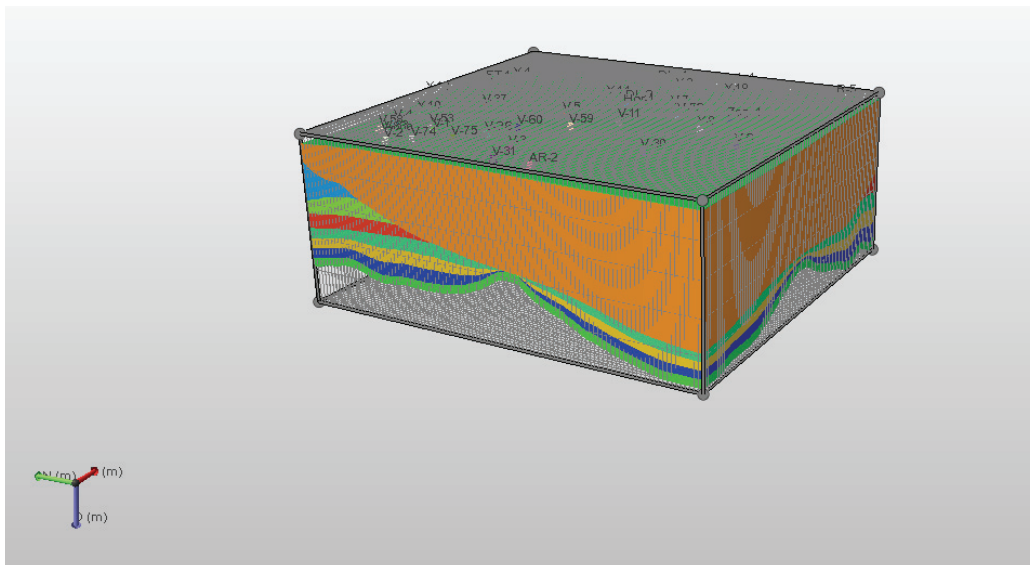
Po otrzymaniu zgridowanego modelu geologicznego obszaru badań, program umożliwia wykonanie różnego rodzaju przekrojów geologicznych, które można sporządzić, wykorzystując dostępny bogaty zestaw narzędzi.

Możliwe jest więc wykonanie przekrojów w układzie np. zadanej siatki gridowania, czyli w układzie prostopadłych do siebie linii przekrojowych (rysunek 9). Inną możliwością jest dowolne kreślenie linii przekrojowych przez model zarówno prostych, jak i łamanych – co pozwala na otrzymanie przekrojów w dowolnych kierunkach.

