Wierzchowice — największy podziemny magazyn gazu (PMG) w Polsce. Cz. I. Studium geometrii i właściwości serii zbiornikowej oraz budowy nadkładu na podstawie sejsmiki 3D

Maciej Górski*, Wiesława Kunicka-Górska*, Małgorzata Trela*

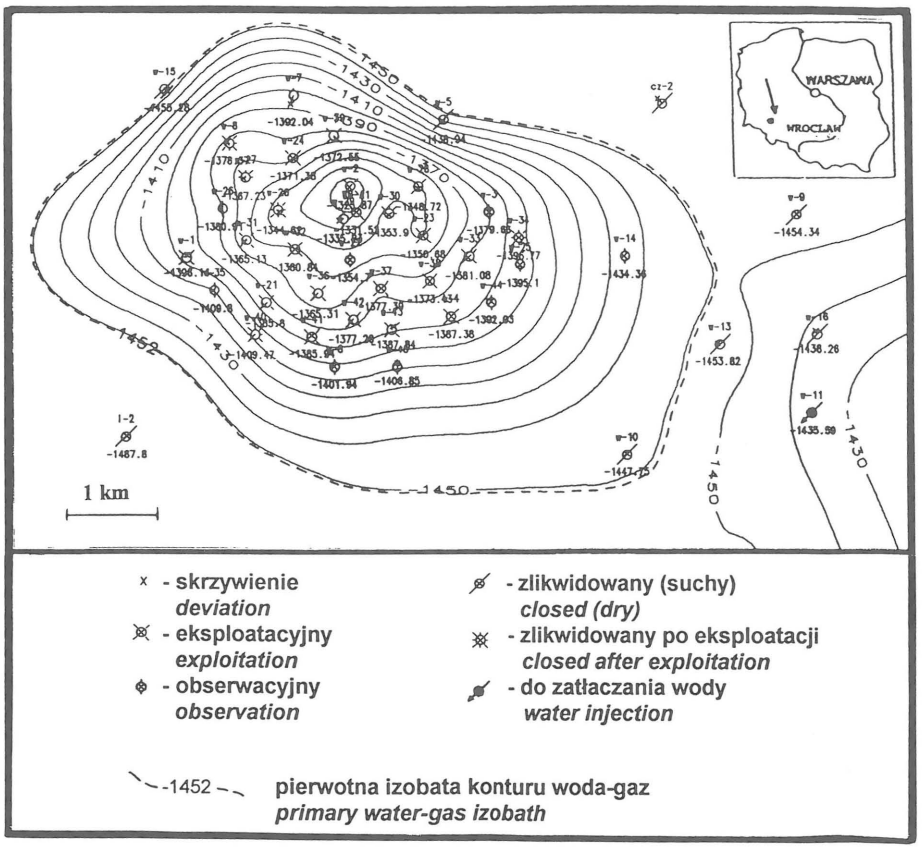
Wierzchowice — the greatest underground gas storage (UGS) in Poland. Part 1: Geometry and reservoir description based on 3D seismic survey

Summary. Wierzchowice — the greatest underground gas storage in Poland, is located in the SW part of the Zechstein Limestone barrier zone near Wrocław. A 3D seismic survey (71 km^2) has been recorded in order to evaluate the structure which is considered to be used as a gas storage. Reservoir depth is about 1400 m. During the interpretation of seismic data a special emphasis has been made to highlight the internal reservoir geometry and reservoir description. This study demonstrates the impact of 3D seismic data for the construction of underground gas storage. The information is used as a start-model for simulation, for the estimation of storage capacity and for optimal drilling paths with respect to horizontal wells.

Zagadnienie podziemnego magazynowania gazu jest problemem ekonomiczno-strategicznym. Pojemność magazynów decyduje bowiem zarówno o płynności dostaw tego surowca poprzez krajowy system gazowniczy oraz rzutuje na strategiczne bezpieczeństwo krajowego systemu paliwowo-energetycznego. Podstawowym zadaniem podziemnych magazynów gazu jest magazynowanie rezerw i nadwyżek sezonowych oraz zapewnienie ciągłości dostaw w okresach największego popytu. Specjaliści z Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa S.A. Oddz. Zielonogórski Zakład Górnictwa Nafty i Gazu opracowali koncepcję przekształcenia kopalni gazu ziemnego Wierzchowice w największy Podziemny Magazyn Gazu (PMG) (PGNiG S.A. Oddz. ZZGNiG, 1997). Za takim rozwiązaniem przemawiały: idealna dla magazynu struktura geologiczna, teoretyczna pojemność magazynu wynosząca do 5 mld m^3 i czynniki ekonomiczne (doskonała lokalizacja w systemie przesyłu gazu, najniższy koszt magazynowania, docelowa dobowa moc produkcyjna: 59 mln m^3). Koncepcja ta zyskała uznanie kierownictwa PGNiG S.A., które podjęło decyzję o realizacji etapu zerowego budowy i powierzeniu BSiPG Gazoprojekt S.A. we Wrocławiu opracowania koncepcji programowo-przestrzennej PMG Wierzchowice. Etap zerowy budowy magazynu poprzedzono wieloma pracami studialnymi i badawczymi. W ich ramach wykorzystano potwierdzoną w praktyce budowy i pracy magazynów przydatność sejsmiki trójwymiarowej.

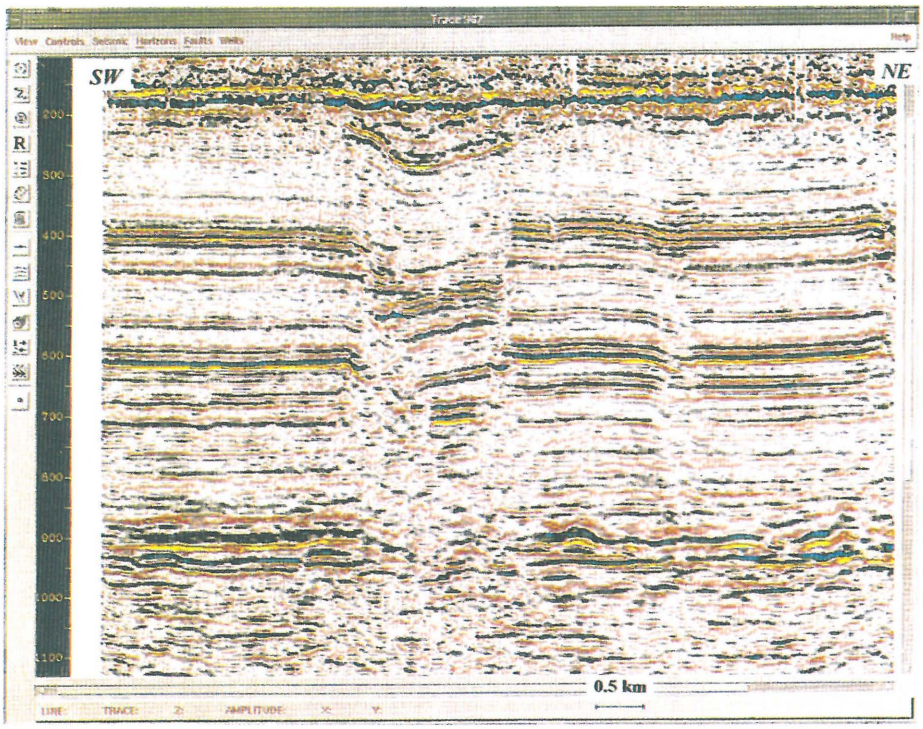
Zdjęcie metodą sejsmiki trójwymiarowej (3D) w rejonie Wierzchowic o powierzchni operacyjnej 71 km^2 (Górski i in., 1996) zostało wykonane w ramach kompleksu prac studialnych i badawczych, w związku z decyzją o zakończeniu eksploatacji złoża i przekształceniu go w PMG.

