

Interpretacja zasięgu eksternidów warwscyjskich na eksperymentalnym profilu sejsmicznym GRUNDY 2003

Zygmunt Śliwiński¹, Lech Antonowicz¹, Ewa Iwanowska¹, Michał Malinowski², Marek Grad³, Aleksander Guterch², G. Randy Keller⁴, Erno Takács⁵, and Working Group: Wojciech Czuba², Piotr Środa², Endre Hegedűs⁵, Tamas Fancsik⁵, Attila Cs. Kovács⁵, Piotr Kutek¹

Extent of the Variscan externides interpreted along the experimental seismic profile GRUNDY 2003. *Prz. Geol.*, 54: 45–50.

S u m m a r y. The question of the eastern extent of the Variscan externides in the Polish Lowlands is a subject of ongoing scientific debate. The key to resolve this problem is to provide a good seismic image of the pre-Permian strata. Unfortunately, the industrial seismic profiling brings sparse information from below the Zechstein, thus in 2003, a special seismic experiment called GRUNDY 2003 has been organised. The acquisition system was based on the deep seismic sounding equipment and was targeted at the recognition of Palaeozoic strata. The results in form of the 3D tomographic velocity field and the migrated depth section form the basis for the geological interpretation. Deduced geological model suggests the existence of two different geological media below the Permian strata. The likely interpretation is that it is the contact zone of the Variscan externides with their foreland. Obtained results are of a great importance for the hydrocarbons exploration perspectives.

Key words: Variscan externides, Polish Permian Basin, wide-aperture seismic, integrated interpretation

W czerwcu 2003 r. w ramach międzynarodowego projektu głębokich sondowań sejsmicznych SUDETES 2003 (Grad i in., 2003b), wykonano eksperyment sejsmiczny GRUNDY 2003. Obejmował on obszar o rozmiarach 50 × 10 km, zlokalizowany między Wartą i Notecią, w przybliżeniu na linii Pyzdry–Ślesin (ryc. 1). Projekt ten w swych założeniach metodycznych nawiązywał do eksperymentu zrealizowanego w 2002 r. we wschodnich Węgrzech (Hajnal i in., 2004). W obu przypadkach problemem poszukiwawczym było uzyskanie informacji pod ośrodkiem silnie ekranującym fale sejsmiczne (kompleks cechsztyński basenu polskiego i utwory wulkaniczne w basenie panońskim). W tym celu zastosowano sejsmikę niskoczęstotliwościową (dynamitową) z geofonami o częstotliwości 4,5 Hz, rozstawionymi wzdłuż profilu o długości 50 km. W artykule przedstawiono geologiczną interpretację uzyskanych wyników. Zagadnienia związane z metodyką interpretacji geofizycznej będą przedstawione w oddzielnych publikacjach.

Opis eksperymentu

Unikalny schemat pomiarowy projektu (ryc. 1) zakładał rejestracje o wysokiej gęstości wzdłuż profilu centralnego (G01) i dodatkowe rejestracje na 4 profilach równoległych o niższej gęstości odbiorników sejsmicznych. Na profilu G01, o długości 50 km, zlokalizowano 501 punktów odbioru (nominalna odległość pomiarowa 100 m). Na profilach dodatkowych zlokalizowano po

70–80 punktów odbioru (nominalna odległość pomiarowa 600 m). System pomiarowy zakładał rejestracje energii z 37 punktów wzbudzania (dynamitowych, ładunek 40 lub 50 kg) na wszystkich profilach w układzie trójwymiarowym, zapewniającym materiał zarówno do interpretacji refrakcyjnej pola prędkości, jak i do interpretacji refleksyjnej metodą wspólnego punktu głębokościowego (WPG) wzdłuż profilu centralnego. Dodatkowo, w celu uzyskania informacji prędkościowej z głębszych warstw (poniżej 10 km), rejestrację prowadzono w wybranych punktach profilu projektu SUDETES 2003: S01 i S09. Tak gęsty system równoczesnych rejestracji możliwy był dzięki użyciu 887 nowoczesnych, jednokanałowych aparatów sejsmicznych typu RefTek 125 „Texan”, wyposażonych w geofony 4,5 Hz. Istotnym aspektem prac polowych była ich realizacja w krótkim czasie — 5 dni.

Przetwarzanie i interpretacja danych

Zarejestrowane dane są bardzo dobrej jakości (ryc. 2). Początkowo przetwarzanie danych przebiegało dwutorowo: osobno dla profilu centralnego (przetwarzanie refleksyjne 2D), osobno dla całości projektu (tomografia prędkościowa 3D). Ostatecznie jednak prędkości z tomografii zostały wykorzystane do konwersji czasowo-głębokościowej sekcji refleksyjnej, jak również istotnie wsparły możliwości interpretacji geologicznej.

W celu określenia trójwymiarowego modelu prędkościowego wykorzystano metodę tomograficzną (program FAST; Zelt & Barton, 1998). Metoda ta umożliwia znalezienie modelu, który jest najprostszym modelem dopasowującym się na określonym poziomie dokładności do obserwowanych danych (w tym przypadku ręcznie wyznaczonych czasów pierwszych impulsów fal załamanych). Ze względu na niejednoznaczność metod inwersyjnych należy podkreślić, że prezentowane rozwiązanie (ryc. 3) jest jednym z możliwych.