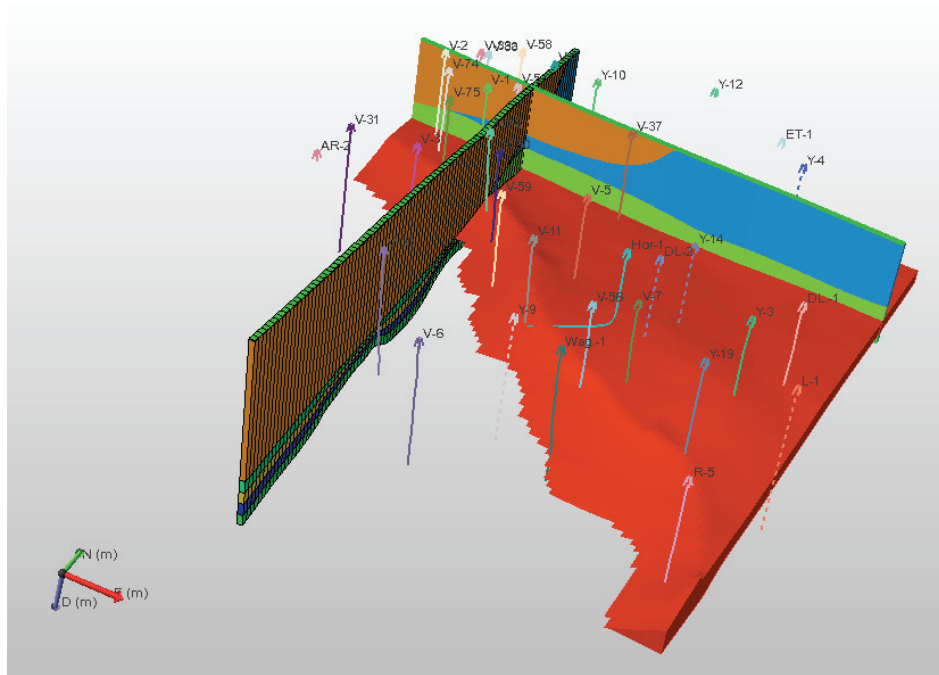
Modele parametrów petrofizycznych można tworzyć np. na bazie danych geofizycznych poddanych wcześniej procesowi reinterpretacji. Uzyskane w wyniku reinterpretacji dane odwiertowe dla konkretnych wydziałów stratygraficznych poddane są następnie przy użyciu narzędzia *Statistic Analysis* analizie statystycznej z wykorzystaniem funkcji wariogramu. Grid, wykorzystując obliczoną funkcję wariogramu, zostaje ponownie przeliczony, dzięki czemu powstaje przestrzenny model rozkładu wybranego parametru, np.: porowatości, przepuszczalności, nasyczeń, zapaszczeń. Należy zaznaczyć, że w ten sposób można uzyskać przestrzenny rozkład dowolnego parametru, który jest obliczony dla otworów.



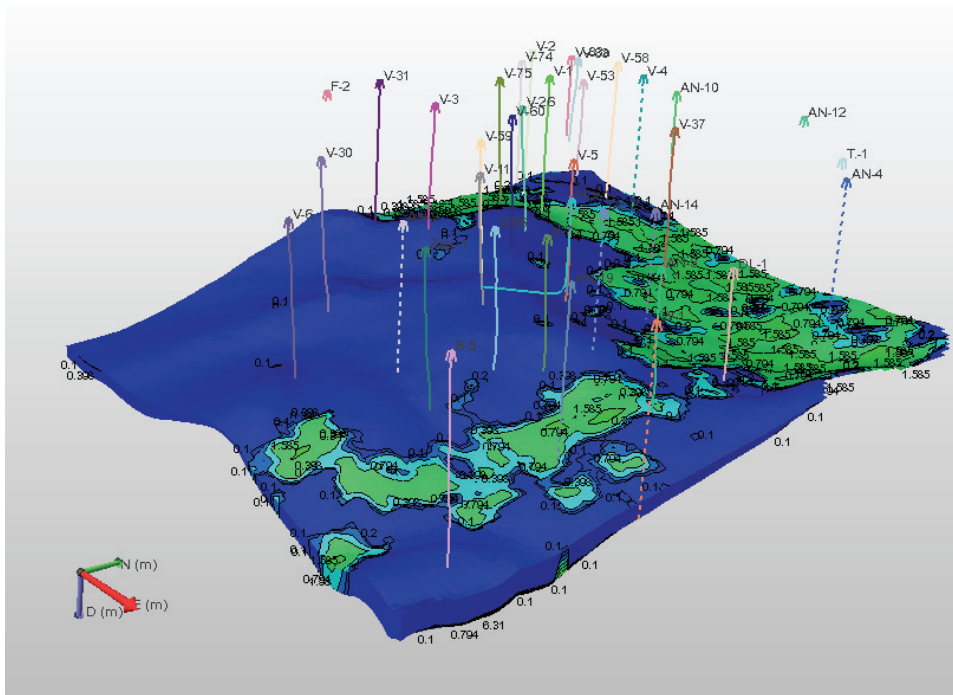
Rys. 7. Dobór wielkości gridowanej bryły