Złoże gazu ziemnego Wierzchowice (Karnkowski, 1993) (ryc.1) stanowi brachyantyklinalna pułapka związana z paleowyniesieniem, na które nastąpiła transgresja morza cechsztyńskiego. Serię złożową tworzą piaskowce czerwonego spągowca i oblekające je utwory węglanowe wapienia cechsztyńskiego. Dla tych ostatnich charakterystyczna jest dwudzielność. Serię dolną budują wapienie mikrytowe o chemicznym typie sedymentacji, serię górną — wapienie organogeniczne i organodetrytyczne (Peryt, 1978, 1984). Złoże zostało odkryte w 1972 r. i eksploatowane do 1995 r. W tym



Ryc. 1. Mapa strukturalna stropu wapienia cechsztyńskiego (Ca1) (wg Mularczyka & Nowaka [W:] Górski i in., 1996)
Fig. 1. Top Zechstein Limestone (Ca1) depth map (after Mularczyk & Nowak [In:] Górski at al., 1996)

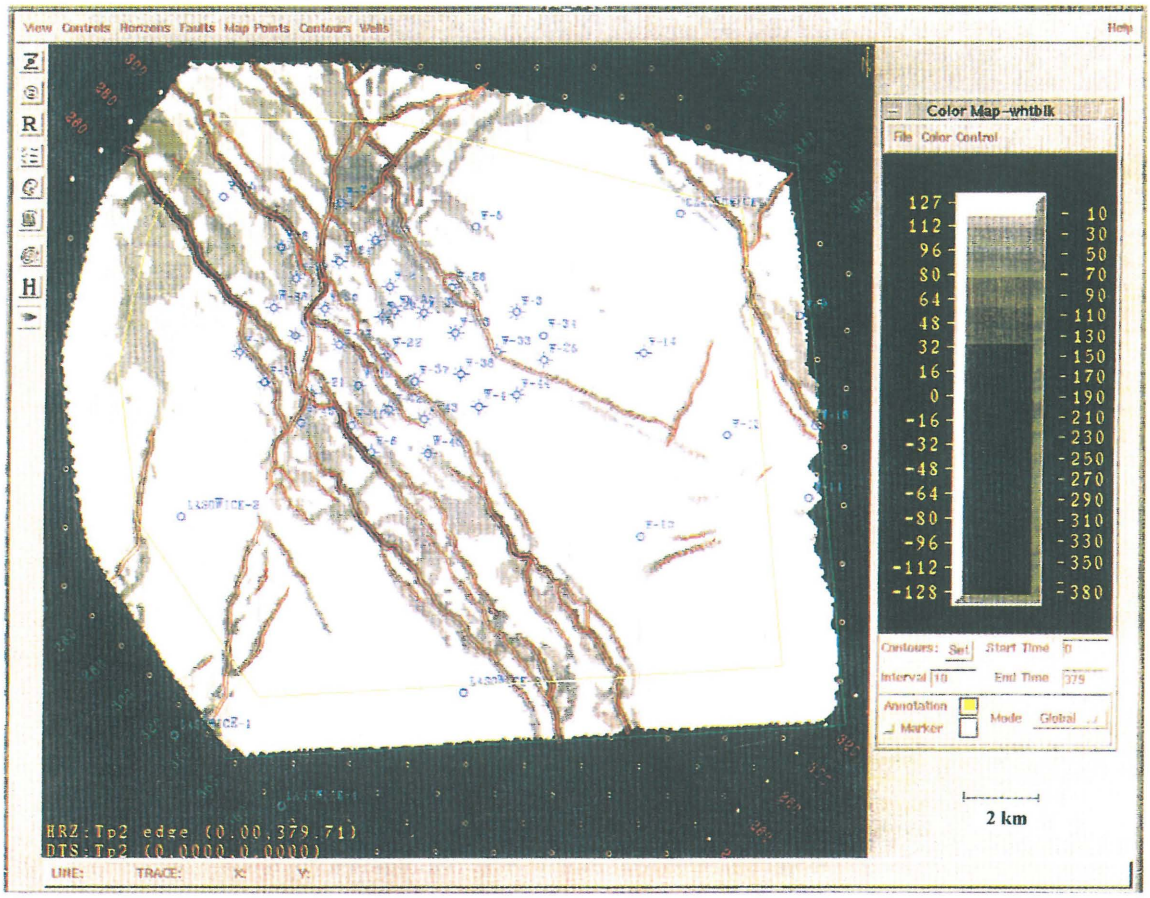
*PGNiG S.A. Oddział Geofizyka Toruń ul. Chrobrego 50, 87-100 Toruń, *E-mail: mgorski@geofizyka.torun.pl*



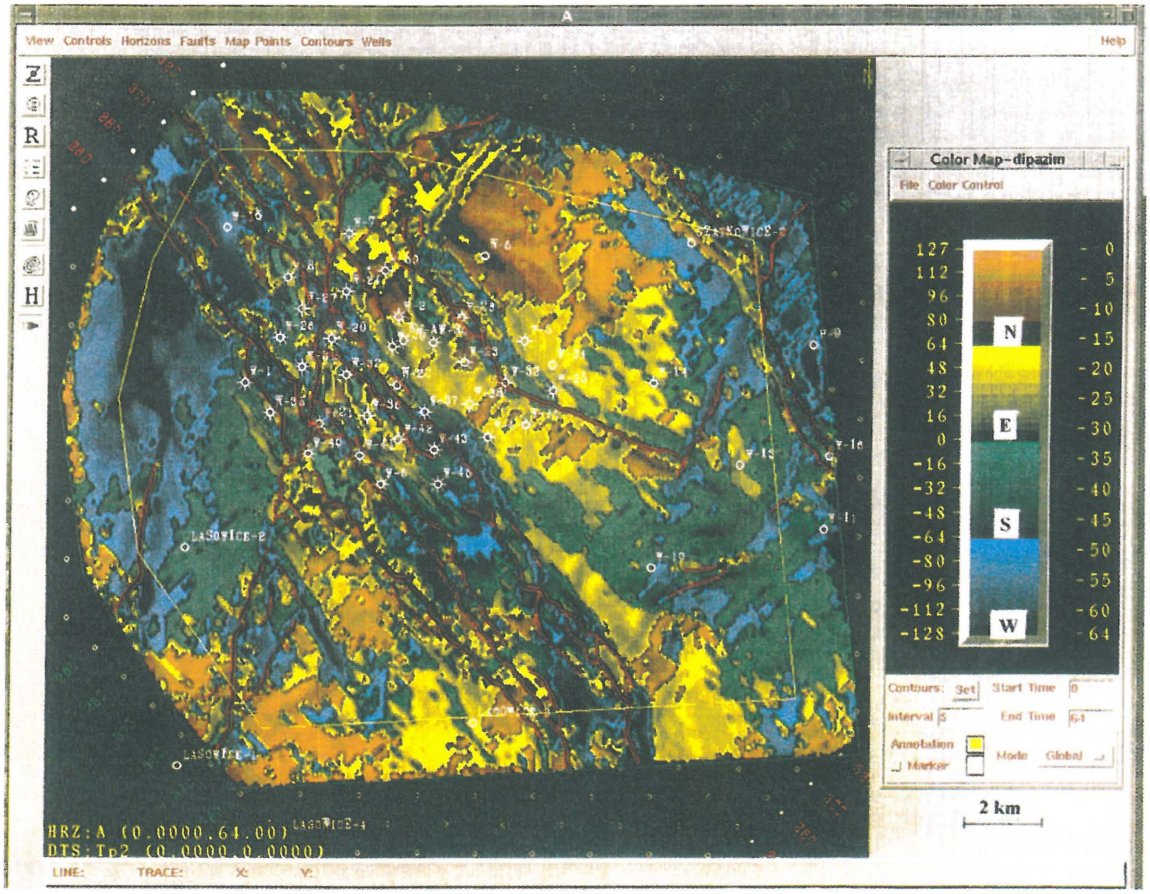
Ryc. 2. Trasa 367 — typowy pionowy przekrój sejsmiczny ze zbioru danych Wierzchowice 3D
Fig. 2. Trace 367 — Typical seismic section from Wierzchowice 3D data

okresie, z ogólnej ilości zatwierdzonych zasobów gazu ziemnego wynoszących 11,9 mld m^3 wyeksploatowano 7,8 mld m^3 gazu (65,5%). Pozostała część zasobów wynosząca 4,1 mld m^3 została decyzją ministra ochrony środowiska, zasobów naturalnych leśnictwa 18.05.1995 r.) przeznaczona na gaz buforowy przyszłego PMG, który nie będzie eksploatowany w trakcie istnienia magazynu.

