

## MODEL PRĘDKOŚCIOWY FAL P i S ORAZ GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWYCH DLA WYBRANYCH OTWORÓW W REJONIE KARPAT ZACHODNICH

Velocity model of P-waves and S-waves  
and bulk density for selected wells  
from the Western Carpathians

Maria BAŁA & Katarzyna WITEK

*Akademia Górniczo-Hutnicza,  
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska;  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;  
e-mail: bala@geol.agh.edu.pl, katarzyna\_witek@poczta.onet.pl*

**Treść:** Zostały obliczone parametry sprężyste – prędkości fal podłużnych i poprzecznych, ich stosunki oraz gęstości objętościowe dla zróżnicowanych poziomów litostratygraficznych w wybranych otworach z rejonu Karpat Zachodnich. Do obliczeń wykorzystano program komputerowy *Estymacja* opracowany przez M. Bałę i A. Cichego w ramach projektu badawczego nr 8 T12B 046 20 (Bała *et al.* 2003). Zastosowano teoretyczny model Biot–Gassmanna, pozwalający na wyznaczanie wspomnianych parametrów na podstawie znajomości dokładnego składu mineralnego skał, współczynników porowatości i nasycenia wodą i węglowodorami, które można uzyskać z interpretacji ilościowej profilowań geofizyki otworowej. Przeprowadzono zestawienia średnich wartości obliczonych parametrów w wydzielonych jednostkach stratygraficznych, co posłużyło do oceny modelu prędkości i gęstości objętościowej.

**Słowa kluczowe:** prędkości fal podłużnych i poprzecznych, gęstość objętościowa, dane geofizyki otworowej

**Abstract:** Elastic parameters including P-wave and S-wave velocities, their ratios, and bulk density for different lithostratigraphic levels were calculated for selected boreholes from the Western Carpathians. The calculations were made with the use of the *Estymacja* computer program written by M. Bała and A. Cichy within the research project No. 8 T12B 046 20 (Bała *et al.* 2003). The theoretical Biot–Gassmann's model was used, which enabled the above mentioned parameters to be determined based on known mineral composition, porosity, and water- and hydrocarbon saturation of rocks, which can be obtained from well log quantitative interpretation. Mean values of the parameters were put together for selected stratigraphic units and used for the evaluation of velocity model and bulk density model.

**Key words:** compressional wave velocity, shear wave velocity, bulk density, well logging data

## WPROWADZENIE

Szczegółowe rozpoznanie formacji zbiornikowych oraz skał macierzystych, w aspekcie ich zdolności do akumulacji węglowodorów, w obszarze Karpat Zachodnich wymaga zastosowania zintegrowanej interpretacji danych geofizycznych i geologicznych.

W ramach projektu badawczego nr 4 T12 B 025 28 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji, realizowanego pod kierunkiem prof. dr hab. inż. J. Jarzyny, zostały wykorzystane zarówno metody geofizyki powierzchniowej (sejsmika, magnetotelluryka, gravimetria, magnetometria), jak również pomiary geofizyki otworowej oraz dane laboratoryjne, pozwalające na dokładne opracowanie modeli ośrodka geologicznego w obszarach związanych ze strefami występowania utworów fliszowych, miocenu autochtonicznego oraz podłoża, występującego w postaci skał karbońskich, dewońskich i głębszych stref utworów krystalicznych.

Modele takie wymagają opracowania, między innymi, zmian z głębokością parametrów sprężystych (prędkości fal podłużnych i poprzecznych, dynamicznych modułów sprężystości) oraz gęstości objętościowej. Problem ten może być realizowany przy użyciu pomiarów i wyników interpretacji profilowań geofizyki otworowej z wykorzystaniem programu *Estymacja*, bazującym na teoretycznych relacjach charakteryzujących ośrodki porowate.

## WSTĘP

Wykonano obliczenia parametrów sprężystych i gęstości na podstawie interpretacji ilościowej profilowań geofizyki wiertniczej i standardowych pomiarów przy użyciu programu *Estymacja* (Bała & Cichy 2003). Dokładny opis funkcjonowania tego programu można znaleźć w opracowaniu końcowym projektu badawczego nr 8 T12B 046 20 (Bała *et al.* 2003) oraz w wydanej monografii (Bała & Cichy 2006). Szereg modyfikacji ww. programu wykonano w ramach projektu nr 4 T12B 05629 realizowanego od 2005 roku pod kierunkiem M. Bały.

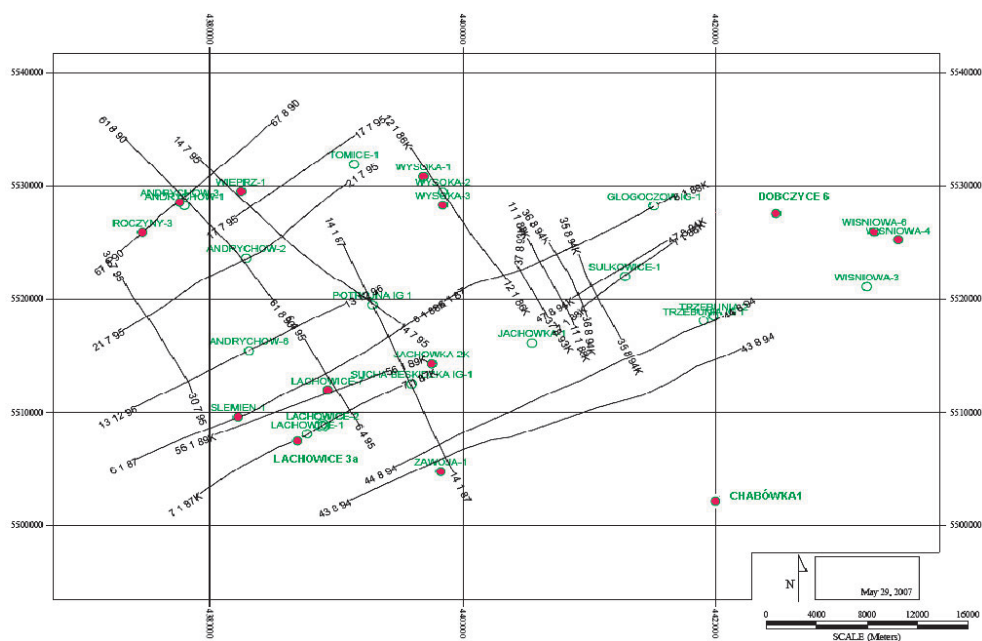
Program *Estymacja*, wykorzystując teoretyczne relacje opisujące ośrodki porowate, pozwala na obliczenia następujących parametrów: prędkości fal podłużnych i poprzecznych (oznaczonych jako VPEQ, VSEQ), czasów interwałowych (DPEQ, DSEQ) oraz modułów sprężystości EEQ, KEQ, MIEQ, stosunków VPEQ/VSEQ i współczynnika Poissona NIEQ, jak również gęstości objętościowej (RHEQ). Wymaga wprowadzenia danych z kompleksowej interpretacji ilościowej, obejmujących objętości poszczególnych składników mineralnych, współczynnika porowatości i nasycenia wodą w profilu otworu.

Przed przystąpieniem do obliczeń zostały wprowadzone do bazy danych, przy wykorzystaniu aplikacji Las2Sys systemu GeoWin (Jarzyna *et al.* 2002), następujące krzywe (Kulaga *et al.* 2005, Zacharski *et al.* 2006):

- 1) krzywe wynikowe interpretacji ilościowej – porowatości (PHI), zailenia (VSH), składu mineralnego szkieletu (VPIAS, VWAP, VANH, VGIP), jak również nasycenia wodą w strefie przemylej (SWXO) lub niezmięnionej (SW), na podstawie tych danych obliczane są parametry sprężyste skał;

- 2) inne profilowania wykorzystywane do celów porównawczych :
  - profilowanie akustyczne PA, które powinno być poprawione na wpływ otworu i przeskoki fazy (*cycle skipping*). Jest ono uwzględniane w modelach teoretycznych dla obliczania błędów estymacji czasów interwałowych fali P,
  - profilowanie gamma–gamma (RHOB) w przypadku wykonanego pomiaru w otworze;
- 3) profilowania traktowane jako „korelacyjne”, np. gamma (GR), średnicy (CAL) lub oporności.

Obliczenia parametrów sprężystych i gęstości objętościowych wykonano w następujących otworach, leżących w pobliżu profili sejsmicznych: Andrychów 3, Chabówka 1, Dobczyce 6, Jachówka 2k, Lachowice 3a, Lachowice 7, Roczyny 3, Ślemień 1, Wiśniowa 4, Wiśniowa 6, Wieprz 1, Wysoka 1, Wysoka 3, Zawoja 1 (Fig. 1).



