

## Wpływ prędkości i tłumienia fal sejsmicznych na wyniki interpretacji złożowej zapisu sejsmicznego w strefach wielopoziomowych złóż gazu we wschodniej części zapadliska przedkarpackiego

Kaja Pietsch\*, Jadwiga Jarzyna\*,\*\*

*Niejednoznaczność złożowej interpretacji zapisu sejsmicznego występuje w sposób szczególnie widoczny przy wielopoziomowych złożach gazu ziemnego, np. na obszarze południowo-wschodniej części zapadliska przedkarpackiego. W takiej sytuacji bardzo pomocne okazują się modelowania sejsmiczne 1D i 2D, które umożliwiają poprawne geologiczne dowiązanie granic sejsmicznych. Modelowania pozwalają także na opracowanie lokalnych kryteriów identyfikacji anomalii prędkościowych i anomalii amplitudowych związanych z nasyceniem gazem. Przy modelowaniach pierwszorzędne znaczenie ma konstrukcja modelu seismogeologicznego w oparciu o właściwe parametry petrofizyczne, charakteryzujące ośrodek skalny. W pracy przedstawiono wpływ poprawnego doboru parametrów sprężystych i złożowych miocenijskich utworów piaskowcowo-ilastych na wynik interpretacji obrazu sejsmicznego wielopoziomowego złoża gazu P, dla którego otworem P-6 nawiercono złożę gazu.*

**Słowa kluczowe:** poszukiwanie złóż gazu ziemnego, parametry petrofizyczne, tłumienie fal sprężystych, modelowania sejsmiczne, złożowa interpretacja zapisu sejsmicznego, zapadlisko przedkarpackie

Kaja Pietsch & Jadwiga Jarzyna — **An influence of velocity and attenuation on the results of seismic interpretation in multi-horizontal gas fields in the eastern part of the Carpathian Foredeep (SE Poland).** *Prz. Geol.*, 49: 441–444.

*S u m m a r y. An unequivocal interpretation of seismic data in determining reservoir parameters is often noted in multi-horizontal gas deposits, for example, in the southeastern part of the Carpathian Foredeep. In the cases discussed, 1D and 2D seismic modeling would be extremely helpful, facilitating a proper geological location of seismic boundaries. In addition, modeling enables establishing local criteria for identification of velocity and amplitude anomalies associated with gas saturation. In the seismic modeling, a construction of seismogeological model on the basis of adequate petrophysical parameters that describe rock formations, is very important. In this paper, an influence of proper selection of elastic and reservoir parameters of Miocene sandy-shaly formations on the results of seismic data interpretation in a multi-horizon gas field "P" pierced by borehole P6, is presented.*

**Key words:** Gas prospecting, petrophysical parameters, elastic wave attenuation, seismic modeling, reservoir parameter interpretation, Carpathian Foredeep

Rola badań sejsmicznych w poszukiwaniach naftowych jest od dawna ugruntowana. Kolejne etapy interpretacji zapisu sejsmicznego, interpretacja strukturalna i seismostratygiczna umożliwiają identyfikację i lokalizację strukturalnych oraz stratygraficznych pułapek złożowych. Zmienność parametrów sprężystych ośrodka skalnego i zależność prędkości propagacji fali podłużnej P i poprzecznej S oraz wielkości tłumienia tych fal od nasycenia przestrzeni porowej węglowodorami daje możliwość wykorzystania badań sejsmicznych do lokalizacji złoża (sejsmiczne wskaźniki węglowodorowości).

Problemy z jednoznacznością interpretacją zapisu sejsmicznego pojawiają się, między innymi wtedy, gdy obraz sejsmiczny nie odtwarza układu strukturalnego warstw, co może mieć miejsce w strefach występowania wielopoziomowych złóż gazu. W takich przypadkach pomocne mogą być modelowania sejsmiczne, które umożliwiają jednoznaczne geologiczne dowiązanie granic sejsmicznych oraz opracowanie lokalnych kryteriów identyfikacji anomalii prędkości i anomalii amplitudowych związanych z gazem.

Problem lokalizacji niewielkich pułapek strukturalno-stratygraficznych w piaskowcowo-ilastych utworach miocenu występuje we wschodniej części zapadliska przedkar-

packiego, gdzie często obserwuje się niezgodność obrazu strukturalnego wyinterpretowanego na podstawie zapisu sejsmicznego i geologicznego układu warstw (Borys, 1996; Borys i in., 1999). W takiej sytuacji tylko właściwa geologiczna interpretacja pola falowego, oparta na sejsmicznych modelowaniach 1D i 2D, może być podstawą do trafnej lokalizacji odwiertów (Pietsch i in., 1998).