Dzięki gęstemu systemowi rejestracyjnemu ($\Delta x = 100$ m) i strzałowemu (30 punktów strzałowych, średnio co 1,5–2 km) na profilu centralnym G01, możliwe było wyko-

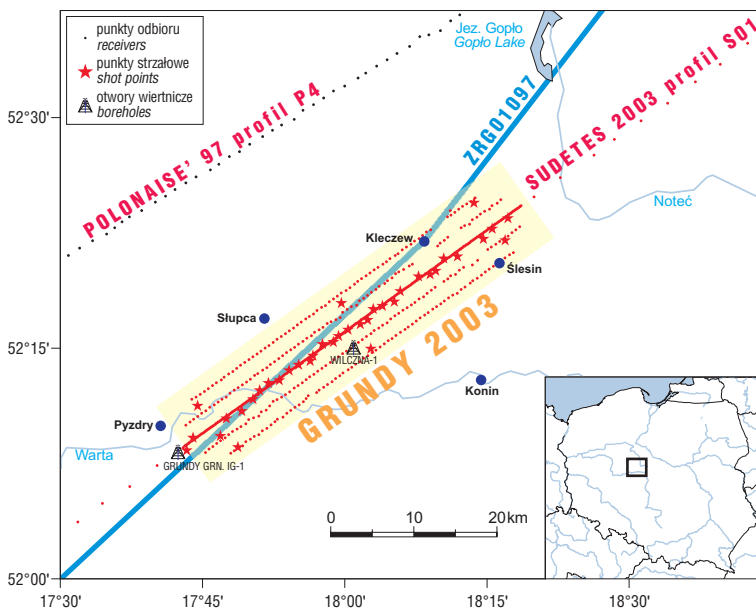
¹Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo S.A., ul. Krucza 6/14, 00-537 Warszawa

²Instytut Geofizyki PAN, Księcia Janusza 64, 01-452 Warszawa; michalm@igf.edu.pl

³Instytut Geofizyki UW, Pasteura 7, 02-093 Warszawa

⁴Department of Geological Sciences, University of Texas at El Paso, El Paso, TX 79968, USA

⁵Eötvös Loránd Geophysical Institute, Kolumbusz ut. 17-23, H-1145 Budapest, Hungary



Ryc. 1. Geograficzna lokalizacja eksperymentu GRUNDY 2003. Zaznaczono także profile głębokich sondowań sejsmicznych (P4 i S01) oraz refleksyjny profil regionalny ZRG01097

Fig. 1. Geographical settings of the GRUNDY 2003 experiment. Deep seismic sounding profiles (P4 and S01) and the regional reflection profile ZRG01097 were also marked

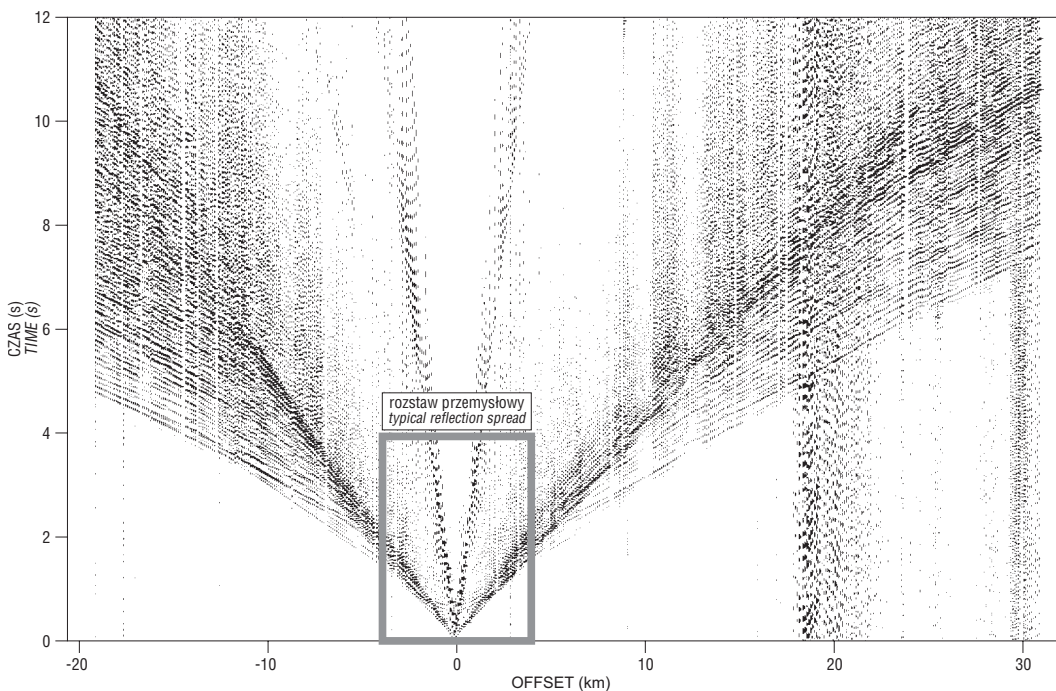
nianie przetwarzania refleksyjnego metodą WPG, choć nie wszystkie procedury, typowe dla sejsmiki przemysłowej o dużej krotności pokrycia, można było zastosować do tych danych. Skupiono się głównie na uzyskaniu informacji spod utworów cechsztynu, stąd zastosowano procedury poprawiające stosunek sygnału do szumu i usuwające zakłócenia, takie jak, np.: dekonwolucja F-X, mieszanie tras, filtracja za pomocą parabolicznej transformacji Radona czy filtracja koherencyjna. Czasowy przekrój sejsmiczny (zmigrowany) przeliczony został na głębokościowy z

wykorzystaniem prędkości z tomografii. W połączeniu z przekrojem tomograficznym, sejsmiczny przekrój głębokościowy stanowił podstawowy materiał do dalszej interpretacji (ryc. 4).