**Fig. 1.** Schemat położenia otworów, w których wykonano obliczenia parametrów sprężystych na tle zaznaczonych profili sejsmicznych. Wybrane do interpretacji otwory zaznaczono kolorem czerwonym

**Fig. 1.** Situation of wells for which elastic parameters were calculated at the background of seismic profiles. Wells, which we have interpreted, were marked red colour

## MODEL TEORETYCZNY I DOBÓR PARAMETRÓW „SZKIELETOWYCH”

Przy obliczaniu parametrów sprężystych skał w poszczególnych otworach stosowano jeden z modeli programu *Estymacja* – model teoretyczny Biota–Gassmanna.

W modelu Biota–Gassmanna wykorzystuje się następujące relacje pomiędzy modułami skały nasyconej oraz w stanie suchym  $K_{dr}$  i dla fazy stałej  $K_{ma}$  w postaci:

$$\frac{K_{sat}}{K_{ma} - K_{sat}} = \frac{K_{dr}}{K_{ma} - K_{dr}} + \frac{K_f}{\Phi \cdot (K_{ma} - K_f)} \quad (1)$$

oraz  $\mu_{sat} = \mu_{dr}$ .

Moduły odkształcenia objętości i postaci w ośrodku porowatym nasyconym cieczą można wyrazić jako sumę modułów „suchego” szkieletu skalnego i cieczy:

$$K_{sat} = K_{dr} + K_f$$

oraz

$$\mu_{sat} = \mu_{dr} + \mu_f = \mu_{dr} \text{ ponieważ } \mu_f = 0 \quad (2.a)$$

gdzie:  $K_f$  – moduł odkształcenia objętości fazy ciekłej,  
 $\mu_f$  – moduł odkształcenia postaci fazy cieczy,  
 $K_{dr}, \mu_{dr}$  – moduły odkształcenia objętości i postaci szkieletu suchego zbudowanego z ziaren wraz z porami (*drained*).

Gęstość skały nasyconej:

$$\rho_{sat} = \rho_{dr} + \Phi \rho_f \quad (2.b)$$

gdzie:  $\rho_{dr}$  – gęstość szkieletu suchego zbudowanego z ziaren wraz z porami (*drained*),  
 $\rho_f$  – gęstość cieczy nasycającej pory.

Należy zauważyć, że:

$$\rho_{dr} = (1 - \Phi) \rho_{ma} \quad (2.c)$$

gdzie:  $\rho_{ma}$  – określa gęstość szkieletu skalnego (fazy stałej),  
 $\Phi$  – współczynnik porowatości skały.

Relacje pomiędzy modułami w stanie suchym  $K_{dr}$  i fazy stałej  $K_{ma}$  można wyrazić, stosując notację Biota (Bała & Cichy 2006) następująco:

$$K_{dr} = (1 + \beta) \cdot K_{ma} \quad \text{i} \quad \mu_{dr} = (1 + \beta) \cdot \mu_{ma} \quad (3)$$

Po przekształceniu (1 – 3) otrzymamy:

$$K_{sat} = K_{dr} + \frac{\beta^2}{\frac{\beta - \Phi}{K_{ma}} + \frac{\Phi}{K_f}} \quad (4)$$

Podstawiając te relacje do znanych wzorów na  $V_p$  i  $V_s$  otrzymamy dla skał nasyconych:

$$V_{p_{sat}} = \left[ \frac{1}{\rho_{sat}} \left( K_{sat} + \frac{4}{3} \cdot \mu_{sat} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{i} \quad V_{s_{sat}} = \left( \frac{\mu_{sat}}{\rho_{sat}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Przed wykonaniem obliczeń w programie *Estymacja* należy zadać parametry „szkieletowe” dla poszczególnych składników mineralnych oraz mediów nasycających przestrzenie porowe skał występujących w otworze.

Zadawane są następujące wielkości:

$K_{ma}$  – moduł odkształcenia objętości dla szkieletu [MPa],

$\mu_{ma}$  – moduł odkształcenia postaci dla szkieletu [MPa],

$\rho_{ma}$  – gęstość szkieletu [ $\text{kg/m}^3$ ],

$DT_{ma}$  – czas interwałowy w szkielecie [ $\mu\text{s/m}$ ]

oraz moduły odkształcenia objętości i gęstości dla wody i gazu lub ropy nasycających przestrzenie porowe skał.

Przy zadawaniu parametrów szkieletowych należy uwzględnić domieszki różnych minerałów tworzących daną litologię oraz brać pod uwagę głębokość zalegania interpretowanych utworów. Porównanie obliczonych (estymowanych) czasów DPEQ z zarejestrowanymi sondą akustyczną DT(PA) w otworze testowym, pozwala na odpowiednie określenie wartości „szkieletowych” dla poszczególnych składników mineralnych, tak aby błąd estymacji był zminimalizowany. Wartości te wykorzystano przy obliczeniach parametrów sprężystych w otworach, w których nie dysponowano profilowaniami akustycznymi (brak pomiarów lub duże błędy rejestracji).

Obliczenia w poszczególnych otworach wykonywano w oddzielnych interwałach, związanych głównie ze zmianami litostratygraficznymi. W każdym z interwałów program oblicza wspomniane wyżej parametry sprężyste oraz błąd względny dopasowania teoretycznej krzywej czasu interwałowego fali P oznaczonego jako DPEQ do rejestrowanej wartości czasu DTPA w profilowaniu akustycznym. Błąd ten jest obliczany następująco:

$$\delta = [(DPEQ - DTPA) / DTPA] \times 100\%$$

W przypadku braku zarejestrowanego profilowania akustycznego lub występujących błędów w zapisie DTPA (zdarza się to przy interpretacji wykonywanej na bazie „starych” pomiarów) program *Estymacja* może być również zastosowany (wtedy bez obliczania powyższego błędu).

## ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Obliczenia „estymowanych” parametrów sprężystych i gęstości objętościowych wykonywano w wymienionych otworach najczęściej od pewnej głębokości, pomijając górny interwał, ze względu, na brak profilowania akustycznego, bądź brak składu mineralnego, albo z uwagi na bardzo powiększone średnice, generujące duże błędy pomiarowe (Tab. 1).

Wyniki obliczonych parametrów sprężystych można przedstawić w grafice wewnętrznej programu *Estymacja* i zapisać w postaci plików w formacie Las, wykorzystując aplikację Las2sys systemu GeoWin (Jarzyna *et al.* 2002).

Na figurze 2 przedstawiono, dla przykładu, wynik interpretacji wykonanej w otworze Lachowice 7 w utworach węglanowych dewonu środkowego w interwale 2891.0 – 3036.0 m.

Na ścieżce 1 zaznaczona jest głębokość, ścieżka 2 i 3 przedstawia pomierzone (krzywa czarna) i obliczone (krzywa czerwona) czasy interwałowe fali P i S w [ $\mu\text{s/m}$ ], na kolejnych ścieżkach 4, 5, 6 i 7 przedstawione są krzywe profilowania neutronowego w jednostkach porowatości [ułamek], gęstości objętościowej (pomierzona czarna) i obliczona (czerwona)