W pracy przedstawiono wpływ właściwego doboru parametrów sprężystych i złożowych miocenijskich utworów piaskowcowo-ilastych na wynik interpretacji obrazu sejsmicznego wielopoziomowego złoża gazu, dla którego otworem P6 nawiercono złożę. Sąsiednie otwory, wytypowane podobnie do P6 na niewielkich podniesieniach strukturalnych podłoża, sygnalizowanych badaniami sejsmicznymi, nawierciły jedynie zawodnione piaskowce.

### Modele seismogeologiczne

Dobór parametrów petrofizycznych warstw budujących model seismogeologiczny dla tej części zapadliska przedkarpackiego ma istotne znaczenie. Na krzywych prędkości wyznaczonych z profilowań akustycznych nie obserwuje się zmniejszenia prędkości, charakterystycznego dla warstw nasyconych gazem (Pietsch i in., 1998). Dla potrzeb niniejszego studium opracowano trzy modele seismogeologiczne w oparciu o profilowania i wyniki kompleksowej interpretacji geofizyki otworowej w otworze P6. Teoretyczne pole falowe 1D (seismogramy syntetyczne) zostały obliczone z wykorzystaniem progra-

\*Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; pietsch@geolog.geol.agh.edu.pl,

\*\*jarzyna@geol.agh.edu.pl

mu LogM GMAplus (Geophysical MicroComputer Application Ltd, licencja z 1999 r.).

W pierwszym etapie do obliczania sejsmogramów syntetycznych wykorzystano jedynie wynik profilowania akustycznego zweryfikowanego w oparciu o PPS. Do obliczania współczynników odbicia wykorzystano także gęstość objętościową. Porównanie sejsmogramów syntetycznych i sekcji sejsmicznych pokazało, iż piaskowcowe warstwy gazonośne korelują z niskimi wartościami naturalnej promieniotwórczości na krzywej GR i podwyższonymi wartościami porowatości ogólnej. Nie zaobserwowano natomiast w poziomach gazonośnych wyraźnego podwyższenia czasu interwałowego na krzywej profilowania akustycznego oraz wyraźnych refleksów na sejsmogramach syntetycznym w poziomach złożowych, ryc. 1a. Brak wyraźnych anomalii na krzywej profilowania akustycznego w poziomach gazonośnych, jest wynikiem płytkiego radialnego zasięgu tej metody, ograniczonego jedynie do strefy przebytej. Przestrzeń porowa w tej strefie jest nasycona filtrem płuczki, który odsunął gaz od ściany otworu i sam wszedł na jego miejsce, powodując obniżenie czasu interwałowego.