Interpretacja geologiczna

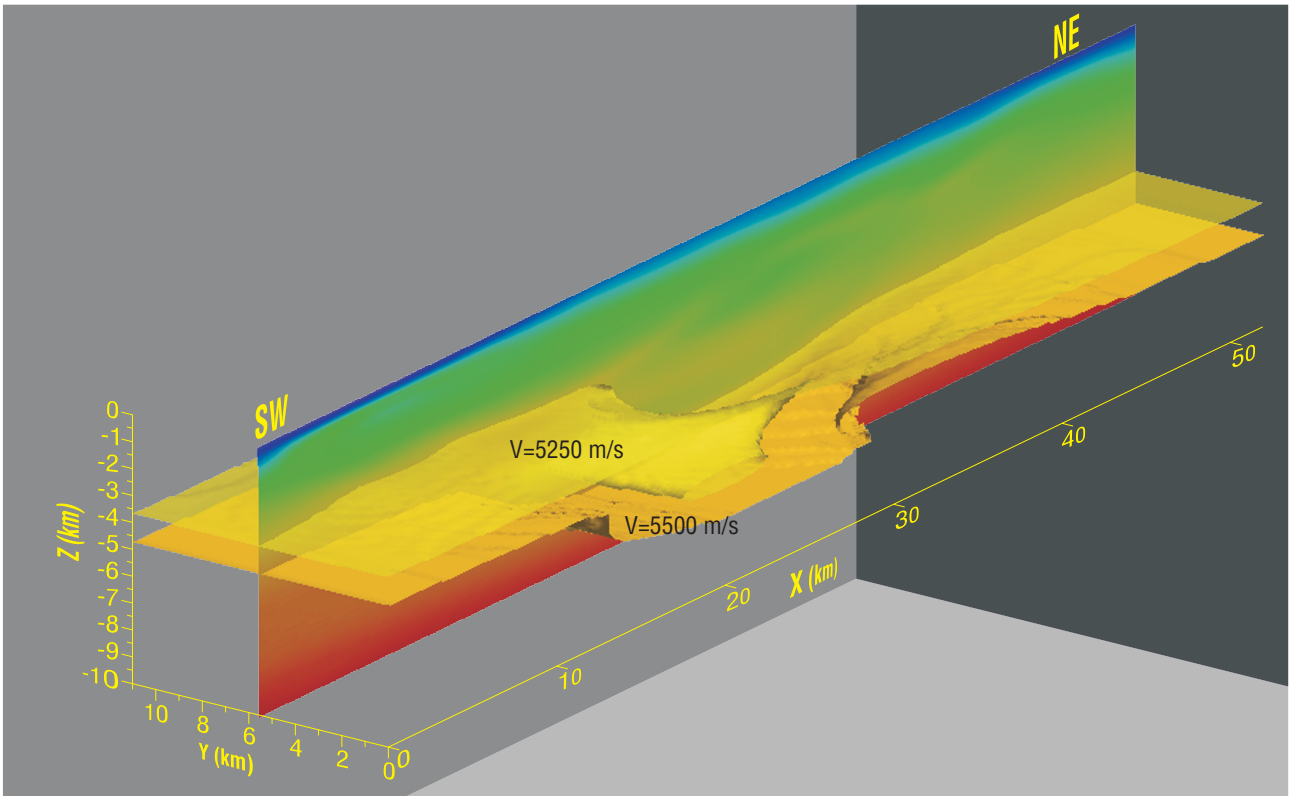
Nieliczne dane z głębokich wiercenń oraz brak sejsmicznych wyników z podłoża permu nie pozwoliły jak dotąd na stworzenie modelu budowy geologicznej podłoża podpermskiego badanego obszaru, nawet w aspekcie regionalnym, który byłby zgodnie akceptowany przez wszystkich geologów. W myśl poglądów R. Dadleza, Z. Kowalczewskiego i J. Znoski (Dadlez i in., 1994) rejon eksperymentu GRUNDY 2003 jest zlokalizowany w bliskości czoła eksternidów waryscyjskich (w przybliżeniu linia Poznań–Wieluń). Natomiast W. Pożaryski i P. Karnkowski na mapie tektonicznej Polski w epoce waryscyjskiej (Pożaryski i in., 1992) sytuują granicę zasięgu eksternidów waryscyjskich dużo dalej na północ, w przybliżeniu na linii wiercenń Piła–Szubin–Byczyzna–Budziszewice (ryc. 5). Różnią się też poglądy wyżej wymienionych autorów, co do

togo, jakie utwory budują waryscyjskie podłożie permu na północ od wyniesienia wolsztyńskiego. Pożaryski i in. (1992) zakładają tam obecność karbońskich osadów sfałdowanego fliszu (namur i dolny westfal) oraz molasy górnego westfalu, rozdzielonych liniami nasunięć i dyslokacji. Dadlez i in. (1994) kwestionują możliwość tak szczegółowej interpretacji i przyjmują w orogene eksternidów waryscyjskich głównie fliszowy rodzaj utworów karbonu dolnego. Nieznana jest też na tym obszarze budo-