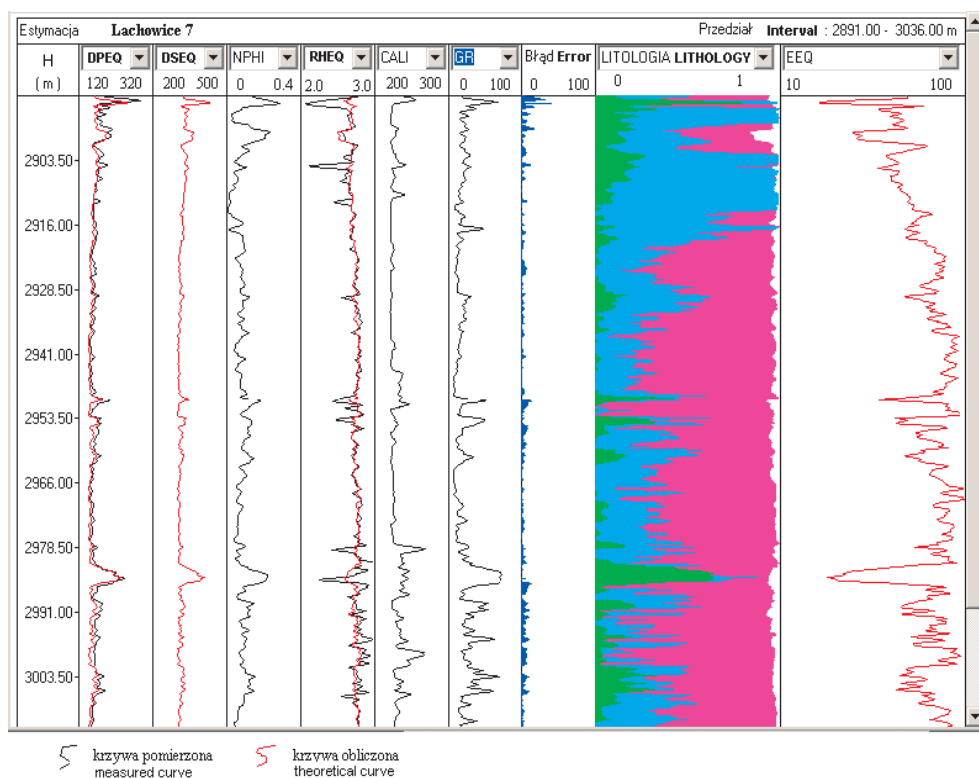
[g/cm<sup>3</sup>], profilowanie średnicy [mm] i profilowanie gamma [API]. Na ścieżce 8 zaznaczony jest błąd estymacji [%], dalej skład litologiczny i porowatość i na ostatniej obliczony moduł Younga [GPa]. Błąd estymacji nie przekracza w tym interwale 7.5%. Najlepsze dopasowanie krzywych teoretycznych i pomierzonych obserwujemy w przypadku zwiększonego zailenia skały i znacznego powiększenia średnicy.

**Tabela (Table) 1**

Interwały głębokościowe, dla których zostały obliczone parametry sprężyste

*Depth intervals for which elastic parameters were calculated*

Nazwa otworu <i>Well name</i>	Głębokość początkowa obliczeń [m] <i>Start depth of calculations</i>	Głębokość końcowa obliczeń [m] <i>End depth of calculations</i>	Uwagi <i>Comment</i>
Andrychów 3	50	2440.00	
Chabówka 1	50	5101.50	Powiększone średnice <i>Big caverns</i>
Dobczyce 6	100	1980.00	
Jachówka 2 k	491	4247.50	Powiększone średnice <i>Big caverns</i>
Lachowice 3a	50	3936.00	
Lachowice 7	30	3119.50	
Roczyny 3	170	1789.75	Brak prof. średnicy do 150.5 m, błędy na PA do 175 m <i>No caliper data to 150.5 m, errors in DTPA to 175 m</i>
Ślemień 1	28	3295.25	Brak danych pomiarowych w interwale 2988÷3043 m <i>No well logging data for 2988÷3043 m interval</i>
Wieprz 1	175	1500.00	Brak prof. średnicy do 150.5 m, błędy na PA do 175 m <i>No caliper data to 150.0 m, errors on the DTPA to 175 m</i>
Wiśniowa 4	50	2561.75	
Wiśniowa 6	70	2447.00	
Wysoka 1	180	2449.75	
Wysoka 3	85	2744.00	Brak niektórych pomiarów w górnej części (do 85 m) <i>No well logging data for upper part of the well (to 85 m)</i>
Zawoja 1	50	5023.00	



**Fig. 2.** Wynik obliczeń parametrów sprężystych wykonanych w otworze Lachowice 7 w utworach węglanowych dewonu środkowego w interwale 2891.0÷3036.0 m (przykład)

**Fig. 2.** Results of calculation of elastic parameters for carbonate rocks of Middle Devonian in Lachowice 7 well at a depth interval of 2891.0÷3036.0 m (an example)

Analizując szczegółowo obliczone parametry przedstawione na figurze 2 można zauważyć, że czasy interwałowe fali P naprzeciw litologii dolomitów wapnistych wynoszą średnio  $DPEQ = 161 \mu\text{s/m}$  (co odpowiada prędkości  $VPEQ = 6.23 \text{ km/s}$ ), a dla fali S  $DSEQ = 299 \mu\text{s/m}$  ( $VSEQ = 3.344 \text{ km/s}$ ), natomiast średnia wartość modułu Younga  $EEQ = 90.5 \text{ GPa}$ .

Na podstawie obliczonych parametrów sprężystych zostały zestawione średnie wartości prędkości fali P i S, impedancji akustycznych fali P i S, stosunku  $VPEQ/VSEQ$  oraz gęstości objętościowych (RHEQ) w poszczególnych poziomach stratygraficznych (Tab. 2).

Zestawione w tabeli 2, uśrednione parametry sprężyste i gęstości objętościowe, wykorzystano w celu przedstawienia uogólnionych wartości tych parametrów w grupach otworów leżących w pobliżu siebie, bądź występujących wzdłuż jednego profilu.

Ze względu jednak na dużą zmienność utworów przynależnych do bardzo różnych jednostek litostratygraficznych (Moryc 2005, Zacharski *et al.* 2006) oraz zaangażowania tektonicznego w rejonie występowania interpretowanych otworów wiertniczych, zestawienie wyników obejmowało tylko najbliższe położone otwory.

**Tabela (Table) 2**

Średnie wartości obliczonych prędkości fal VPEQ i VSEQS, impedancji akustycznej fali P – AIP i fali S – AIS, stosunku VPEQ/VSEQ oraz gęstości objętościowych RHEQ, przy użyciu programu *Estymacja* dla wydzielonych jednostek stratygraficznych w poszczególnych otworach

*Mean values for velocities VPEQ and VSEQS, acoustic impedance of P-wave – AIP and S-wave – AIS, ratio VPEQ/VSEQ and bulk density RHEQ calculated with the use of Estymacja program for selected stratigraphic units in each wells*

Litologia <i>Lithology</i>	Głębokość <i>Depth</i> [m]	VPEG [km/s]	VSEQ [km/s]	AIP [km/s · kg/m <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup> ]	AIS [km/s · g/cm <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup> ]	Stos. VPEQ/VSEQ <i>Velocity ratio</i>	Gęst. obj. RHEQ [kg/m <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup> ] <i>Bulk density</i>	Nazwa otworu <i>Well name</i>
<b>Paleogen (Paleogene)</b>								
PZ, Ł	50 – 1600	3.66	2.22	8.967	5.439	1.65	2.45	Chabówka 1
<b>Formacja istebniańska (wK2s) (Istebna Formation)</b>								
P, Ł, M	100 – 1290	3.40	2.06	8.262	5.006	1.65	2.43	Dobczyce 6
	70 – 640	3.11	1.87	7.588	4.563	1.66	2.44	Wiśniowa 6
İŁ	85 – 240	3.52	2.19	8.342	5.190	1.61	2.37	Wysoka 3
İŁ, P	1525 – 1965	4.13	2.56	10.738	6.656	1.61	2.60	Zawoja 1
<b>Formacja godulska (wK2g) (Godula Formation)</b>								
P, M	1290 – 1407	3.62	2.17	9.122	5.468	1.67	2.52	Dobczyce 6
P, M	640 – 729	2.66	1.48	6.544	3.641	1.80	2.46	Wiśniowa 6
Ł, P	240 – 400	3.08	1.91	4.454	4.622	1.62	2.42	Wysoka 3
<b>Formacja ciężkowicka (wEc) (Ciezkowice Formation)</b>								
P	491 – 1383	3.49	2.14	8.690	5.329	1.63	2.49	Jachówka 2K
P	1389 – 1490	2.95	1.82	7.021	4.332	1.62	2.38	Jachówka 2K
<b>Jednostka magurska (Magura Unit)</b>								
Ł, P	50 – 500	1.91	1.18	4.393	2.714	1.62	2.30	Lachowice 3A
Ł, P	28 – 130	2.57	1.49	6.297	3.651	1.73	2.45	Ślemień 1
Ł, P	240 – 1250	4.18	2.65	10.784	6.837	1.58	2.58	Zawoja 1
<b>Łupki pstre (wEps) (Variegated Shales)</b>								
Ł	1490 – 1506	3.39	2.07	8.339	5.092	1.64	2.46	Jachówka 2K
Ł	96 – 368.5	2.81	1.64	6.857	4.002	1.71	2.44	Wieprz 1
Ł	1343 – 1525	4.09	2.49	10.757	6.549	1.64	2.63	Zawoja 1
<b>Formacja innoceramowa (Inoceramian Formation)</b>								
İŁ, P	1506 – 1890	3.51	2.17	8.775	5.425	1.62	2.50	Jachówka 2K
	835 – 1030	Brak danych, <i>No data</i>						Lachowice 3A
<b>Jednostka śląska (JSL) (Silesian Unit)</b>								
Ł, P	1890 – 2240	2.95	1.74	7.169	4.228	1.70	2.43	Jachówka 2K
Ł, P	130 – 2348	4.07	2.36	9.931	5.758	1.72	2.44	Ślemień 1
Ł, P	180 – 425	2.23	1.37	5.865	3.603	1.63	2.39	Wysoka 1



Tabela (Table) 2 cd.