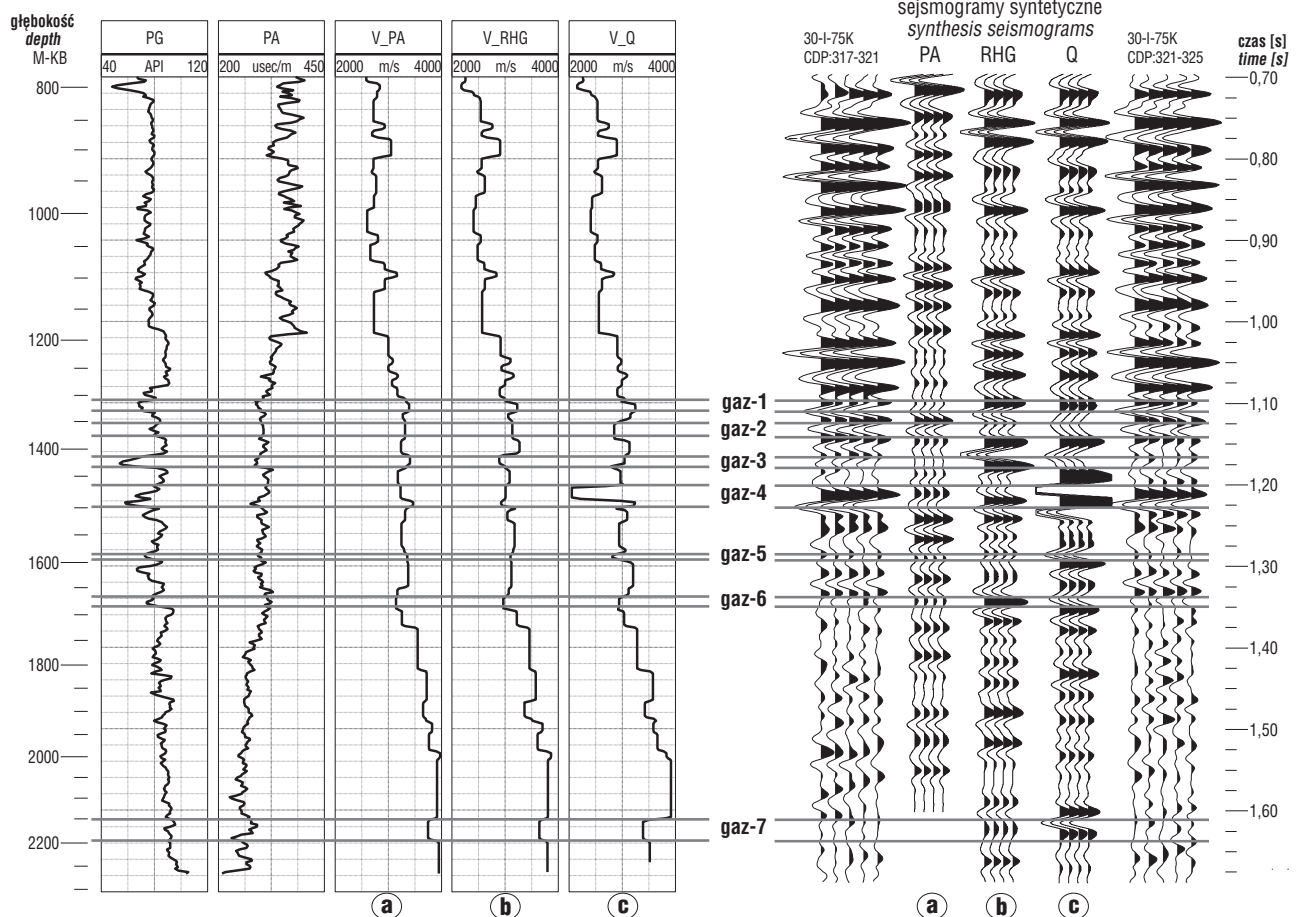
W drugim etapie krzywą prędkości obliczono w oparciu o model Raymera-Hunta-Gardnera (RHG), z uwzględnieniem znanych z kompleksowej interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej wartości porowatości oraz nasycenia gazem przestrzeni porowej w strefie przebytej. Odpowiedni sejsmogram syntetyczny lepiej koreluje z GR i wynikami prób złożowych w piaskowcowych poziomach gazonośnych, ryc. 1b.

Trzeci sejsmogram syntetyczny obliczono na podstawie prędkości fal sejsmicznych, skorygowanych w stosunku do prędkości fal akustycznych, z wykorzystaniem współczynnika dobroci Q. Współczynnik ten wykorzystano jako miarę tłumienia fal sprężystych. Wyznaczono go na podstawie interpretacji akustycznych obrazów falowych, wykorzystując poniższą relację:

$$\ln [A_2(R_2)/ A_1(R_1)] = -\pi \cdot f (T_2 - T_1)/Q$$

gdzie:

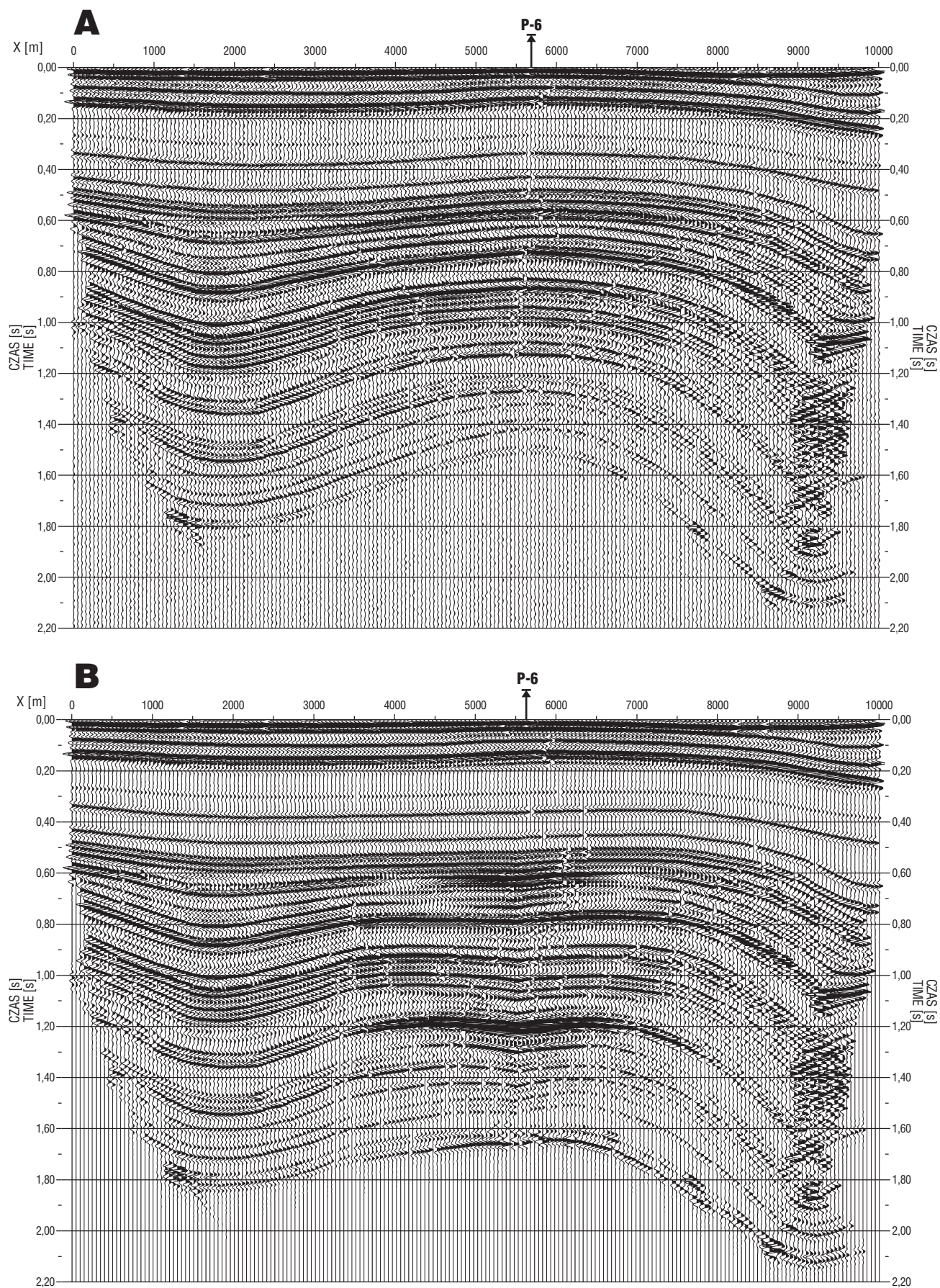
$A_1$  i  $A_2$  — są widmami amplitudowymi akustycznych obrazów falowych dla pakietu fali P rejestrowanego bliż-



**Ryc. 1.** Zestawienie pomiarów PG i PA oraz obliczonych krzywych prędkości z sejsmogramami syntetycznymi; a) prędkość z PA, b) prędkość–RHG, c) prędkość–Q; 1–7 — poziomy gazowe

**Fig. 1.** Comparison of field GR and sonic curves with modeled velocity curves and corresponding synthetic seismograms; a) velocity–sonic, b) velocity–RHG, c) velocity–Q; 1–7 — gas horizons





Ryc. 2. Sekcje syntetyczne; a) model „bez gazu”, b) model „z gazem”  
 Fig. 2. Synthetic sections; a) model without gas, b) model with gas

szym (w odległości  $R_1$ ) i dalszym (w odległości  $R_2$ ) odbiornikami;

$T_1$  i  $T_2$  — są czasami przyjścia fali P do pierwszego i drugiego odbiornika;

$f$  — częstotliwość (De i in., 1994).

Średnie wartości współczynnika  $Q$  dla utworów piaszczysto-iltych miocenu oraz wartości prędkości fal akustycznych  $V^{PA}$  obliczono na podstawie interpretacji akustycznych obrazów falowych przeprowadzonej w wybranych otworach badanego rejonu (Jarzyna, 1999). Prędkość fal sejsmicznych obliczono na podstawie wzoru:

$$V^{SEJS} = V^{PA} / \{1 + (1/\pi Q) \ln(f^{PA}/f^{SEJS})\}$$

Sejsmogramy syntetyczne obliczone dla otworu P6 na podstawie prędkości  $V^{SEJS}$  najlepiej korelują z krzywą GR oraz wynikami prób złożowych, ryc. 1c.