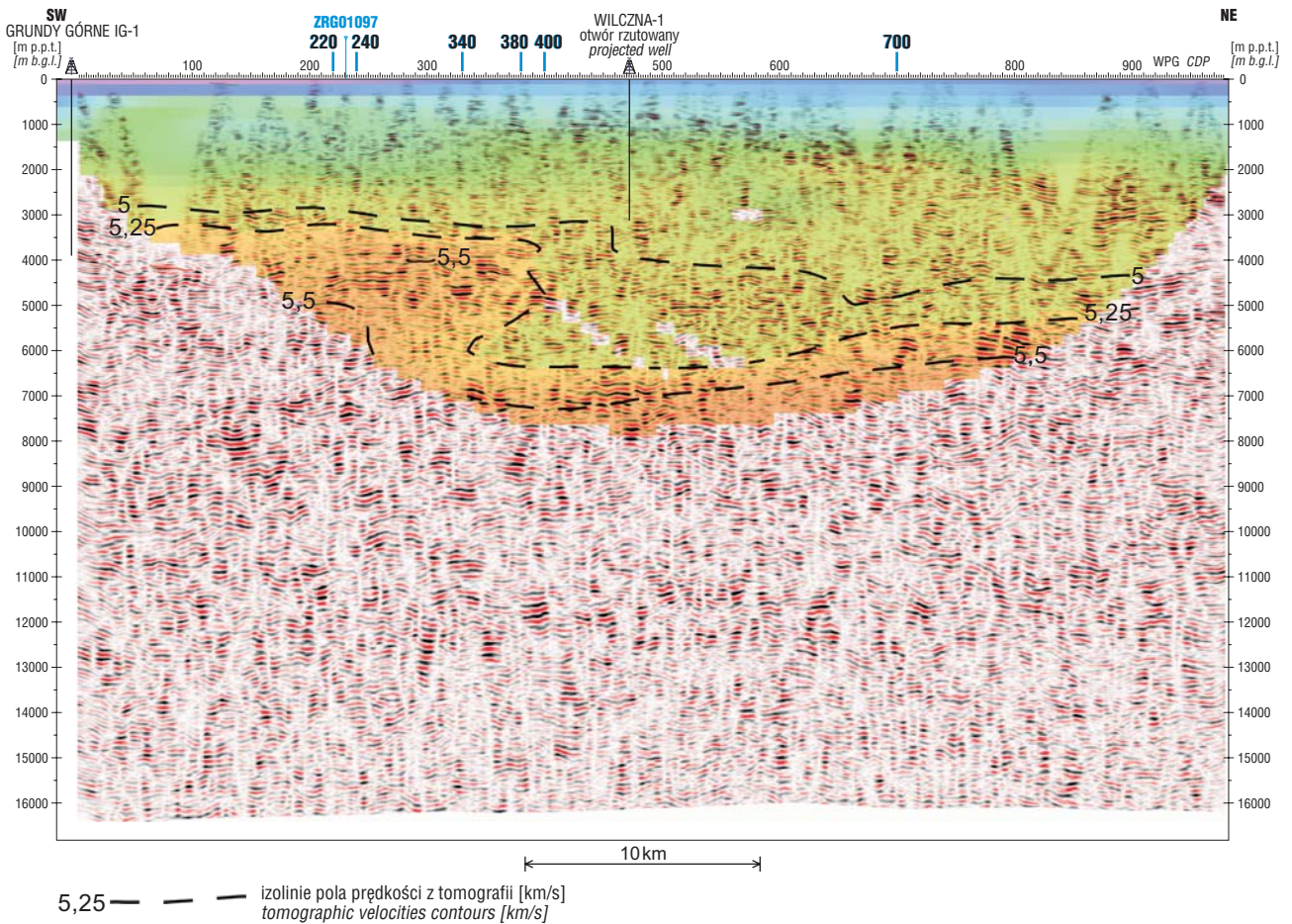
Ryc. 2. Przykład zarejestrowanej sekcji sejsmicznej. Dla porównania zaznaczono obszar typowego rozstawu sejsmiki przemysłowej (szary prostokąt)

Fig. 2. Example of the recorded data. For comparison the typical industrial seismic spread has been marked (by the gray rectangle)



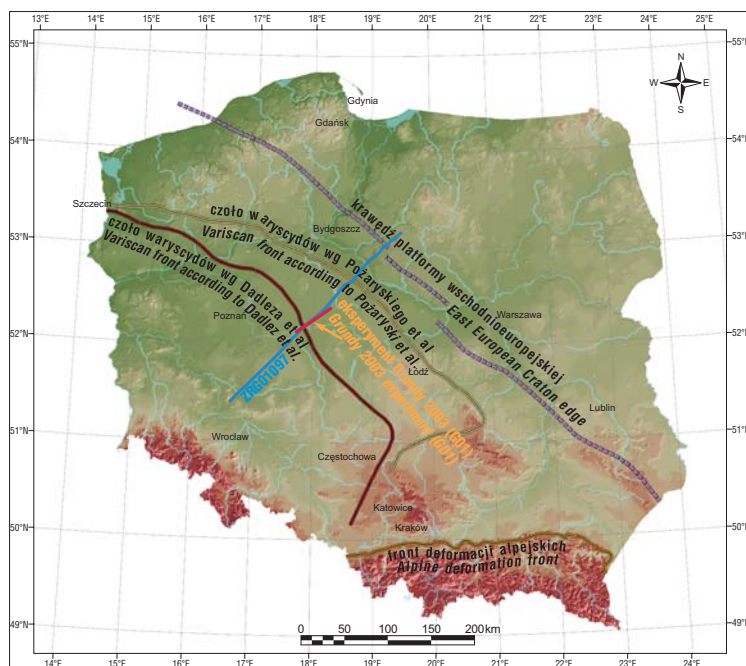
Ryc. 3. Przestrzenne zobrazowanie prędkościowego modelu tomograficznego. Widoczne jest cięcie wzdłuż profilu G01 oraz izopowierzchnie o prędkościach 5250 m/s oraz 5500 m/s