Litologia <i>Lithology</i>	Głębokość <i>Depth</i> [m]	VPEG [km/s]	VSEQ [km/s]	AIP [km/s · kg/m <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup> ]	AIS [km/s · g/cm <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup> ]	Stos. VPEQ/VSEQ <i>Velocity ratio</i>	Gęst. obj. RHEQ [kg/m <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup> ] <i>Bulk density</i>	Nazwa otworu <i>Well name</i>
<b>Formacja Igocka (wDK123) (<i>Lgota Formation</i>)</b>								
Ł, P	1030 – 1700	3.03	1.87	7.272	4.488	1.62	2.40	Lachowice 3A
Ł, P, M	400 – 630	3.49	2.22	8.446	5.372	1.57	2.42	Wysoka 3
Ł, P	1250 – 1343	4.39	2.72	11.370	7.045	1.61	2.59	Zawoja 1
Ł, P	1965 – 2014	4.44	2.80	11.677	7.364	1.58	2.63	Zawoja 1
Ł, P	2164 – 2727	3.84	2.34	10.022	6.107	1.64	2.61	Zawoja 1
<b>Formacja krośnieńska (<i>Krosno Formation</i>)</b>								
Ł, P	1920 – 2610	3.89	2.37	9.803	5.972	1.64	2.52	Chabówka 1
Ł, P	1700 – 2910	3.98	2.20	9.870	5.456	1.81	2.48	Lachowice 3A
<b>Formacja menilitowa (wOm) (<i>Menilite Formation</i>)</b>								
Ł, P	57 – 98	2.95	1.70	3.991	4.029	1.73	2.37	Wieprz 1
Ł, P	2727 – 3217	4.26	2.66	11.033	6.889	1.60	2.59	Zawoja 1
<b>Formacja hieroglifowa (<i>Hieroglyphic Formation</i>)</b>								
PZ, Ł	2610 – 3520	4.62	2.89	12.104	7.572	1.60	2.62	Chabówka 1
<b>Formacja ropianiecka (<i>Ropianka Formation</i>)</b>								
PZ, Ł	3520 – 4520	3.91	2.76	10.244	7.231	1.42	2.62	Chabówka 1
<b>Jednostka podśląska (JPS) (<i>Sub-Silesian Unit</i>)</b>								
Ł, P	318 – 448	3.02	1.85	7.097	4.348	1.63	2.35	Andrychów 3
P	525 – 975	3.46	2.17	8.442	5.295	1.59	2.44	Andrychów 3
P	1312 – 1867	3.17	1.87	7.671	4.525	1.70	2.42	Wiśniowa 6
İŁ	630 – 740	3.65	2.32	8.870	5.638	1.57	2.43	Wysoka 3
<b>Miocen (M) (<i>Miocene</i>)</b>								
İŁ, M, P	975 – 1201	3.60	2.24	8.784	5.466	1.61	2.44	Andrychów 3
Zİ	1201 – 1287	3.71	2.31	9.089	5.659	1.61	2.45	Andrychów 3
P, Ł, Zİ	2240 – 2535	3.75	2.35	9.600	6.016	1.60	2.56	Jachówka 2K
Zİ, P	2535 – 3310	4.51	2.76	11.771	7.204	1.64	2.61	Jachówka 2K
Ł, P, M	2910 – 38 40	3.98	2.43	10.229	6.245	1.64	2.57	Lachowice 3A
M, P	2442 – 2740	4.35	3.68	11.093	9.384	1.18	2.55	Lachowice 7
I, P, M	171.75 – 1044	2.89	1.73	6.994	4.187	1.68	2.42	Roczyny 3
I, P	2348 – 3188	3.89	2.01	10.075	5.206	1.94	2.59	Ślemień 1
I, M, P	368.5 – 1215	3.00	1.81	7.230	4.362	1.65	2.41	Wieprz 1
Zİ, P	50 – 2100	3.79	2.04	9.209	4.957	1.86	2.43	Wiśniowa 4
P, I	2100 – 2325	3.55	2.18	8.733	5.363	1.63	2.46	Wiśniowa 4
I, M, P	1867 – 2052	3.28	1.97	7.905	4.748	1.65	2.41	Wiśniowa 6
P, Zİ	425 – 1051	2.25	1.39	5.400	3.336	1.62	2.40	Wysoka 1
P, Zİ	740 – 1572	3.55	2.20	8.627	5.346	1.61	2.43	Wysoka 3

Tabela (Table) 2 cd.

Litologia <i>Lithology</i>	Głębokość <i>Depth</i> [m]	VPEQ [km/s]	VSEQ [km/s]	AIP [km/s · kg/m <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup> ]	AIS [km/s · g/cm <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup> ]	Stos. VPEQ/VSEQ <i>Velocity ratio</i>	Gęst. obj. RHEQ [kg/m <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup> ] <i>Bulk density</i>	Nazwa otworu <i>Well name</i>
<b>Miocen (M) (<i>Miocene</i>)</b>								
I, M	2014 – 2164	4.87	3.15	12.759	8.253	1.55	2.62 Carpathian	Zawoja 1
I, M, P	3867 – 4825	3.95	2.45	10.073	6.248	1.61	2.6 Carpathian	Zawoja 1
<b>Baden górny (<i>Upper Badenian</i>)</b>								
P, M	1407 – 1949	3.74	2.28	9.761	5.951	1.64	2.61	Dobczyce 6
<b>Kreda górna (K3) (<i>Upper Cretaceous</i>)</b>								
PZ, Ł	1600 – 1920	4.49	2.79	11.360	7.059	1.61	2.53	Chabówka 1
PZ, Ł	4520 – 5110	4.27	2.57	11.187	6.733	1.66	2.62	Chabówka 1
Ł, W	2052 – 2080	5.21	3.07	13.338	7.859	1.70	2.56	Wiśniowa 6
P, Ma	2080 – 2093	5.37	3.09	13.855	7.972	1.74	2.58	Wiśniowa 6
<b>Kreda dolna (K1) (<i>Lower Cretaceous</i>)</b>								
Ł, P	729 – 1312	3.19	1.95	7.752	4.739	1.64	2.43	Wiśniowa 6
Ł, P	3217 – 3867	3.14	1.91	8.101	4.928	1.64	2.58	Zawoja 1
<b>Jura górna (J3) (<i>Upper Jurassic</i>)</b>								
W	1949 – 1980	5.79	2.92	15.517	7.826	1.98	2.68	Dobczyce 6
W, D, I	2325 – 2460	6.13	3.18	16.428	8.522	1.93	2.68	Wiśniowa 4
<b>Jura środkowa (J2) (<i>Middle Jurassic</i>)</b>								
P, I, W	2460 – 2490	4.39	2.81	11.414	7.306	1.56	2.60	Wiśniowa 4
<b>Trias (T) (<i>Triassic</i>)</b>								
P, I, W	2490 – 2561	5.59	3.24	14.702	8.521	1.73	2.63	Wiśniowa 4
Ł, P	4825 – 4858	4.27	2.67	11.059	6.915	1.60	2.59	Zawoja 1
<b>Karbon górny (C2) (<i>Upper Carboniferous</i>)</b>								
P, I, M	1287 – 1512	3.63	2.22	8.894	5.439	1.64	2.45	Andrychów 3
P, I, Wg	3310 – 3548	4.07	2.47	10.216	6.200	1.65	2.51	Jachówka 2K
P, I, Wg	1215 – 1500	3.48	2.12	8.317	5.067	1.64	2.39	Wieprz 1
Ł, M	1572 – 1740	3.14	1.94	7.410	4.578	1.62	2.36	Wysoka 3
P, I, Me	4858 – 5023	4.51	2.83	11.816	7.415	1.59	2.62	Zawoja 1
<b>Karbon dolny (C1) (<i>Lower Carboniferous</i>)</b>								
P, Ł, M	1512 – 1643	3.72	2.29	9.784	6.023	1.62	2.63	Andrychów 3
W, Ma	3548 – 3642	5.36	2.89	14.311	7.716	1.85	2.67	Jachówka 2K
	1044 – 1096						2.70	Roczyny 3
Ł, P	1740 – 1765	5.54	3.02	14.847	8.094	1.83	2.68	Wysoka 3
<b>Dewon górny i środkowy (D2 + D3) (<i>Upper and Middle Devonian</i>)</b>								
W, D	1643 – 2213	5.11	2.65	13.695	7.102	1.93	2.68	Andrychów 3
W (D3)	3642 – 3718	6.17	3.19	16.474	8.517	1.93	2.67	Jachówka 2K

Tabela (Table) 2 cd.