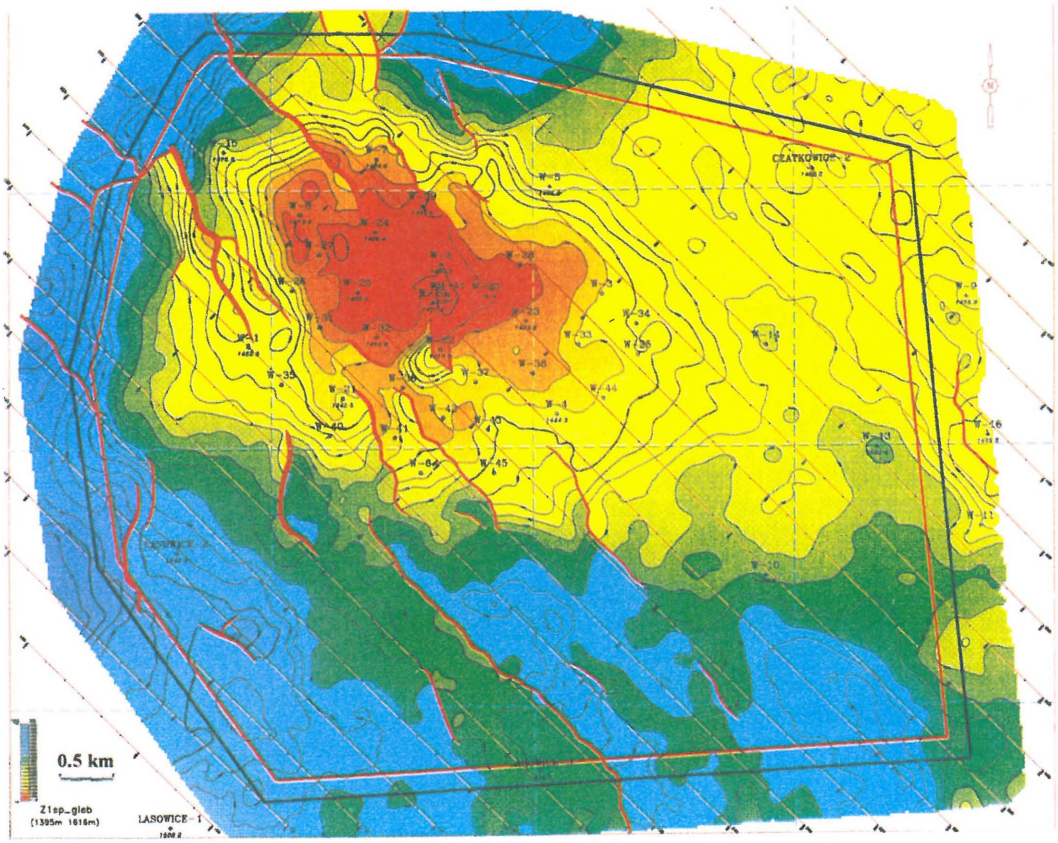
Po podjęciu decyzji, o przekształceniu złoża w PMG na zlecenie PGNiG S.A. Oddz. Zielonogórski Zakład Górnictwa Nafty i Gazu w okresie październik 1995 r. — listopad 1996 r. zostało wykonane trójwymiarowe zdjęcie sejsmiczne. Wykonawcą wszystkich etapów prac, tj. projektu, akwizycji danych w terenie, ich przetworzenia i interpretacji był Oddział Geofizyka Toruń. W założeniach inwestora zdjęcie miało być: narzędziem w celu uzyskania szczegółowych informacji o budowie geologicznej złoża, jego zasięgu, rozwoju utworów cechsztyńskich będących pakietem uszczelniającym PMG, oraz budo-



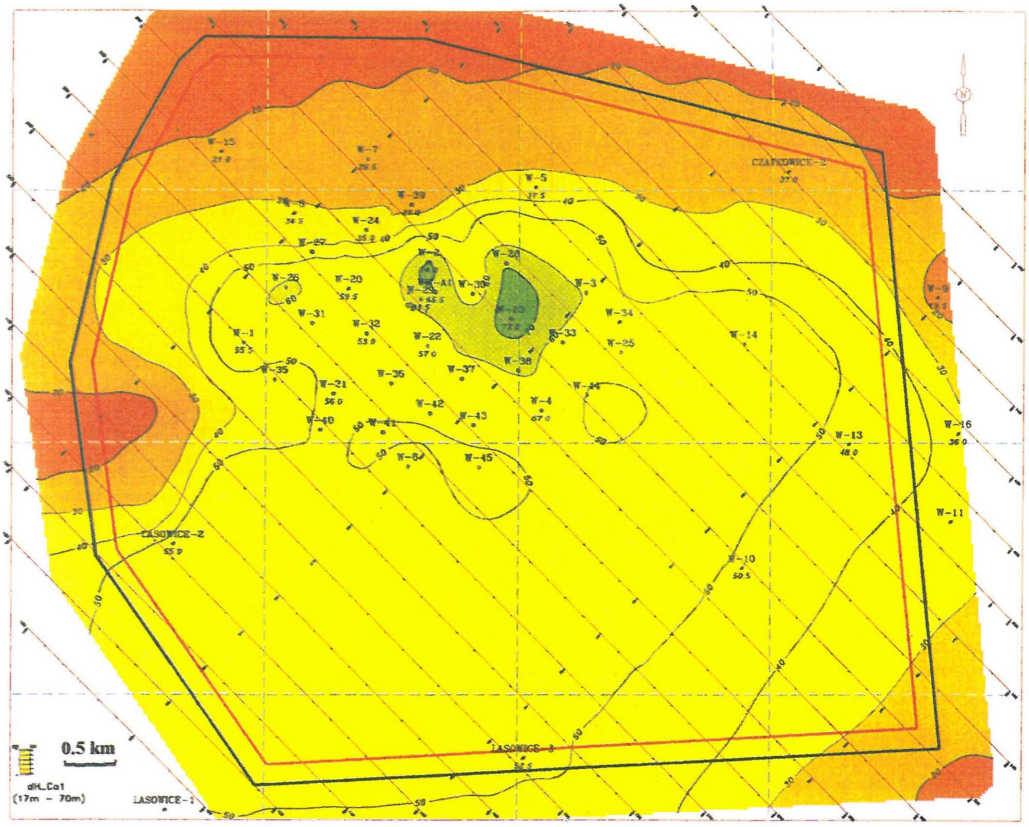
Ryc. 3. Analiza zjawisk krawędziowych dla granicy refleksyjnej Tp2 z naniesionymi poligonami uskokowymi
Fig. 3. Edge display of Tp2 reflector with faults polygons



Ryc. 4. Sumaryczna analiza upadów i azymutów DipAzimuth dla granicy refleksyjnej Tp2
Fig. 4. DipAzimuth display of Tp2 reflecto