Fig. 3. A 3-D view of the tomographic velocity field. The slice along the G01 line and the isosurfaces with $V_p = 5250$ m/s and 5500 m/s are shown



Ryc. 4. Głębokościowy przekrój sejsmiczny (po migracji) z nałożonym polem prędkości z tomografii

Fig. 4. Migrated depth section with superimposed tomographic velocity field



Ryc. 5. Mapa ilustrująca różne poglądy na zasięg eksternidów waryscyjskich wg Dadleza i in. (1994) oraz Pożaryskiego i in. (1992)

Fig. 5. A map showing the extent of the Variscan externides according to Dadlez et al. (1994) and Pożaryski et al. (1992)

wa geologiczna podłoża permu przed czołem waryscydydów (zapadlisko przedgórskie?).

Głównym zadaniem prac doświadczalnych eksperymentu GRUNDY 2003, na którego rozwiązanie ukierunkowano metodykę badań, było rozpoznanie budowy geologicznej podcechsztyńskiego paleozoiku. Wyniki tych prac wzbogaciły o nowe dane geofizyczne dotychczasowy stan wiedzy o tym rejonie. Uzyskane dane pozwalają już na podjęcie próby ich geologicznej interpretacji w utworach podpermskich. Możliwości interpretacji są jednak ograniczone trudnością dowiązania się do wyników głębokich wierceń i brakiem wysokorozdzielczej sejsmiki refleksyjnej w centralnej części obszaru badań. Pamiętać należy, że interpretacja geologiczna została przeprowadzona na podstawie tomograficznego przekroju prędkościowego, jak też, że sekcja refleksyjna ma charakter niskoczęstotliwościowy, o mniejszej zdolności rozdzielczej i niskiej krotkości pokrycia. Wpływa to na dyskusyjność niektórych rozwiązań i stwarza konieczność ich weryfikacji dalszymi pracami geofizycznymi i wierceniami.

Podstawowych informacji, które zainspirowały prace nad stworzeniem modelu budowy geologicznej wzdłuż profilu G01, dostarczył przekrój tomograficzny (ryc. 4). Obserwuje się na nim, na odcinku pod WPG 380–400 (w przybliżeniu na wysokości miejscowości Słupca) kontakt dwóch stref prędkościowych: płd.-zach., charakteryzującej się wyższymi prędkościami i płn.-wsch., z niższymi prędkościami. Dokumentuje to przebieg izolinii 5250 m/s, obniżającej się tam gwałtownie o ok. 2,5 km. Zróznicowanie prędkości po obu stronach tego prawie pionowego kontaktu nie jest duże. Na szczególną uwagę zasługuje także lokalny wzrost prędkości do 5500 m/s na głębokości ok. 4,0 km pod WPG 300.

Na sekcji sejsmicznej, przedstawiającej wyniki przetwarzania refleksyjnego na profilu G01 (ryc. 4), wyróżniają się silne refleksy układające się w odcinek płaskiej granicy odbijającej w centralnej części profilu na głębokości ok. 6,5 km. Granica ta od strony płd.-zach. urywa się w pobliżu kontaktu prędkości refrakcyjnych. Pakiet silnych odbić widać również między WPG 220 i 380 na głębokości ok. 4,0 km, co odpowiada strefie lokalnego wzrostu prędkości na przekroju tomograficznym.