Litologia <i>Lithology</i>	Głębokość <i>Depth</i> [m]	VPEG [km/s]	VSEQ [km/s]	AIP [km/s · kg/m <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup> ]	AIS [km/s · g/cm <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup> ]	Stos. VPEQ/VSEQ <i>Velocity ratio</i>	Gęst. obj. RHIEQ [kg/m <sup>3</sup> · 10 <sup>3</sup> ] <i>Bulk density</i>	Nazwa otworu <i>Well name</i>
<b>Dewon górny i środkowy (D2 + D3) (Upper and Middle Devonian)</b>								
W, D (D3)	3807 – 3862	6.11	3.21	16.436	8.635	1.90	2.69	Jachówka 2K
W, D (D2)	3862 – 3872	6.32	3.31	17.127	8.970	1.91	2.71	Jachówka 2K
W, D (D2)	4015 – 4120	5.94	3.18	16.394	8.777	1.88	2.76	Jachówka 2K
W, D	3840 – 3880	6.09	3.27	16.626	8.920	1.86	2.73	Lachowice 3A
W, D	2740 – 3036	6.15	3.25	16.605	8.775	1.89	2.70	Lachowice 7
W, D	1096 – 1580	6.28	3.15	17.270	8.663	1.98	2.75	Roczyny 3
W, D	1051 – 1330	3.36	1.78	8.870	4.699	1.89	2.64	Wysoka 1
W, D	1330 – 2008	3.84	2.01	10.330	5.407	1.91	2.69	Wysoka 1
<b>Dewon dolny (D1) (Lower Devonian)</b>								
P	2213 – 2258	3.97	2.34	10.163	5.990	1.70	2.56	Andrychów 3
P	3880 – 3900	6.32	3.31	17.064	8.937	1.91	2.70	Lachowice 3A
P	3036 – 3060	4.56	2.55	12.312	6.885	1.79	2.70	Lachowice 7
P, ZL	1580 – 1606	3.95	2.47	9.599	6.002	1.60	2.43	Roczyny 3
P, Ł, M	2008 – 2450	3.78	2.39	9.715	6.142	1.58	2.57	Wysoka 1
P, Ł, M	2023 – 2650	4.91	3.22	12.668	8.308	1.53	2.58	Wysoka 3
<b>Kambr (Cm) (Cambrian)</b>								
P	2258 – 2388	4.63	2.91	11.853	7.450	1.59	2.56	Andrychów 3
P, Ł, ZL	4191 – 4247.25	4.75	2.70	12.018	6.831	1.76	2.53	Jachówka 2K
P, Ł	3900 – 3850	4.38	2.83	11.476	7.415	1.55	2.62	Lachowice 3A
P	3060 – 3098	4.44	2.70	10.834	6.588	1.63	2.44	Lachowice 7
I, M, P	1606.25 – 1790	4.36	2.73	10.726	6.716	1.60	2.46	Roczyny 3
M, P	2208 – 2318	4.68	2.89	12.168	7.514	1.62	2.60	Wiśniowa 6
<b>Prekambr (Pr) (Precambrian)</b>								
P, I	2388 – 2440	4.98	3.17	13.048	8.305	1.57	2.62	Andrychów 3
	3189 – 3300							Ślemień 1
I	3098 – 3135	4.85	3.05	12.756	8.022	1.59	2.63	Lachowice 7
P, I	2318 – 2447	4.84	3.09	12.487	7.972	1.57	2.58	Wiśniowa 6
I	2650 – 2744	4.81	3.07	12.650	8.074	1.57	2.63	Wysoka 3

Objaśnienia litologii (*Lithology explanation*):

P – piaskowce (*Sandstone*)

PZ – piaskowce zailone (*Shaly sandstone*)

Ł – łupki (*Shale*)

M – mułowce (*Mudstone*)

İŁ – ilołupki (*Clay shale, Claystone*)

I – ilowce (*Claystone*)

ZL – zlepieńce (*Conglomerate*)

W – wapienie (*Limestone*)

D – dolomity (*Dolomite*)

Ma – margle (*Marl*)

Wg – węgle (*Coal*)

Zestawiono wyniki z otworów Roczyny 3 – Andrychów 3 – Wieprz 1, z dwóch otworów Wysoka 1 i Wysoka 3, następnie Ślemień 1 – Lachowice 3a – Lachowice 7 – Jachówka 2k oraz z otworów Wiśniowa 1 i Wiśniowa 3 (Tab. 3–6). Pozostałe otwory znajdowały się zbyt daleko od siebie, aby zestawiać wyniki obliczonych parametrów. Na figurach 3A, B i 4A, B przedstawiono wybrane histogramy prędkości fal podłużnych (VPEQ) i gęstości objętościowych (RHEQ) dla różnych jednostek stratygraficznych z otworów Lachowice 3a i Lachowice 7. Można zauważyć charakterystyczną zmianę prędkości i gęstości objętościowych z głębokością występowania poszczególnych serii. Porównując utwory miocenu i dewonu występujące w obu otworach widać pewne podobieństwo w przedziałach zmian, chociaż częstotliwość w poszczególnych klasach jest zdecydowanie różna, co wiąże się z miąższością ww. jednostek stratygraficznych w obu otworach.

**Tabela (Table) 3**

Wartości średnie, minimalne i maksymalne obliczonych parametrów dla otworów Roczyny 3, Andrychów 3 i Wieprz 1

*Mean, minimum and maximum values of calculated parameters for Roczyny 3, Andrychów 3 and Wieprz 1 wells*

Jednostka stratygraficzna <i>Stratigraphic Unit</i>	Nazwy otworów <i>Wells' names</i>									Średnie wartości <i>Average values</i>		
	Roczyny 3			Andrychów 3			Wieprz 1			VPEQ	VSEQ	RHEQ
	VPEQ	VSEQ	RHEQ	VPEQ	VSEQ	RHEQ	VPEQ	VSEQ	RHEQ			
Łupki pstre <i>Variegated shales</i>							2.48 <b>2.81</b> 3.15	1.31 <b>1.64</b> 1.95	2.31 <b>2.44</b> 2.54			
Miocen <i>Miocene</i>	2.10 <b>2.89</b> 4.44	1.28 <b>1.73</b> 3.12	2.18 <b>2.42</b> 2.60	2.83 <b>3.60</b> 4.08	1.75 <b>2.24</b> 2.66	2.24 <b>2.44</b> 2.56	2.51 <b>3.00</b> 3.61	1.39 <b>1.81</b> 2.30	2.08 <b>2.42</b> 2.53	3.16	1.93	2.42
Karbon górny <i>Upper Carboniferous</i>				3.28 <b>3.63</b> 4.12	1.90 <b>2.22</b> 2.60	2.26 <b>2.45</b> 2.52	2.94 <b>3.48</b> 3.86	1.57 <b>2.12</b> 2.47	2.08 <b>2.42</b> 2.53	3.56	2.17	2.45
Karbon dolny <i>Lower Carboniferous</i>	5.64 <b>6.26</b> 6.60	3.10 <b>3.36</b> 3.60	2.60 <b>2.72</b> 2.80	3.31 <b>3.72</b> 5.35	1.93 <b>2.29</b> 2.75	2.36 <b>2.63</b> 2.45				3.79	2.29	2.67
Dewon górny i środk. <i>Upper and Middle Devonian</i>	3.34 <b>6.28</b> 6.84	1.74 <b>3.15</b> 3.74	2.41 <b>2.75</b> 2.84	3.52 <b>5.11</b> 5.92	1.82 <b>2.65</b> 3.10	2.49 <b>2.68</b> 2.82				5.70	2.90	2.72
Dewon dolny <i>Lower Devonian</i>	2.93 <b>3.95</b> 4.43	1.56 <b>2.47</b> 2.88	2.40 <b>2.43</b> 2.54	3.60 <b>3.97</b> 4.55	1.84 <b>2.34</b> 2.72	2.45 <b>2.56</b> 2.62				3.96	2.41	2.50
Kambr <i>Cambrian</i>	3.17 <b>4.36</b> 5.26	1.66 <b>2.73</b> 3.43	2.38 <b>2.53</b> 2.65	3.71 <b>4.63</b> 5.00	2.29 <b>2.91</b> 3.18	2.35 <b>2.56</b> 2.64				4.50	2.82	2.51

Tabela (Table) 4

Wartości średnie, minimalne i maksymalne obliczonych parametrów dla otworów Ślemień 1, Lachowice 3a, Lachowice 7 i Jachówka 2K