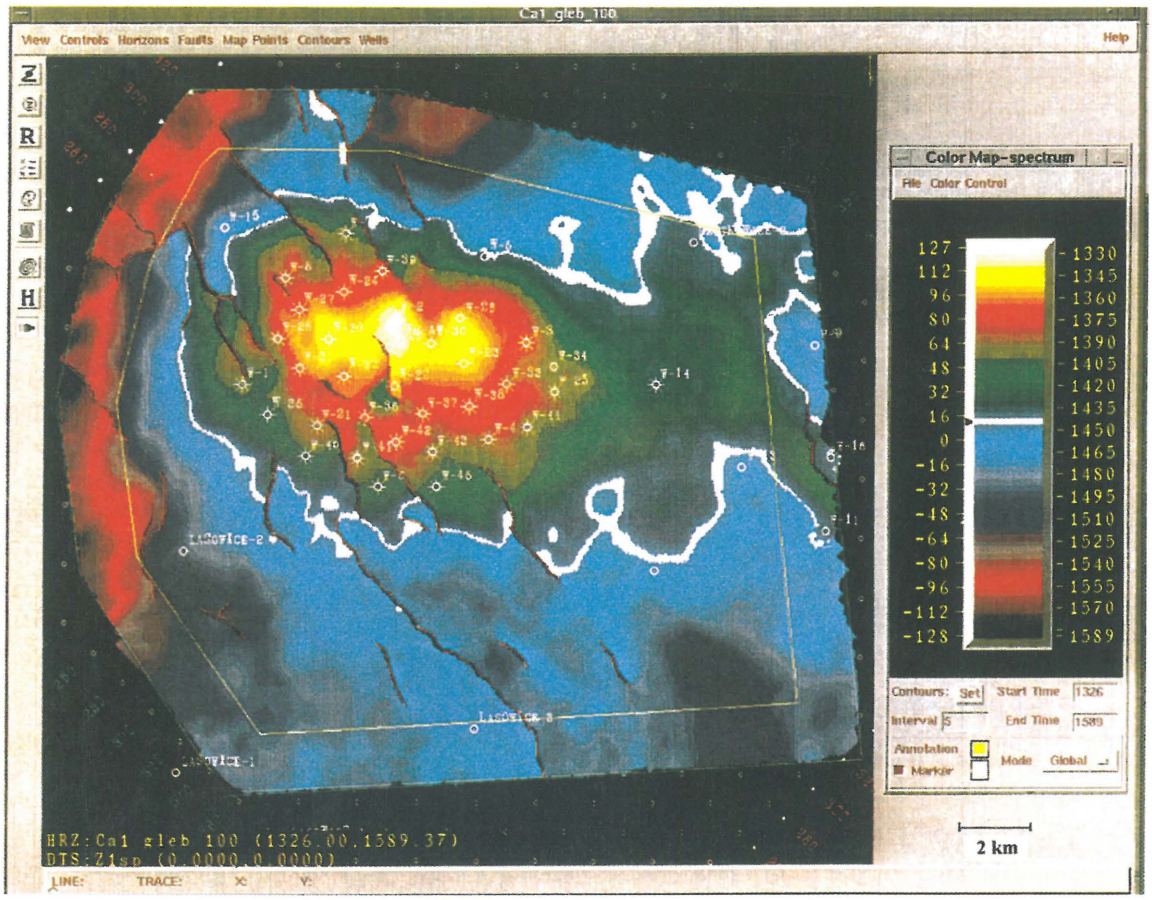


Ryc. 5. Mapa izobat granicy refleksyjnej Z1 tj. spągu serii zbiornikowej wapienia cechsztyńskiego
Fig. 5. Z1sp izobath map i.e. bottom Zechstein Limestone reservoir

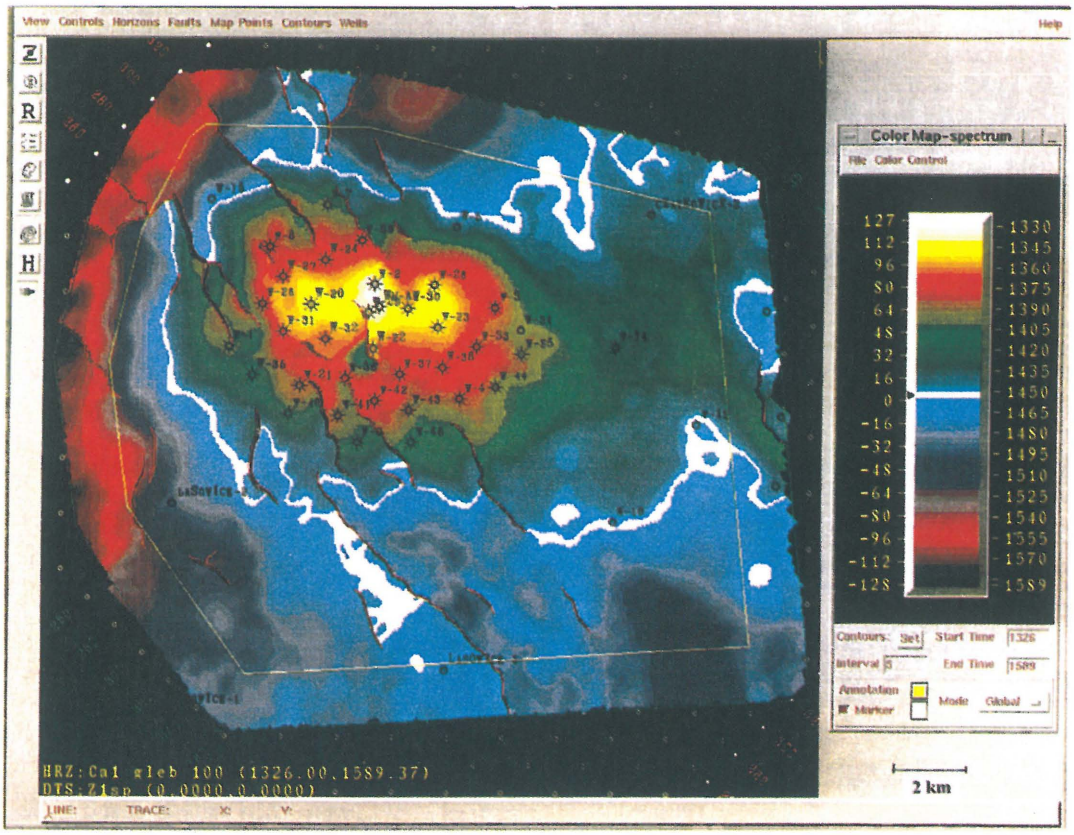


←

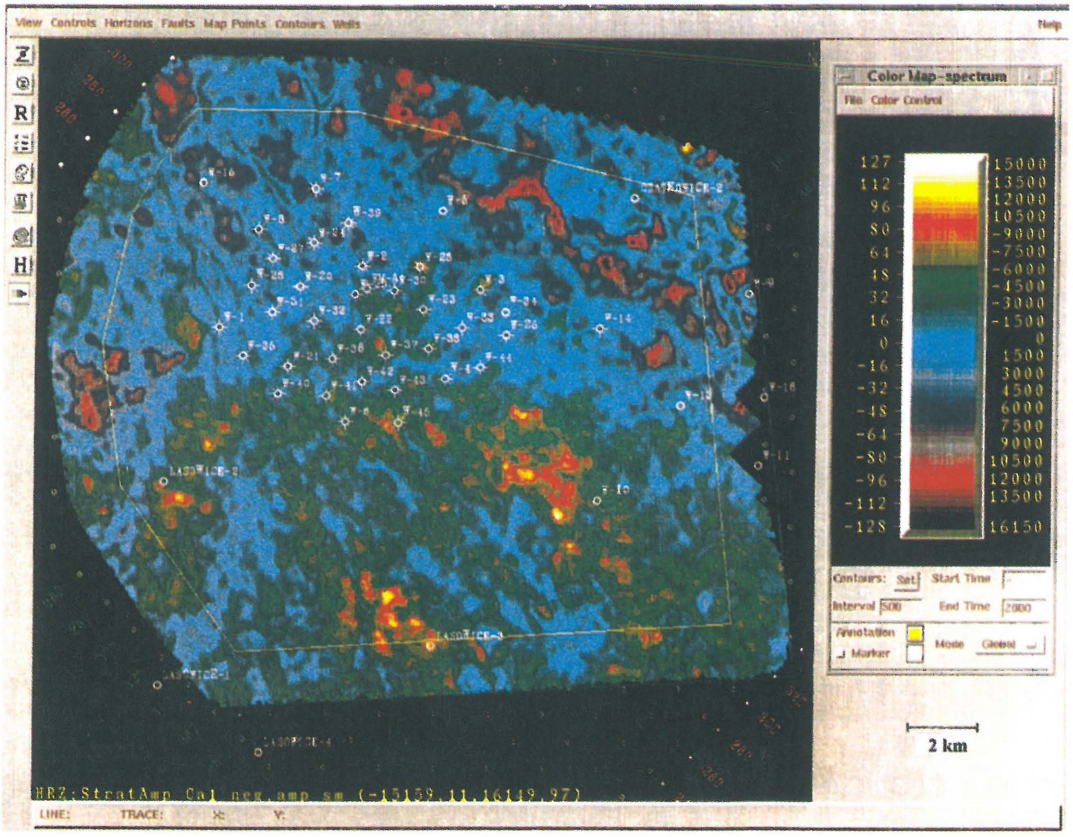
Ryc. 6. Mapa miąższości serii zbiornikowej wapienia cechsztyńskiego
Fig. 6. Zechstein Limestone thickness map