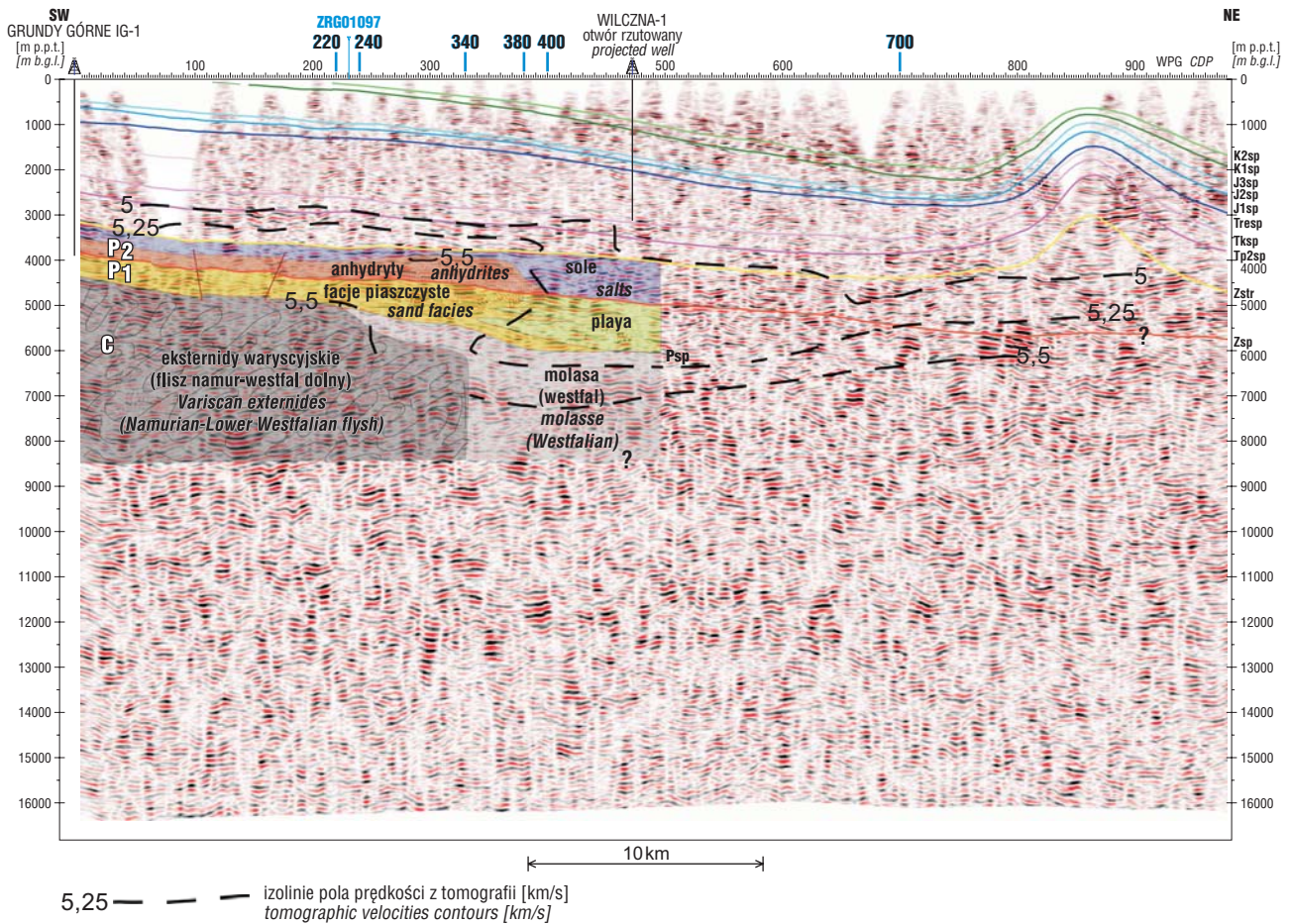
Granice geologiczne w stropie i spągu cechsztynu (ryc. 6) wyznaczono wykorzystując dowiązanie do wiercenia Grundy Górne IG-1 i do refleksyjnego regionalnego profilu ZRG01097. Na przekroju sejsmicznym G01 stosunkowo wyraźnie widać refleksy korelujące się ze spągami cechsztynu. Charakterystyczne zwiększenie dynamiki refleksów w cechsztynie między WPG 220 i 380 wskazuje najprawdopodobniej na pojawienie się tam serii anhydrytowych o zwiększonej miąższości. Potwierdza to silny wzrost prędkości refrakcyjnych aż do 5500 m/s. Spadek prędkości w kierunku płn.-wsch. od WPG 380 może świadczyć o zaniku anhydrytów na rzecz warstw solnych.

Granice w spągu czerwonego spągowca Psp wyznaczono kierując się tomograficznym rozkładem izolinii prędkości i obrazem falowym na sekcji refleksyjnej, porównując te dane z regionalnymi informacjami geologicznymi dotyczącymi miąższości utworów czerwonego spągowca. Przebieg granicy Zsp (spąg cechsztynu) z uwagi na przerwę w profilu ZRG01097 przeniesiono z sąsiedniego regionalnego profilu ZRG00997.

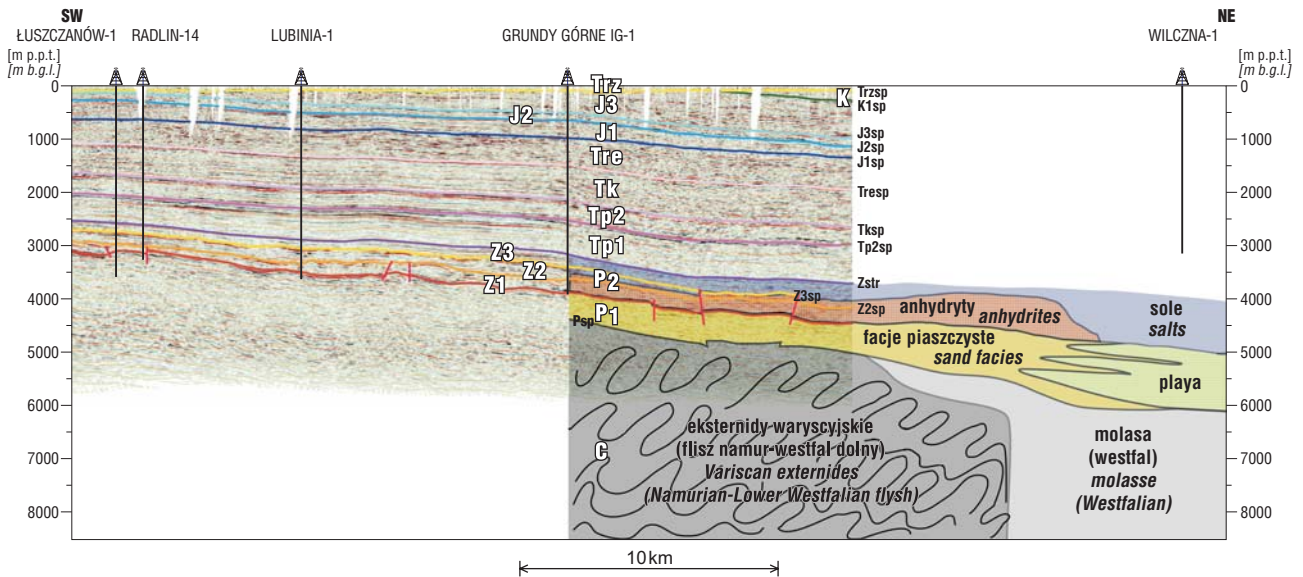
Przejście od wyższych do niższych prędkości, które w kompleksie czerwonego spągowca podkreśla izolinia 5250 m/s, może wskazywać na strefę kontaktu piaskowców eolicznych, charakteryzujących się wyższymi prędkościami z mułowcami playi o niższych prędkościach. Byłaby to równocześnie strefa zwiększenia się miąższości czerwonego spągowca od 500–750 m na obszarze występowania utworów eolicznych, do 1000–1250 m na obszarze playi. W centralnej części przekroju na możliwe położenie spągu utworów czerwonego spągowca wskazują dynamiczne refleksy na głębokości ok. 6,5 km. Trudne do wyjaśnienia jest natomiast nagłe podniesienie pakietu silnych odbić pod WPG 700, aż pod spąg cechsztynu, co ogranicza możliwość interpretacji spągu czerwonego spągowca dalej na płn.-wsch. Interesujące jest, że na tym samym odcinku obserwuje się również wzrost prędkości refrakcyjnych (zrąb w podłożu podpermskim?).