Mean, minimum and maximum values of calculated parameters for Ślemień 1, Lachowice 3a, Lachowice 7 and Jachówka 2K wells

Jednostka stratygraficzna <i>Stratigraphic Unit</i>	Nazwy otworów <i>Wells' names</i>												Średnie wartości <i>Average values</i>				
	Ślemień 1			Lachowice 3A			Lachowice 7			Jachówka 2K			VPEQ	VSEQ	RHEQ		
	VPEQ	VSEQ	RHEQ	VPEQ	VSEQ	RHEQ	VPEQ	VSEQ	RHEQ	VPEQ	VSEQ	RHEQ	VPEQ	VSEQ	RHEQ		
Jednostka magurska <i>Magura Unit</i>	2.30 <b>2.57</b> 3.83	1.23 <b>1.49</b> 1.98	2.37 <b>2.45</b> 2.54	1.18 <b>1.91</b> 2.66	0.62 <b>1.18</b> 1.78	2.05 <b>2.29</b> 2.39							2.24	1.34	2.38		
Formacja inoceramowa <i>Inoceranian Formation</i>												3.21 <b>3.49</b> 4.76	1.98 <b>2.14</b> 2.85	2.14 <b>2.49</b> 2.63			
Formacja lgocka <i>Lgota Formation</i>				1.58 <b>3.03</b> 4.39	0.79 <b>1.87</b> 2.83	2.10 <b>2.40</b> 2.52											
Formacja krośnieńska <i>Krosno Formation</i>				2.42 <b>4.40</b> 5.05	1.42 <b>2.80</b> 3.31	2.28 <b>2.48</b> 2.60											
Jednostka śląska <i>Silesian Unit</i>	2.45 <b>4.07</b> 6.31	1.99 <b>2.36</b> 3.38	2.10 <b>2.40</b> 2.71									2.77 <b>2.95</b> 3.06	1.45 <b>1.82</b> 2.05	2.32 <b>2.38</b> 2.47	3.51	2.05	2.44
Flisz nierozdzielony <i>Flysh</i>							2.542 <b>3.776</b> 5.250	1.276 <b>2.314</b> 3.238	2.142 <b>2.446</b> 2.590								

Tabela (Table) 4 cd.

Jednostka stratygraficzna <i>Stratigraphic Unit</i>	Nazwy otworów <i>Wells' names</i>												Średnie wartości <i>Average values</i>		
	Śtemień 1			Lachowice 3A			Lachowice 7			Jachówka 2K			VPEQ	VSEQ	RHEQ
	VPEQ	VSEQ	RHEQ	VPEQ	VSEQ	RHEQ	VPEQ	VSEQ	RHEQ	VPEQ	VSEQ	RHEQ			
Miocen <i>Miocene</i>	2.62 <b>3.89</b> 6.77	1.44 <b>2.01</b> 4.18	2.00 <b>2.59</b> 2.67	1.77 <b>3.99</b> 5.54	0.83 <b>2.55</b> 3.45	2.57 <b>2.33</b> 2.65	3.104 <b>4.804</b> 6.122	1.589 <b>2.933</b> 3.671	2.424 <b>2.577</b> 2.695	3.30 <b>3.39</b> 3.55	2.00 <b>2.07</b> 2.20	2.36 <b>2.47</b> 2.51	3.99	2.62	2.57
Karbon górny <i>Upper Carboniferous</i>															
Karbon dolny <i>Lower Carboniferous</i>															
Dewon górny i środkowy <i>Upper and Middle Devonian</i>				4.22 <b>6.15</b> 6.73	2.26 <b>3.30</b> 3.68	2.51 <b>2.74</b> 2.85	3.302 <b>6.003</b> 6.806	1.710 <b>3.113</b> 3.715	2.361 <b>2.700</b> 2.846	6.12 <b>6.12</b> 6.86	2.11 <b>3.25</b> 3.76	2.60 <b>2.70</b> 2.88	6.12	3.26	2.71
Dewon dolny <i>Lower Devonian</i>				3.79 <b>4.77</b> 6.31	2.37 <b>3.01</b> 3.55	2.50 <b>2.64</b> 2.82							5.44	2.93	2.70
Kambr <i>Cambrian</i>				3.99 <b>4.40</b> 4.70	2.55 <b>2.84</b> 3.01	2.58 <b>2.62</b> 2.65	4.055 <b>4.479</b> 5.567	2.470 <b>2.713</b> 3.223	2.378 <b>2.451</b> 2.750	2.31 <b>4.75</b> 5.64	1.99 <b>2.70</b> 3.54	2.46 <b>2.53</b> 2.63	4.52	2.74	2.53

**Tabela (Table) 5**

Wartości średnie, minimalne i maksymalne obliczonych parametrów  
dla otworów Wiśniowa 4 i Wiśniowa 6

*Mean, minimum and maximum values of calculated parameters for Wiśniowa 4  
and Wiśniowa 6 wells*

Jednostka stratygraficzna <i>Stratigraphic Unit</i>	Nazwy otworów <i>Wells' names</i>						Średnie wartości <i>Average values</i>		
	Wiśniowa 4			Wiśniowa 6			VPEQ	VSEQ	RHEQ
	VPEQ	VSEQ	RHEQ	VPEQ	VSEQ	RHEQ			
Formacja istebniańska <i>Istebna Formation</i>				2.35 <b>3.11</b> 3.69	1.10 <b>1.87</b> 2.35	2.30 <b>2.43</b> 2.51			
Formacja godulska <i>Godula Formation</i>				2.07 <b>2.66</b> 3.08	0.89 <b>1.48</b> 1.85	2.43 <b>2.46</b> 2.48			
Jedn. podśląska <i>Sub-Silesian Unit</i>				2.58 <b>3.19</b> 3.82	1.45 <b>1.95</b> 2.46	2.27 <b>2.42</b> 2.52			
Miocen <i>Miocene</i>	3.02 <b>3.55</b> 3.95	1.72 <b>2.18</b> 2.49	2.31 <b>2.46</b> 2.52	2.39 <b>3.17</b> 4.29	1.10 <b>1.87</b> 2.33	2.20 <b>2.41</b> 2.50	3.36	2.03	2.44
Kreda górna <i>Upper Cretaceous</i>				4.57 <b>5.21</b> 6.08	2.75 <b>3.07</b> 3.20	2.43 <b>2.57</b> 2.67			
Kreda dolna <i>Upper Cretaceous</i>				2.09 <b>3.19</b> 3.78	1.66 <b>1.95</b> 2.34	2.29 <b>2.43</b> 2.55			
Jura górna <i>Upper Jurassic</i>	3.93 <b>6.14</b> 6.52	2.47 <b>3.18</b> 3.49	2.48 <b>2.68</b> 2.78						
Jura środkowa <i>Middle Jurassic</i>	3.64 <b>4.38</b> 5.09	2.24 <b>2.81</b> 3.36	2.41 <b>2.60</b> 2.65						
Trias <i>Triassic</i>	4.04 <b>5.59</b> 6.17	2.36 <b>3.24</b> 3.47	2.52 <b>2.65</b> 2.68						
Kambr <i>Cambrian</i>				4.09 <b>4.68</b> 5.84	2.56 <b>2.89</b> 3.50	2.42 <b>2.60</b> 2.70			
Prekambr <i>Precambrian</i>				4.31 <b>4.84</b> 5.28	2.62 <b>3.09</b> 3.44	2.52 <b>2.58</b> 2.62			

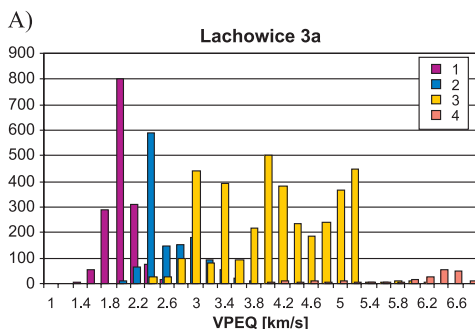
**Tabela (Table) 6**

Zestawione wartości średnie, minimalne i maksymalne obliczonych parametrów dla otworów Wysoka 1 i Wysoka 3

*Mean, minimum and maximum values of calculated parameters for Wysoka 1 and Wysoka 3 wells*