Ryc. 7. Mapa izobat stropu wapienia cechsztyńskiego z zaznaczoną izobatą konturu woda–gaz: -1443 m (stan po zakończeniu eksploatacji złoża)
Fig. 7. Top Zechstein Limestone depth map with marked water–gas izobath of -1443 m (the end of exploitation)



Ryc. 8. Mapa izobat stropu wapienia cechsztyńskiego z zaznaczoną izobatą konturu woda–gaz: -1452 m (stan przed rozpoczęciem eksploatacji złoża)
Fig. 8. Top Zechstein Limestone depth map with marked water–gas izobath of -1452 m (the beginning of exploitation)



Ryc. 9. Mapa ujemnych wartości amplitud w przedziale stępowania serii wapienia cechsztyńskiego
Fig. 9. Negative amplitude map in the Zechstein Limestone interval

wie geologicznej warstw nadległych, a w szczególności tektonice rejonu. Zadaniem prac była minimalizacja ryzyka inwestycyjnego, optymalizacja liczby projektowanych wierceń i ich lokalizacji oraz ograniczenie potencjalnego wpływu magazynu na środowisko naturalne. W trakcie interpretacji wykorzystano nowoczesne techniki interpretacyjne (Hardage, 1987; Brown, 1991; Weimer & Davis, 1996). Zostały one dostosowane i zaadoptowane do rozwiązywania zagadnień analiz osadów polskiej części basenu permskiego (Górski, 1996; Górski & Trela, 1997). Obecnie sejsmika 3D jest rutynowo wykorzystywana do oceny przydatności struktur w celu podziemnego magazynowania gazu (Trappe, 1997).

Studium tektoniczne

Z uwagi na specyfikę zadania geologicznego, którym było dostarczenie maksymalnej informacji niezbędnej do budowy i przyszłej eksploatacji PMG Wierzchowice, wykonanie studium tektonicznego uznano za zagadnienie priorytetowe.

Miało ono objąć wszystkie piętra strukturalne tj. trzeciorzędowe, mezozoiczne, permskie i karbońskie. Studium wykonano w oparciu o dane sejsmiczne i otworowe z wykorzystaniem technik dostępnych w oprogramowaniu Landmark Super Seis-Work 2.3.1.R. Techniką podstawową jest analiza zjawisk krawędziowych (*edge analysis*) wykonywana na danym horyzoncie po korelacji i zapowaniu. Techniki pomocnicze to analiza upadów (*Dip analysis*) i sumaryczna technika analizy upadów i azymutów (*DipAzimuth*).

Wyznaczone przy zastosowaniu tych technik dyslokacje są następnie weryfikowane na pionowych i poziomych sekcjach sejsmicznych, a następnie w formie poligonów uskokowych nanoszone na mapy.

Dotychczasowe informacje na temat tektoniki rejonu badań opierały się na starej sejsmice 2D i danych otworowych. Można je określić jako ubogie i mało wiarygodne.

Piętro trzeciorzędowe. Analiza zjawisk krawędziowych wykonana dla granicy refleksyjnej Trz nie wykazała ostrych krawędzi mogących świadczyć o obecności stref dyslokacyjnych. Również zamieszczony w tekście typowy przekrój sejsmiczny (ryc. 2), jak zresztą i cały zbiór danych dowodzą, że tektonika laramijska nie obejmuje utworów trzeciorzędowych.

Analizowana granica ma charakter erozyjny, o czym świadczy duża luka sedymentacyjna (jura, kreda) i znaczny stopień zatarcia zjawisk krawędziowych.

Piętro mezozoiczne. Posiadane informacje (otwory, sejsmika 2D) wykazywały, że piętro mezozoiczne zostało poddane tektonice laramijskiej. Wykonane analizy zjawisk krawędziowych dla triasowych granic refleksyjnych T_m i Tp_2 (ryc. 3) wykazują obecność bardzo intensywnej tektoniki. Sumaryczna analiza upadów i azymutów *DipAzimuth* wykonana dla obu triasowych granic refleksyjnych (np. dla Tp_2 — ryc. 4) wskazuje na blokowość w budowie strukturalnej. Zjawisko to potwierdzają jednoznacznie mapy izochron obu granic triasowych. Analiza wszystkich tych elementów wykazuje, iż mamy tu do czynienia z rowem tektonicznym przebiegającym w kierunku NW–SE. Mniejsze dyslokacje równoległe do tego kierunku należy zinterpretować jako syngenetyczną tektonikę towarzyszącą.

Wszystkie elementy analiz wykazują również obecność drugiego kierunku tektonicznego NNE–SSW. Analiza map wykazała, że miał on charakter przesuwczy w stosunku do tektoniki związanej z powstaniem rowu triasowego. Obserwacja ta w sposób zasadniczy zmienia pogląd na tektonikę i jej genezę w analizowanym obszarze. Zjawisko to można zinterpretować następująco: w ostatniej fazie tektoniki laramijskiej musiała nastąpić impulsowa zmiana wektorów sił oddziałujących na ośrodek skalny, a obserwowane zjawisko przecięcia rowu tektonicznego przez system przesuwczy o kierunku NNE–SWW jest skutkiem tej zmiany. Na podstawie analizy całego zbioru danych sejsmicznych można postawić wniosek, że mezozoiczna tektonika laramijska ogranicza się wyłącznie do osadów triasu i nie obserwujemy jej kontynuacji zarówno w utworach młodszych wieku trzeciorzędu, jak i starszych — wieku cechsztyńskiego.

Piętro permskie. Tektonikę piętra permskiego przeanalizowano na podstawie zjawisk krawędziowych występujących na powierzchni trzech granic refleksyjnych: stropu anhydrytu głównego Z_3/A3, spągu cechsztynu Z_{1sp} i stropu karbonu C_{str}.

Dominującym kierunkiem tektonicznym jest kierunek NW–SE. Jest on zgodny z kierunkiem rowu tektonicznego. Przy szczegółowej analizie map zwraca uwagę drobna korekta tego kierunku w pobliżu występowania w nadkładzie mezozoicznym laramijskiego systemu przesuwczego o kierunku NNE–SSW.

Analiza pionowych sekcji sejsmicznych pokazuje, że nie wszystkie uskoki przecinają cały profil cechsztyński. Szczegółowa analiza przebiegu i zasięgu dyslokacji pozwala wyodrębnić trzy czynniki oddziałujące na obserwowaną dziś tektonikę obecną w utworach cechsztynu. Są nimi:

— waryscyjski system tektoniczny,

— halotektonika wywołana przemieszczaniem plastycznych utworów solnych,

— echo laramijskich ruchów tektonicznych.

Obserwowany dziś obraz jest więc wypadkową oddziaływania wszystkich trzech czynników.