Rys. 8. Model geologiczny po przeprowadzeniu procesu gridowania



Rys. 9. Poprzeczny układ przekroji wzdłuż zgridowanej siatki bloków oraz z wybraną warstwą stratygraficzną w układzie 3D



Rys. 12. Przestrzenny rozkład przepuszczalności w wybranej warstwie

Mapy i przekroje przykładowego rejonu badań wykonane z wykorzystaniem oprogramowania JewelSuite™

Wykorzystując oprogramowanie JewelSuite™ i bazując na przeprowadzonej operacji gridowania, można otrzymać zestaw map i przekrojów geologicznych badanego rejonu, zarówno w formie 2D, jak i 3D. Są to np. mapy:

- strukturalne stropu i spągu dowolnej powierzchni strukturalnej (horyzontu, facji, uskoku, nasunięcia itp.),
- miąższości całkowitej,
- porowatości efektywnej,
- przepuszczalności,
- zapiaszczeń,
- dowolnego parametru, który można poddać analizie.

Wnioski

1. Oprogramowanie geologiczne JewelSuite™ użyte do budowy modelu geologicznego przykładowego złoża potwierdziło swoją przydatność do wykonywania tego typu projektów geologicznych, wykazując się dużą wszechstronnością i przydatnością.
2. Program umożliwił budowę cyfrowego modelu w oparciu o wcześniej przygotowane dane cyfrowe w zakresie budowy strukturalnej, parametrów petrofizycznych i badań geofizycznych. Część danych wymagała jedynie dostosowania formatu.
3. Na opracowany model geologiczny składa się m.in.:
 - stratygrafia modelu,
 - lokalizacja otworów i ich trajektoria,
 - geofizyka otworowa i reinterpretacja pomiarów geofizycznych,
 - budowa strukturalna i tektoniczna wydzielonych warstw,
 - modele własności petrofizycznych.
4. Modele geologiczne wykonane w JewelSuite™ można eksportować do innych programów symulacyjnych.

Prosimy cytować jako: *Nafta-Gaz* 2014, nr 6, s. 343–350

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Budowa modelu geologicznego złoża niekonwencjonalnego z wykorzystaniem nowego oprogramowania „JewelSuite®”* – praca INiG na zlecenie MNiSW; nr archiwalny: DK-4100-75/2013, nr zlecenia: 215/0075/13/01.

Literatura

[1] Cisek B., Czernicki J.: *Możliwości występowania złóż ropy naftowej w miocenich utworach Zapadliska Przedkarpacciego*. Przegląd Geologiczny 1970, nr 11, s. 489–491.

[2] Cisek B., Czernicki J.: *Zagadnienie gazonosności horyzontów miocenich strefy zewnętrznej przed czołem nasunięcia karpacciego i stebnickiego*. Wiadomości Naftowe 1964, nr 6, s. 129–130.

[3] Czernicki J., Dusza R.: *Litologiczne wykształcenie utworów miocenu jednym z głównych warunków powstania akumulacji gazu ziemnego*. Wiadomości Naftowe 1972, nr 7–8, s. 145–149 i nr 9, s. 196–198.

[4] Czernicki J., Dusza R.: *Przykład akumulacji gazu ziemnego w strefie przykarpacciej utworów miocenu autochtonicznego*. Wiadomości Naftowe 1971, nr 7–8, s. 155–160.

[5] Czernicki J.: *Warunki geologiczno-strukturalne pulapek i parametry złóż gazu ziemnego w miocenie autochtonicznym w strefie nasunięcia Karpat między Rzeszowem a Przemysłem*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1977.

[6] Dziadzio P., Maksym A., Olszewska B.: *Sedymentacja utworów miocenu autochtonicznego we wschodniej części zapadliska przedkarpacciego*. Przegląd Geologiczny 2006, vol. 54, nr 5, pp. 413–420.

[7] Filar B., Miziolek M., Hoszowski A.: *Parametry PMG Strachocina osiągnięte w pierwszym cyklu pracy eksploatacji magazynu, po rozbudowie pojemności czynnej w 2011 r.* Nafta-Gaz 2012, nr 12, s. 993–998.