### Teoretyczne pole falowe

Geometryczny układ zróżnicowanych litologicznie poziomów, niezbędny obok parametrów petrofizycznych do konstrukcji modelu sejsmogeologicznego 2D, został wyznaczony na podstawie interpretacji profilu sejsmicznego 30-01-75K przechodzącego przez otwór P-6, wykonanej w systemie CHARISMA (Schlumberger). Teoretyczne profile sejsmiczne zostały obliczone z wykorzystaniem programu do modelowania 2D GMAplus STRUCT. Do konstrukcji sekcji syntetycznych, tak samo jak w przypadku modelowania 1D, został użyty sygnał elementarnej fali sejsmicznej wyestymowany z trasy sejsmicznej.

Porównanie sekcji syntetycznych obliczonych dla modelu wyznaczonego na podstawie profilowania akustycznego (ryc. 1a i 2a) oraz modelu uwzględniającego tłumienie fali sejsmicznej (ryc. 1c i 2b) pokazuje znaczenie właściwego rozpoznania parametrów petrofizycznych górotworu. Pozwala również na opracowanie lokalnych kryteriów złożowej interpretacji zapisu sejsmicznego. Można bowiem przyjąć, że model oparty o wynik profilowania PA jest modelem „bez gazu”. Na wyraźny anomalny zapis sejsmiczny w strefie złożowej składają się następujące cechy:

□ wzrost amplitudy sygnałów dla warstw złożowych (zapis sejsmiczny typu *bright spot*),

□ niewielkie zmniejszenie amplitudy refleksów występujące poniżej serii złożowej,

□ lokalne ugięcia synklinalne refleksów (*sag*), związane ze wzrostem czasu przebiegu fali sejsmicznej w warstwach gazonośnych,

□ występowanie *bright spot* w strefach poziomego i synklinalnego ułożenia granic.

### Wnioski

Korelacja sejsmogramów syntetycznych, obliczonych na podstawie prędkości wyliczonej z profilowania akustycznego —  $V^{PA}$ , na podstawie modelu RHG i na podstawie prędkości sejsmicznej —  $V^{SEJS}$ , z zarejestrowanymi trasami sejsmicznymi pokazuje, że najlepszą zgodność uzyskano dla modelu z uwzględnieniem tłumienia. Identyczne wyniki uzyskano również z porównania syntetycznych sekcji sejsmicznych, a obserwowane między nimi różnice posłużyły do wyznaczenia lokalnych sejsmicznych wskaźników węglowodorowości.

Prawidłowość zaproponowanych kryteriów złożowej interpretacji danych sejsmicznych potwierdziła interpretacja profili sejsmicznych zarejestrowanych na obszarze analizowanej struktury. Przedstawione badania pokazują jednoznacznie zarówno znaczenie właściwego doboru parametrów petrofizycznych warstw budujących badany ośrodek, jak i rolę modelowania przy złożowej interpretacji zapisu sejsmicznego.

Autorki dziękują Geophysical MicroComputer Application (International) Ltd. i Schlumberger za udostępnienie programów, które były wykorzystane przy opracowaniu niniejszego artykułu. Dziękują także Geofizyce Kraków, Sp. z o.o. i PGNiG S.A. Warszawa za udostępnienie materiałów sejsmicznych, geofizyki wiertniczej oraz danych geologicznych.

Przedstawione badania były finansowane przez Komitet Badań Naukowych, projekt Nr 9T12B 010 11, 1999.

### Literatura

- BORYS Z. 1996 — Aktualne problemy poszukiwań węglowodorów we wschodniej części przedgórze Karpat. *Prz. Geol.*, 44: 1019–1023.
- BORYS Z., MADEJ K., MYŚLIWIEC M. & TRYGAR H. 1999 — Preliminary results of the new methodology of gas exploration in the north-eastern part of Carpathian Foredeep (Poland). *Oil & Gas news from Poland*, 9: 97–108.
- DE S. G., WINTERSTEIN D.F. & MEADOWS M.A. 1994 — Comparison of P-Wave and S-Wave Velocities and Q's from VSP and Sonic Log Data. *Geophysics*, 59: 1512–1529.
- JARZYNA J. 1999 — Wpływ obecności gazu na tłumienie fal sprężystych. [W:] Pietsch K. — Badania anomalii sejsmicznych i geochemicznych w strefach pionowej migracji gazu, Projekt KBN Nr 9T 12B 010 11, 1996–1999. *Bibl. ZG AGH, Kraków*.
- PIETSCH K., DEREŃ D. & GĄSIOROWSKI T. 1998 — Anomalie sejsmiczne wywołane wielopoziomowymi złożami gazu w północno-wschodniej części zapadliska przedkarpackiego. *Prz. Geol.*, 46: 676–684.