Zdaniem autorów najbardziej znaczący jest czynnik ostatni — echo laramijskich ruchów tektonicznych. Spowodował on również pewne odmłodzenie starszej tektoniki waryscyjskiej i związaną z tym jej kontynuację w utwory wieku cechsztyńskiego. W tej sytuacji uskoki tnące cały interwał utworów cechsztynu należy uznać za syngenetyczne z laramijskim systemem tektonicznym. Wpływ halotektoniki ma znaczenie marginalne, a zjawiska te mają wyraźnie lokalny charakter.

Z punktu widzenia utworów wapienia cechsztyńskiego będących skałą zbiornikową PMG, w obrębie przyszłego magazynu tektonika nie odgrywa większej roli. Widać to wyraźnie na mapach strukturalnych stropu serii zbiornikowej i spągu wapienia cechsztyńskiego (Z_{1sp} — ryc. 5).

Tektonika waryscyjska. Analizowany zbiór danych dostarcza jedynie fragmentarycznych informacji na temat tektoniki waryscyjskiej. Obejmowała ona utwory wieku karbońskiego i starsze. Informacje te pochodzą z analizy zalegania stropu utworów karbonu. Zostały one jednak w znacznym stopniu zatarte przez przedpermską erozję.

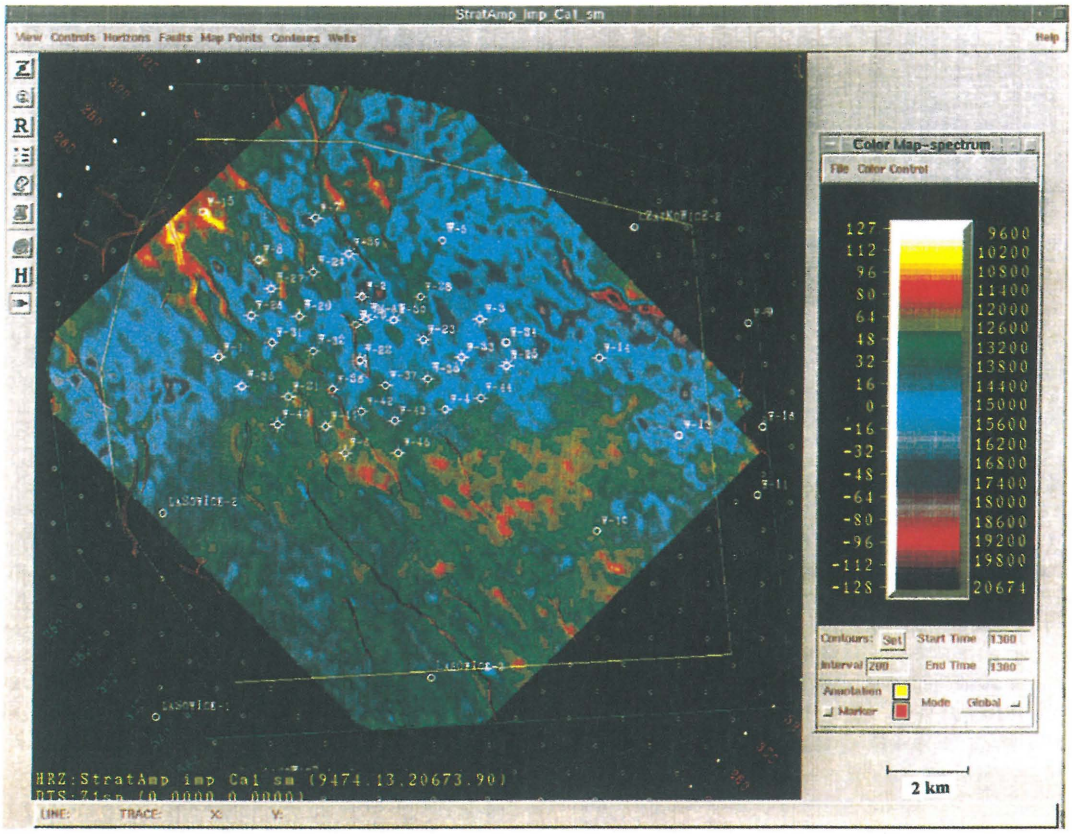
Geometria serii złożowej

Zdefiniowanie geometrii serii złożowej stanowiło jeden z priorytetów interpretacyjnych.

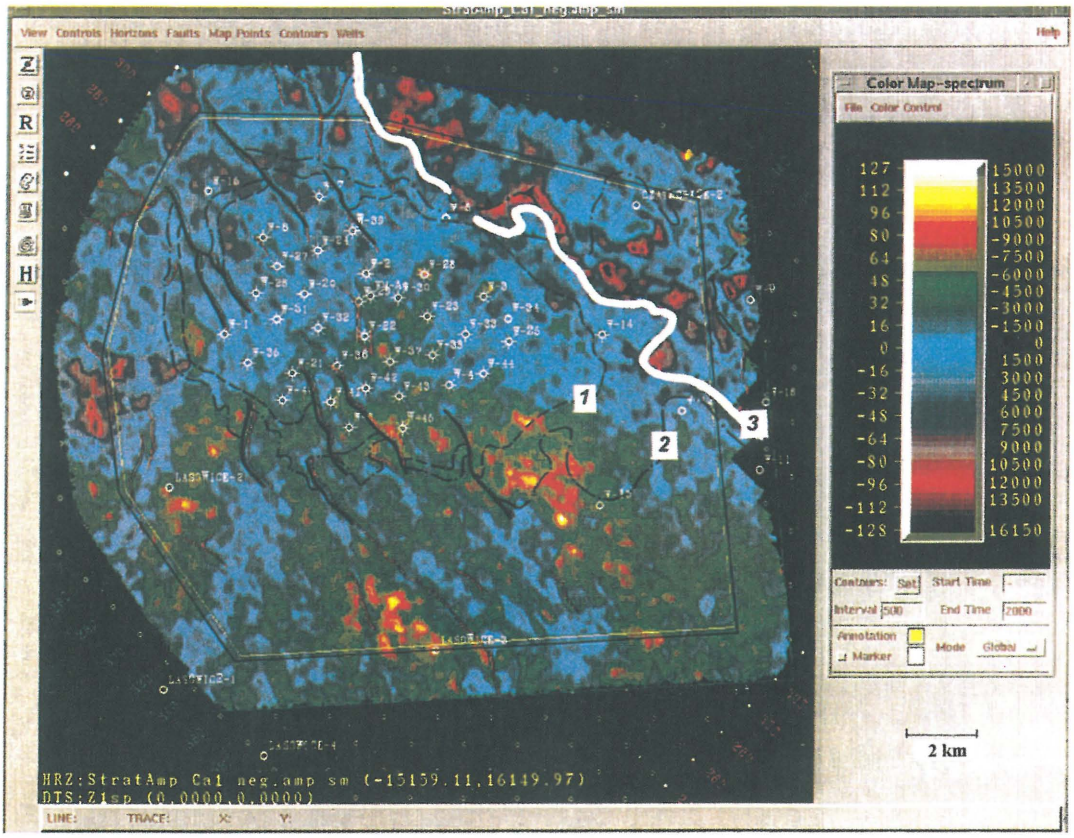
W świetle geologicznych danych złożowych serię zbiornikową budują :

— górna seria wapienia cechsztyńskiego (Ca1) o dobrych właściwościach zbiornikowych (miąższość wg Mularczyka i Nowaka [W:] Górski i in., 1996 od 53,5 m w otworze W-29 do 0 m, śr. w rejonie struktury Wierzchowice ok. 35 m),

— dolna seria wapienia cechsztyńskiego o gorszych



Ryc. 10. Mapa średnich wartości impedancji akustycznej w interwale występowania serii wapienia cechsztyńskiego
Fig. 10. Average acoustic impedance map in the Zechstein Limestone interval



Ryc. 11. Mapa ujemnych wartości amplitud w przedziale występowania serii wapienia cechsztyńskiego z naniesionymi strefami dyslokacyjnymi w spągu cechsztynu, izobatą -1430 m zamykającą strukturę (1), konturem woda–gaz po zakończeniu eksploatacji złoża (izobatą -1443 m)(2) i wyinterpretowaną linią zmiany facji wapienia cechsztyńskiego (3)
Fig. 11. Negative amplitude map in the Zechstein Limestone interval with marked faults polygons in the bottom of Zechstein , an izobath: -1430 m closing the structure (1), water–gas izobath: -1443 m (the end of exploitationy) (2) and interpreted Zechstein Limestone facies change (3)

właściwościach zbiornikowych (miąższość wg Mularczyka i Nowaka [W:] Górski i in., 1996 od 48 m w otworze W-13, do 3,5 m w otworze W-39, śr. w rejonie struktury ok. 20 m),

— stropowa seria piaskowców czerwonego spągowca.