[8] *JewelSuite Subsurface Modeling 2013* – dokumentacja Baker Hughes, 2013.

[9] Karnkowski P.: *Utwory deltowe Przedgorza Karpat*. Przegląd Geologiczny 1989, nr 1, s. 28–32.

[10] Krzywiec P., Sipiuk J., Madej R., Peryt T.: *Miocenska ekstensja, kompresja, ruchy przesuwne – tektoniczny model ewolucji wschodniej części zapadliska przedkarpacciego*. Przegląd Geologiczny 2001, vol. 49, pp. 459–460.

[11] Krzywiec P.: *Geodynamiczne i tektoniczne uwarunkowania ewolucji basenów przedgorskich z odniesieniami do zapadliska przedkarpacciego*. Przegląd Geologiczny 2006, vol. 54, nr 5, pp. 404–412.

[12] Levorsen A.: *Geologia ropy naftowej i gazu ziemnego*. Warszawa 1972.

[13] Miziolek M., Zamojcin J.: *Mapa geologiczna faldy Strachociny. Nowe dane na starej mapie. Część II – Wyniki badań kartograficznych w rejonie faldy Strachociny*. Nafta-Gaz 2012, nr 12, s. 999–1011.

[14] Oszczytko N.: *Powstanie i rozwój polskiej części zapadliska przedkarpacciego*. Przegląd Geologiczny 2006, vol. 54, nr 5, s. 396–403.

[15] Stupnicka E.: *Geologia regionalna Polski*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1989.

[16] Szulc D., Narloch A.: *Wpływ wariogramu na wiarygodność modelu 3D terenu w modelu Krignig*. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej nr 187, Gdynia 2011.



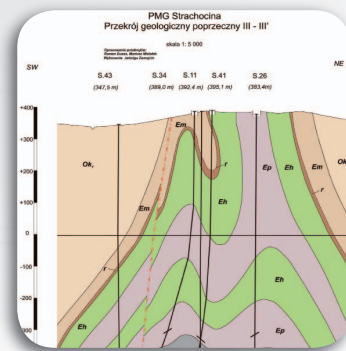
Mgr Mariusz MIZIOLEK
 Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Podziemnego Magazynowania Gazu.
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25A
 31-503 Kraków
 E-mail: mariusz.miziolek@inig.pl

OFERTA

ZAKŁAD PODZIEMNEGO MAGAZYNOWANIA GAZU

Zakres działania:

- analiza struktur geologicznych złóż gazu ziemnego, ropy naftowej oraz obiektów zawodnionych, pod kątem możliwości ich przekształcenia w PMG;
- szczegółowa analiza warunków geologiczno-złożowych, ocena dotychczasowej eksploatacji złoża, warunków hydrodynamicznych, zdolności wydobywczych odwiertów;
- ocena stanu technicznego istniejącej infrastruktury w aspekcie jej wykorzystania w pracy PMG;
- wykonywanie cyfrowych modeli geologicznych PMG, złóż gazu ziemnego i ropy naftowej;
- wykonanie projektu budowy PMG;
- analiza dotychczasowej pracy istniejących PMG w celu optymalizacji parametrów dalszej eksploatacji magazynów na bazie symulacji komputerowej;
- opracowanie projektów prac geologicznych, dotyczących poszukiwania i rozpoznawania złóż gazu ziemnego i ropy naftowej;
- opracowanie dokumentacji geologicznych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego;
- opracowanie programu optymalnej eksploatacji złoża, wydajności poszczególnych odwiertów, tempa szczyrpywania itp.



Kierownik: mgr inż. Bogdan Filar
Adres: ul. Armii Krajowej 3, 38-400 Krosno
Telefon: 13 436-89-41 w. 5202
Faks: 13 436-79-71
E-mail: bogdan.filar@inig.pl