O podłożu podpermskim w rejonie badań w zasadzie wiemy tylko tyle, że jak to opisano na wstępie tego rozdziału, występują tam utwory karbonu. Jaki to jest karbon i jaka jest jego budowa, zdania geologów są podzielone. Dane sejsmiczne uzyskane w eksperymencie GRUNDY 2003 dostarczyły na ten temat nowych informacji, które pozwoliły podjąć próbę odwzorowania budowy geologicznej pod spągami permu.

Analizując tomograficzny przekrój głębokościowy i sekwencje zapisu na sekcji refleksyjnej można zauważyć,



Ryc. 6. Interpretacja geologiczna wyników sejsmicznych eksperymentu GRUNDY 2003
 Fig. 6. The geological interpretation of the seismic data from the GRUNDY 2003 experiment



Ryc. 7. Fragment regionalnego przekroju głębokościowego ZRG01097 z interpretacją geologiczną wyników sejsmicznych eksperymentu GRUNDY 2003. Trz sp — spąg kenozoiku, K1 — kreda dolna, J3 — jura górna, J2 — jura środkowa, J1 — jura dolna, Tre — retyk, Tk — kajper, Tp2 — pstry piaskowiec środkowy, Zstr — strop cechsztynu, Psp — spąg czerwonego spagowca
 Fig. 7. A part of the regional seismic line ZRG01097 (depth section) along with the geological interpretation of the GRUNDY 2003 data. Trz sp — base of Paleogene, K1 — Lower Cretaceous, J3 — Upper Jurassic, J2 — Middle Jurassic, J1 — Lower Jurassic, Tre — Rhaetian, Tk — Keuper, Tp2 — Middle Buntsanstein, Zstr — top of Zechstein, Psp — base of the Rotliegend

że mamy tu do czynienia z dwoma różnymi systemami budowy geologicznej. Ich granicę w podłożu permu można by w przybliżeniu postawić na odcinku pomiędzy WPG 240 i 340. W części płd.-zach. (do WPG 240), charakteryzującej się wyższymi prędkościami (izolinia 5500 m/s) i niespokojnym, nie dającym się korelować zapisem na sekcji refleksyjnej, przyjęto że czerwony spągowiec leży bezpośrednio na warwyscyjskim, sfałdowanym fliszu dolnokarbońskim. Dalej w kierunku pn.-wsch. (od WPG 340), mając na uwadze zmniejszanie się prędkości, założono pojawianie się pod czerwonym spągowcem, leżącej na podłożu warwyscyjskim molasy górnikarbońskiej. Sfałdowany flisz, podobnie jak i jego erozyjna powierzchnia, nie sprzyjają powstawaniu odbić.

Zasięg sfałdowanego fliszu dolnokarbońskiego został przyjęty na kontakcie z płasko ułożonym pakietem silnych refleksów na głębokości ok. 6,5 km. Pod mułowcami czerwonego spągowca leżą zapewne bardziej sprężyste utwory molasy górnikarbońskiej, stąd być może powstała tak wyraźna granica odbijająca. Przebieg izolinii prędkości na przekroju tomograficznym potwierdza możliwość takiego rozwiązania. Końcowa (pn.-wsch.) część przekroju, jest w podłożu podpermskim geologicznie nieinterpretowalna.

Na sekcji refleksyjnej na uwagę zasługuje wzmocnienie sygnałów sejsmicznych, układających się w granicę odbijającą na głębokości ok. 11,0 km (starszy paleozoik?). Jak wynika ze wstępnych informacji, dotyczących wyników tomografii sejsmicznej na głębokim profilu refrakcyjnym S01 projektu SUDETES 2003, prędkość 6000 m/s, która mogłaby sygnalizować prekambryjskie podłoże skonsolidowane, występuje w tym rejonie na głębokości ok. 14,0 km. Prędkość 6200 m/s, występująca tu na głębokości 16,0–17,0 km, jest wiązana na pobliskim profilu P4 (eksperyment sejsmiczny POLONAISE' 97) z podłożem krystalicznym basenu polskiego (Grad i in., 2003a; Guterch i in., 2004).