Z punktu widzenia przyszłego PMG Wierzchowice rolę kluczową powinna spełnić górna seria wapienia cechsztyńskiego. Serie pozostałe mają spełnić rolę tzw. bufora gazowego.

Geometrię utworów wapienia cechsztyńskiego definiują mapy:

— mapa głębokościowa stropu wapienia cechsztyńskiego,

—mapa głębokościowa granicy refleksyjnej Z_{1sp} (ryc. 5) określająca spąg utworów wapienia cechsztyńskiego,

— mapa miąższości serii wapienia cechsztyńskiego (ryc. 6).

Mapę spągu wapienia cechsztyńskiego skonstruowano w oparciu o dane sejsmiczne tj. mapę czasową granicy refleksyjnej Z_{1sp} i przyjęty model prędkości.

Konstrukcja mapy głębokościowej stropu wapienia cechsztyńskiego miała bardziej złożony charakter. Na podstawie danych sejsmicznych, tam gdzie pozwalały na to warunki sejsmoakustyczne wykorelowano strop wapienia cechsztyńskiego. Korelacja obejmuje niestety mniej niż połowę obszaru badań (40%). W 21 otworach przewiercono utwory wapienia cechsztyńskiego, co pozwala jednoznacznie określić miąższość serii. W otworach pozostałych miąższość określono w następujący sposób : w oparciu o interwał czasowy T (Z_{1sp} – Z_3/A3) i przyjęty model prędkościowy wyznaczono miąższości w interwale H (Z_{1sp} – Z_3/A3). Następnie w otworach, które nie przewierciły wapienia cechsztyńskiego wyliczono brakujący interwał i po dodaniu go do interwału przewierconego określono całkowitą miąższość serii.

Wszystkie te dane posłużyły do konstrukcji mapy miąższości serii wapienia cechsztyńskiego (ryc. 6).

Na podstawie wyznaczonych, w opisany powyżej sposób, miąższości skonstruowano mapę głębokościową stropu wapienia cechsztyńskiego. Analiza danych sejsmicznych upewniła autorów co do jednolitości systemu tektonicznego całej serii tj. zarówno w jej stropie i w spągu.

Z punktu widzenia budowy strukturalnej strukturę Wierzchowice zamyka izobata 1430 m. Punkty krytyczne struktury, tzw. siodła, mogące w przyszłości stanowić potencjalne miejsca ucieczek gazu z magazynu znajdują się na N, S i NE. Siodło północne ma amplitudę 25 m, siodło południowe: również 25 m. Strefa ucieczki w siodle południowym jest bardzo niewielka, a w północnym bardzo wąska, lecz nie zdefiniowana ku północy. Od strony zachodniej, z punktu widzenia geometrii magazyn jest całkowicie bezpieczny. Największe zagrożenie należy upatrywać od strony NE. Amplituda siodła jest tam niewielka i wynosi mniej niż 10 m. Naniesienie na mapę stropu wapienia cechsztyńskiego izobaty gaz–woda: aktualnej -1443 m (ryc. 7) i pierwotnej -1452 m (ryc. 8) pozwala ocenić skalę zagrożeń. Struktura wyraźnie otwiera się w stronę NE, a ograniczeń wypływów gazu w tę strefę należy upatrywać w czynniku facjalnym.

Studium facjalne

Analiza facji sejsmicznej w przedziale występowania poziomu wapienia cechsztyńskiego. Dane otworowe wskazują na znaczne zróżnicowanie miąższości i właściwości wapienia cechsztyńskiego w obszarze badań. Miąższości zmieniają się od 18,5 m (W-9) do 73 m (W-23). Strefa o miąższości powyżej 55 m rozciąga się wąskim pasem na zachodzie obszaru badań (rejon otworów W-26, W-31, W-20) rozszerzając się w kwadrat wyznaczony otworami W-2, W-36, W-4, W-3, następnie zwężający się ku wschodowi w pas obejmujący otwory W-34, W-25, i W-14. Ku N i NE miąższość maleje do poniżej 20 m. Podobna strefa, wyznaczona na podstawie sejsmiki, występuje w części zachodniej. Również właściwości wapienia cechsztyńskiego ulegają zmianom. Geolodzy (m.in. A. Mularczyk) wyznaczyli serię dolną o zdecydowanie gorszych właściwościach zbiornikowych i górną — charakteryzowaną wyraźnie lepszymi właściwościami zbiornikowymi. Zasięg tej ostatniej wyznacza linia przebiegająca nieco na S od otworów W-15, W-5, W-34, W-14, W-13, W-11, w których seria górna nie występuje. Niestety, w zapisie sejsmicznym ujemne wartości amplitud związane ze stropem poziomu wapienia cechsztyńskiego w miejscach, gdzie właściwości sejsmoakustyczne odróżniają go od anhydrytu dolnego, występują jedynie w południowej części obszaru badań. Ujemne wartości amplitud wiążą się z występowaniem górnej serii wapienia cechsztyńskiego. Ich przestrzenną estymację przedstawia mapa wartości ujemnych amplitud w przedziale występowania poziomu wapienia cechsztyńskiego (ryc. 9). W części N i NE widzimy obszar występowania dodatnich amplitud związany z rejonem braku serii górnej. Podobny obszar obserwujemy w zachodniej części zdjęcia. Superpozycja na analizowaną mapę stref dyslokacyjnych zaobserwowanych przy korelacji granicy refleksyjnej Z_{1sp} uwidacznia ich destrukcyjny wpływ na amplitudy. Dotyczy to głównie amplitud ujemnych odpowiadających górnej serii wapienia cechsztyńskiego o lepszych właściwościach zbiornikowych, lecz również wpływa na zmniejszenie wartości amplitud dodatnich w strefie braku serii górnej. Zauważalny jest również destrukcyjny wpływ rowu triasowego na amplitudy.

Analiza danych otrzymanych na podstawie interpretacji trójwymiarowej inwersji. W zbiorze danych sejsmicznych Wierzchowice 3D wykonano trójwymiarową inwersję. Celem inwersji jest zrekonstruowanie na bazie analizy tras sejsmicznych i modelu prędkościowo-gęstościowego ośrodka skalnego jakościowo nowego bloku danych w wersji pseudoprędkości lub pseudoimpedancji. Do konstrukcji modelu prędkościowo-gęstościowego użyto profilowań otworowych w wersji prędkości i gęstości.

Inwersję wykonano w oprogramowaniu Hampsona-Russella wykorzystując generalizujący *algorytm bandlimited*. Szczegółowym analizom poddano interwał profilu permskiego zwracając szczególną uwagę na rozprzestrzenienie cechsztyńskich soli Na3 i Na1, utworów wapienia cechsztyńskiego i piaskowców czerwonego spągowca. Wszystkie opisane poniżej analizy wykonano z użyciem oprogramowania Landmark StratAmp.