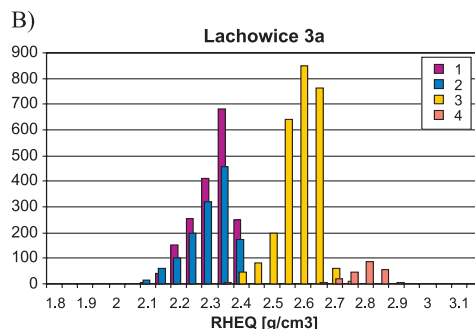
Jednostka stratygraficzna <i>Stratigraphic Unit</i>	Nazwy otworów <i>Wells' names</i>						Średnie wartości <i>Average values</i>		
	Wysoka 1			Wysoka 3			VPEQ	VSEQ	RHEQ
	VPEQ	VSEQ	RHEQ	VPEQ	VSEQ	RHEQ			
Formacja istebniańska <i>Istebna Formation</i>				2.46 <b>3.40</b> 4.82	1.41 <b>2.06</b> 3.09	2.18 <b>2.43</b> 2.52			
Formacja godulska <i>Godula Formation</i>				2.69 <b>3.08</b> 3.41	1.55 <b>1.91</b> 2.20	2.29 <b>2.42</b> 2.51			
Jednostka śląska <i>Silesian Unit</i>	1.38 <b>2.23</b> 2.74	0.64 <b>1.37</b> 1.80	2.07 <b>2.39</b> 2.48	2.85 <b>3.49</b> 4.02	1.84 <b>2.22</b> 2.65	2.21 <b>2.42</b> 2.53	2.86	1.79	2.41
Jedn. podśląska <i>Sub-Silesian Unit</i>				3.07 <b>3.65</b> 4.30	1.85 <b>2.32</b> 2.82	2.31 <b>2.43</b> 2.51			
Miocen <i>Miocene</i>	1.84 <b>2.25</b> 2.59	1.05 <b>1.39</b> 1.68	2.24 <b>2.40</b> 2.50	2.46 <b>3.55</b> 4.87	1.32 <b>2.20</b> 2.71	2.15 <b>2.43</b> 2.54	2.90	1.79	2.42
Karbon górny <i>Upper Carboniferous</i>				2.30 <b>3.14</b> 5.17	1.37 <b>1.94</b> 2.67	2.12 <b>2.36</b> 2.60			
Karbon dolny <i>Lower Carboniferous</i>				4.24 <b>5.54</b> 6.12	2.32 <b>3.02</b> 3.30	2.38 <b>2.60</b> 2.67			
Dewon górny i środk. <i>Upper and Middle Devonian</i>	2.18 <b>3.55</b> 4.33	1.34 <b>1.89</b> 2.79	2.40 <b>2.65</b> 2.70						
Dewon dolny <i>Lower Devonian</i>	2.61 <b>3.78</b> 5.17	1.34 <b>2.39</b> 2.75	2.34 <b>2.57</b> 2.84	3.70 <b>4.91</b> 6.20	2.23 <b>3.22</b> 3.29	2.33 <b>2.58</b> 2.79	4.35	2.81	2.57
Prekambr <i>Precambrian</i>				4.16 <b>4.81</b> 5.21	2.64 <b>3.07</b> 3.32	2.44 <b>2.63</b> 2.67			





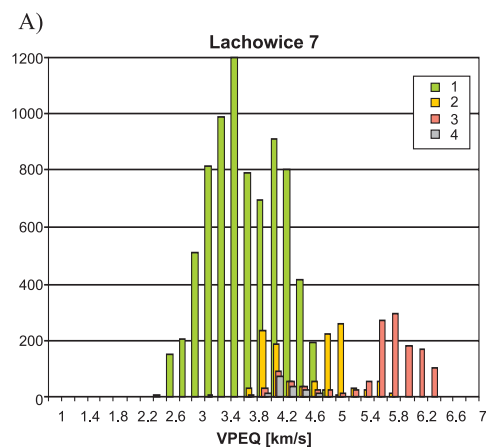
**Fig. 3A.** Histogram częstotliwościowy estymowanych prędkości VPEQ dla wybranych serii z otworu Lachowice 3a: 1) formacji magurskiej, 2) pstrego eocenu, 3) utworów miocenu, 4) utworów dewonu (D1, D2+D3)

**Fig. 3A.** Frequency histograms for velocity of P-wave for selected stratigraphic series for the Lachowice 3a well: 1) Magura formation, 2) Variegated shales, 3) Miocene deposits, 4) Devonian deposits (D1, D2+D3)



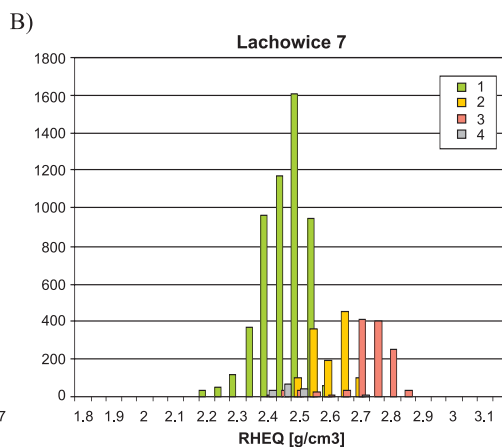
**Fig. 3B.** Histogram częstotliwościowy estymowanych gęstości objętościowych dla wybranych serii z otworu Lachowice 3a: 1) formacji magurskiej, 2) pstrego eocenu, 3) utworów miocenu, 4) utworów dewonu (D1, D2+D3)

**Fig. 3B.** Frequency histograms for bulk density for selected stratigraphic series for the Lachowice 3a well: 1) Magura formation, 2) Variegated shales, 3) Miocene deposits, 4) Devonian deposits (D1, D2+D3)



**Fig. 4A.** Histogram częstotliwościowy estymowanych prędkości VPEQ dla wybranych serii z otworu Lachowice 7: 1) fliszu karpackiego, 2) utworów miocenu, 3) utworów dewonu (D1, D2+D3), 4) utworów kambru

**Fig. 4A.** Frequency histogram for velocity of P-wave for selected stratigraphic series for the Lachowice 7 well: 1) Carpathian Flysch, 2) Miocene deposits, 3) Devonian deposits (D1, D2+D3), 4) Cambrian deposits



**Fig. 4B.** Histogram częstotliwościowy estymowanych gęstości objętościowych dla wybranych serii z otworu Lachowice 7: 1) fliszu karpackiego, 2) utworów miocenu, 3) utworów dewonu (D1, D2+D3), 4) utworów kambru

**Fig. 4B.** Frequency histograms for bulk density for selected stratigraphic series for the Lachowice 7 well: 1) Carpathian Flysch, 2) Miocene deposits, 3) Devonian deposits (D1, D2+D3), 4) Cambrian deposits



Wyniki zintegrowanej interpretacji, wykonanej na podstawie danych geofizyki otworowej i programu *Estymacja*, wykorzystane do określenia modelu prędkościowego i gęstości objętościowych, zestawiono w wybranych interwałach głębokościowych dla otworów Roczyny 3 i Andrychów 3 (Fig. 5) oraz Lachowice 3a i 7 (Fig. 6). Pierwsze dwa otwory leżą wzdłuż profilu sejsmicznego 67 890 rozciągającego się w kierunku SW-NE, natomiast dwa pozostałe usytuowane są na profilach 71 87K (Lachowice 3a) i 561 89K (Lachowice 7). Na obu figurach przedstawiono w następującej kolejności: zmiany litologii i porowatości oraz granice stratygraficzne (wg Kułaga *et al.* 2005, Zacharski *et al.* 2006), obliczone krzywe prędkości fali podłużnej (VPEQ) i poprzecznej (VSEQ) oraz obliczone krzywe gęstości objętościowych (RHEQ). Zestawienie wyników pozwala na prześledzenie znacznych zmian litofacjalnych w sąsiednich otworach oddalonych od siebie o około 4.1 km (Roczyny 3 i Andrychów 3) i nieco dalej (około 5.7 km) w przypadku Lachowic 3a i 7. Kompleksy węglanowe dewonu zaznaczają się silnym wzrostem estymowanych prędkości VPEQ i VSEQ oraz gęstości objętościowych RHEQ, w odróżnieniu od utworów klastycznych, charakteryzujących się niższymi wartościami tych parametrów. Zaznaczające się niejednorodności w profilu litologicznym mają swoje odzwierciedlenie w zmianach parametrów sprężystych i gęstości objętościowych. Na podstawie wyraźnych zmian w profilowaniach geofizyki otworowej Moryc (2005) wydzieliła w osadach miocenu w otworze Lachowice 3a serię od głębokości 3657 m do 3840 m identyfikując ją jako formację z Sucheja, która nie zaznacza się w otworze Lachowice 7. Z kolei w tym otworze w miocenie można zaobserwować domieszki skał węglanowych, co może być związane z osadzaniem się tych utworów bezpośrednio na skałach dewońskich (Moryc 2005).