Podsumowując wyżej przedstawioną interpretację geologiczną wyników eksperymentu sejsmicznego GRUNDY 2003, można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć model budowy geologicznej, w którym pod utworami permu występuje kontakt sfałdowanych skał dolnokarbońskich z obniżeniem wypełnionym utworami molasy górnikarbońskiej i osadami czerwonego spągowca. Naszym zdaniem jest to granica zasięgu eksternidów warwyscyjskich i kontaktu z ich przedpołem. Jest to bardzo prawdopodobne, ale nie można wykluczyć interpretacji, że jest to jeszcze rów śródgórski w obszarze warwyscydów. Nie da się tego dziś przesądzić bez dalszych badań.

Wnioski poszukiwawcze

Prezentowane wyniki badań dostarczyły ważnych informacji dla perspektyw poszukiwań złóż gazu w tym rejonie. Zasygnalizowane występowanie głębokiego zapadliska z osadami górnego karbonu (z pokładami węgla?) pozwala wnioskować, że jest to strefa generacji gazu (ryc. 7). Potwierdza to bardzo dobry skład gazu ziemnego na pobliskich obszarach monokliny przedsudeckiej.

Istotne dla poszukiwań są też: wyznaczenie z dużym prawdopodobieństwem zasięgu występowania piaskow-

ców eolicznych czerwonego spągowca, a także możliwa perspektywiczność utworów dolomitu głównego w strefie zwiększonych miąższości anhydrytów Werry w cechszynie.

Otwartym zagadnieniem pozostają perspektywy poszukiwawcze na przedpołu eksternidów. Można się jednak spodziewać występowania tam w utworach czerwonego spągowca interwałów o lepszych własnościach zbiornikowych i dużych pułapek złożowych związanych z horstami, które utworzyły się przed degradacją skał o własnościach zbiornikowych.

Dla ukierunkowania prac poszukiwawczych w tej części polskiego basenu czerwonego spągowca, jest konieczne dokończenie rozpoznania geofizycznego. Dotyczy to przede wszystkim przeprowadzenia wzdłuż profilu G01 nowego profilu refleksyjnego z zadaniem zbadania kompleksu permskiego i jego podłoża.

Dla potwierdzenia w skali regionalnej zaproponowanego modelu budowy geologicznej, celowym wydaje się przeprowadzenie podobnych prac sejsmicznych na jeszcze jednym profilu między badanym obszarem a Poznaniem.

Jeżeli w wyniku wyżej wymienionych uzupełniających badań geofizycznych potwierdzi się prezentowany model, realne staną się perspektywy odkrycia w tej strefie dużych złóż gazu ziemnego. Stworzy to ekonomiczne przesłanki do podjęcia intensywnych prac poszukiwawczych.

Eksperyment sejsmiczny GRUNDY 2003 został wykonany przez Stowarzyszenie dla Głębokich Badań Geologicznych w Polsce na zlecenie PGNiG S.A. Aparatury sejsmiczne zostały udostępnione przez konsorcjum IRIS Passcal Instrument Center z Waszyngtonu oraz Uniwersytet Teksański w El Paso (UTEP). Przetwarzanie refleksyjne zrealizowano w Instytucie Geofizyki Loranda Eötvösa (ELGI) w Budapeszcie w systemie Landmark ProMAX.

Literatura

- DADLEZ R., KOWALCZEWSKI Z. & ZNOSKO J. 1994 — Some key problems of the pre-Permian tectonics in Poland. *Geol. Quart.*, 38, 169–190.
- GRAD M., JENSEN S.L., KELLER G.R., GUTERCH A., THYBO H., JANIK T., TIIRA T., YILINIEMI J., LUOSTO U., MOTUZA G., NASEDKIN V., CZUBA W., GACZYŃSKI E., ŚRODA P., MILLER K.C., WILDE-PIÓRKO M., KOMMINAHO K., JACYNA J. & KORABLIOVA L. 2003a — Crustal structure of the Trans-European Suture Zone region along POLONAISE'97 Seismic Profile P4. *J. Geophys. Res.* 108, B11, doi: 10.1029/2003Jb002426.
- GRAD M., ŠPIČÁK A., KELLER G. R., GUTERCH A., BROŽ M., HEGEDŮS E. & WORKING GROUP 2003b — SUDETES 2003 seismic experiment. *Stud. Geophys. Geod.*, 47: 681–689.
- GUTERCH A., GRAD M., KELLER G. R. & POLONAISE'97, CELEBRATION 2000, ALP 2002, SUDETES 2003 Working Groups 2004 — Huge contrasts of the lithospheric structure revealed by new generation seismic experiments in Central Europe. *Prz. Geol.*, 52: 753–760.
- HAJNAL Z., HEGEDŮS E., KELLER G. R., FÁNCSIK T., KOVÁCS A. CS. & CSABAFI R. 2004 — Low-frequency 3-D seismic survey of upper crustal magmatic intrusions in the northeastern Pannonian basin of Hungary. *Tectonophysics*, 388: 239–252.
- POŻARYSKI W., GROCHOLSKI A., TOMCZYK H., KARNKOWSKI P. & MORYC W. 1992 — Mapa tektoniczna Polski w epoce warwyscyjskiej. *Prz. Geol.*, 40: 643–651.
- ZELT C. A. & BARTON P. J. 1998 — Three-dimensional seismic refraction tomography: A comparison of two methods applied to data from the Faeroe Basin. *J. Geophys. Res.*, 103: 7187–7210.