Analiza właściwości wapienia cechsztyńskiego jest zagadnieniem wyjątkowo trudnym. Wpływa na to niejednorodny charakter danych sejsmicznych i zmienny rozkład właściwości w samym wapieniu cechsztyńskim. Korelacyjne wyznaczenie stropu serii górnej na podstawie kryterium ujemnych amplitud powiodło się na obszarze około 40% zdjęcia. Podstawową trudnością w badaniu właściwości wapienia cechsztyńskiego w oparciu o rezultaty inwersji było wyznaczenie bramek (interwałów analiz). Po zastosowaniu kryteriów korelacyjnych autorzy dysponowali: granicą refleksyjną Z_{1sp} wykorelowaną na całym obszarze badań i

granicą refleksyjną $Ca1_{str}$ (na ok. 40% obszaru). Odpowiadają one stropowi i spągowi wapienia cechsztyńskiego. W celu wyznaczenia bramki obejmującej utwory wapienia cechsztyńskiego na całym obszarze, granicę $Ca1_{str}$ uzupełniono w miejscach jej niewystępowania, stosując kryterium miąższości anhydrytu A1d ($Ca1_{str}$=Z1+dHA1d). W tak wyznaczonym interwale wyliczono średnie wartości pseudoimpedancji akustycznej. Ich dystrybucję przedstawia mapa średnich wartości impedancji akustycznej w interwale wapienia cechsztyńskiego (ryc. 10). Rzeczywiste wartości impedancji akustycznej wynoszą:

a) w przypadku wapienia zbitego
6100 m/s 2,75 g/cm^3 = 16 775 mg/scm^3
b) w przypadku wapienia porowatego (20%)
4600 m/s 2,25 g/cm^3 = 10 350 mg/scm^3

Tego rzędu wartości skrajne są rzadko reprezentowane na mapie. Wartości niskie występują w strefach przydyslokacyjnych (co pośrednio potwierdza ich istnienie), wartości wysokie powyżej 16 000 mg/scm^3 występują na NW od otworu Lasowice 2 i w rejonie NE poza linią łączącą otwory W-5, W-34, W-14, W-13. Świadczy to o niewystępowaniu górnej serii na tym obszarze. Zwraca uwagę obszar w trójkącie między otworami W-14, W-10 i W-6 o stosunkowo niskich wartościach impedancji. Analiza sekcji w wersji impedancji akustycznej wykazuje wyraźną dwudzielność właściwości fizycznych wapienia i zanik serii górnej w kierunku NE. Zdecydowanie najgorsze właściwości serii dolnej obserwujemy w obszarze NE i w kierunku NW od otworu Lasowice 2. Zdecydowane pogorszenie właściwości serii dolnej wapienia cechsztyńskiego w strefie na NE od linii łączącej otwory W-5, W-3, W-34, W-14 i W-13 wyraźnie wykazuje litofacjalne uszczelnienie PMG w krytycznej z punktu widzenia geometrii strefie siodła NE. Fakt ten jest wyraźnie widoczny po dokonaniu superpozycji izobaty zamykającej strukturę (-1430 m), aktualnego konturu woda–gaz (-1443 m) i linii zmiany facji wapienia cechsztyńskiego wyznaczonej na podstawie analizy facji sejsmicznej i wyników inwersji (ryc. 11).

Niestety, z uwagi na brak homogeniczności danych źródłowych związanych z problemem destrukcji rzeczywistych amplitud pod strefami tektoniki triasowej i również w strefach tektoniki cechsztyńskiej wszystkie otrzymane mapy nadają się jedynie do obserwowania ogólnych trendów zmian właściwości fizycznych wapienia cechsztyńskiego. Fakt ten zaważył na rezygnacji z wykonania analiz ilościowych, np. wyliczenia porowatości inwersyjnych.

Wnioski

Wykonane po raz pierwszy w Polsce sejsmiczne zdjęcie trójwymiarowe mające na celu kompleksową ocenę przydatności pułapki Wierzchowice dla celów podziemnego magazynowania gazu spełniło swoją rolę. Otrzymany po akwizycji i przetworzeniu zbiór danych pozwolił na:

— wykonanie szczegółowego studium tektonicznego obejmującego rejestrację zjawisk tektonicznych i próbę przedstawienia ich genezy,

— dokonanie studium geometrii serii wapienia cechsztyńskiego i piaskowców czerwonego spągowca, mających stanowić strefę magazynowania gazu, pod kątem zamknięcia struktury i lokalizacji stref siodłowych, jako potencjalnych krytycznych miejsc ucieczek gazu z magazynu,

— przeanalizowano budowę cechsztynu jako pakietu uszczelniającego,

— dokonano analizy właściwości zbiornikowych poziomu wapienia cechsztyńskiego.

Wszystkie wykonane analizy potwierdziły przydatność złoża gazu ziemnego Wierzchowice w celu wykorzystania go jako podziemnego magazynu gazu. Wykazały one szczelność pułapki i określiły jej typ zamknięcia jako strukturalno-facjalny. W dalszej kolejności wyniki prac będą wykorzystywane do rozbudowy magazynu w celu optymalizacji ilości wierceń i ich lokalizacji. PMG Wierzchowice w założeniach docelowych stanie się największym podziemnym magazynem gazu w Polsce i osiągnie docelową pojemność magazynową 4,3 mld m^3 gazu.

Zakończenie etapu zerowego budowy magazynu (Ekiert & Chrobak, 1997), w trakcie którego m.in. odwiercono dwa nowe odwierty (pionowy i horyzontalny o długości odcinka poziomego 400 m) oraz poddano magazyn dwóm cyklom pracy (Jaskólski, 1997) w pełni potwierdziło wnioski powyższego artykułu.

Literatura

BROWN A.R. 1991 — Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data. AAPG Memoirm, 42: 1–341.

EKIERT J. & CHROBAK K. 1997 — Podziemne Magazynowanie Gazu. Realizacja etapu zerowego PMG Wierzchowice. Konferencja Naukowo-Techniczna, Wrocław: 53–58.

GÓRSKI M. 1996 — Sejsmogeologiczna interpretacja pułapek naftowych w utworach permskich na NE skłonie wału wolsztyńskego z wykorzystaniem trójwymiarowego zdjęcia sejsmicznego. Biblioteka Główna AGH.

GÓRSKI M., KUNICKA-GÓRSKA W. & TRELA M. 1996 — Opracowanie badań sejsmicznych 3D. PMG Wierzchowice. Arch. BG Geonafta, Warszawa.

GÓRSKI M. & TRELA M. 1997 — Układ geometryczny i ocena właściwości serii zbiornikowej złoża Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB) — największego złoża ropy naftowej w Polsce — na podstawie zdjęcia sejsmicznego 3D. Prz. Geol., 45: 685–692.

HARDAGE B. A. 1987 — Seismic Stratigraphy. PPS Bartlesville, Oklahoma.

JASKÓLSKI T. 1997 — Podziemne Magazynowanie Gazu. Doświadczenie z przebiegu dotychczasowej eksploatacji PMG Wierzchowice. Konferencja Naukowo-Techniczna, Wrocław: 47–52.

KARNKOWSKI P. 1993 — Złoża gazu ziemnego i ropy naftowej w Polsce. T. 1, Niż Polski. Geos, Kraków.

PERYT T.M. 1978 — Charakterystyka mikrofacjalna cechsztyńskich osadów węglanowych cyklotemu pierwszego i drugiego na obszarze monokliny przedsudeckiej. Studia Geol. Pol., 54: 1–88.

PERYT T.M. 1984 — Sedymentacja i wczesna diageneza utworów wapienia cechsztyńskiego w Polsce zachodniej. Pr. Państw. Inst. Geol., 109: 1–80.

PGNiG S.A. Oddz. ZZGNiG — Podziemny Magazyn Gazu Wierzchowice. Arch. BG Geonafta, Warszawa.

TRAPPE H. 1997 — 3D Seismic for gas storage investigations. Paper EAGE: C039. Geneva.

WEIMER P. & DAVIS T.L. 1996 — Application of 3D Seismic Data to Exploration and Production. AAPG Studies in Geology, 42: 1–270.