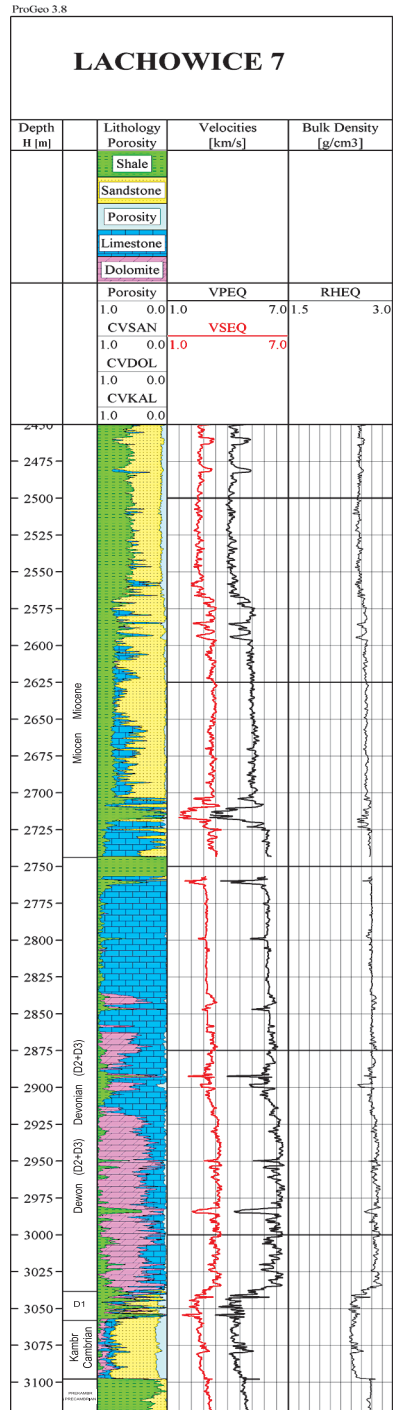
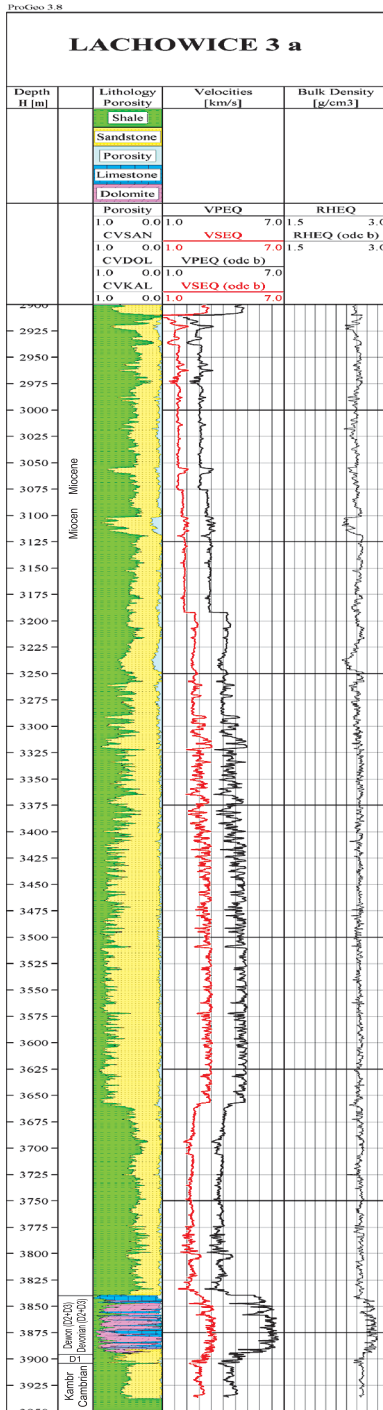
## PODSUMOWANIE

1. Obliczono prędkości i czasy interwałowe fal podłużnych (VPEQ) i poprzecznych (VSEQ) oraz gęstości objętościowych (RHEQ) przy użyciu programu komputerowego *Estymacja* na bazie teoretycznych relacji Biota–Gassmanna, wykorzystując wyniki interpretacji danych geofizyki otworowej w 14 otworach leżących w rejonie Karpat Zachodnich.
2. Porównanie obliczonych (estymowanych) czasów DPEQ z zarejestrowanymi sondą akustyczną DT(PA) pozwoliło na odpowiednie określenie wartości „szkieletowych” dla poszczególnych składników mineralnych, w ten sposób, aby błąd estymacji był zminimalizowany. Wartości te zostały wykorzystane przy obliczeniach parametrów sprężystych w otworach, w których nie dysponowano profilowaniami akustycznymi (brak pomiarów lub duże błędy rejestracji).
3. Obliczone prędkości fal P i S oraz gęstości objętościowych pozwoliły na określenie modelu zmienności ww. parametrów w rejonie występowania interpretowanych otworów.

---

**Fig. 5.** Wyniki zintegrowanej interpretacji wykonanej na podstawie danych geofizyki otworowej i programu *Estymacja*, zestawione w wybranych interwałach głębokościowych dla dwóch otworów Roczyny 3 i Andrychów 3

**Fig. 5.** Results of integrated interpretation made of on the basis of well logging data and computer program *Estymacja*, set together in selected depth intervals from two wells Roczyny 3 i Andrychów 3



*Praca została wykonana w czasie realizacji projektu badawczego nr 4 T12 B 025 28 Ministerstwa Nauki i Informatyzacji pt. „Nowe aspekty interpretacji wyników pomiarów geofizycznych dla weryfikacji możliwości poszukiwania węglowodorów w Karpatach Zachodnich”.*

## LITERATURA

- Bała M., Cichy A., Jarzyna J. & Such P., 2003. *Modelowanie prędkości propagacji i tłumienia fal podłużnych i poprzecznych w skałach porowatych w powiązaniu z otworowymi badaniami geofizycznymi*. Projekt badawczy KBN nr 8 T12B046 20, (Archiwum Pracowni Geofizyki Otworowej Zakładu Geofizyki Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH).
- Bała M. & Cichy A., 2003. Estymacja prędkości fal podłużnych i poprzecznych przy wykorzystaniu modeli teoretycznych oraz danych geofizyki wiertniczej. *Przegląd Geologiczny*, 51, 12, 1058–1063.
- Bała M. & Cichy A., 2006. *Metody obliczania prędkości fal P i S na podstawie modeli teoretycznych i danych geofizyki otworowej – program Estymacja*. Monografia. Wydawnictwo AGH, 89.
- Jarzyna J., Bała M., Cichy A., Karczewski J., Marzencki K., Zorski T., Gądek W., Stadtmüller M., Twaróg W. & Gąsior I., 2002. *Przetwarzanie i interpretacja profilowań geofizyki wiertniczej system GeoWin*. ARBOR, 1–136, Kraków.
- Kuługa T., Nowak J., Pasek P. & Skucińska M., 2005. *Opracowanie wyników oznaczeń laboratoryjnych próbek rdzenia, danych stratygraficznych i pomiarów geofizyki otworowej oraz ich ilościowa interpretacja dla wybranych odwiertów Karpat Zachodnich*. Zlec. WGGiOŚ/zgf/255/2005. Archiwum Zakładu Geofizyki WGGiOŚ AGH.
- Moryc W., 2005. Rozwój badań utworów miocenu w Karpatach Zachodnich na obszarze Bielsko – Kraków. *Kwartalnik AGH Geologia*, 31, 1, 5–73.
- Zacharski J., Nowak J. & Skucińska M., 2006. *Prace interpretacyjne w wybranych otworach w rejonie Karpat Zachodnich*. Zlec. WGGiOŚ/zgf/158/2006, Archiwum Zakładu Geofizyki WGGiOŚ AGH.

---

**Fig. 6.** Wyniki zintegrowanej interpretacji wykonanej na podstawie danych geofizyki otworowej i programu *Estymacja*, zestawione w wybranych interwałach głębokościowych dla otworów Lachowice 3a i 7

**Fig. 6.** Results of integrated interpretation made of on the basis of well logging data and computer program *Estymacja*, set together in selected depth intervals from wells Lachowice 3a and 7

## Summary

The paper presents results of calculation of the following elastic parameters: compressional wave velocity (VPEQ), shear wave velocity (VSEQ), velocity ratio VPEQ/VSEQ, acoustic impedances for either wave (AIPEQ, AISEQ), and bulk density (RHEQ). Elastic parameters were calculated for different lithostratigraphic series from fourteen selected boreholes for which results of the quantitative interpretation of well logs were available. Figure 1 presents the position of studied boreholes against the background of seismic profiles while Table 1 contains depth intervals for each borehole used to calculate the elastic parameters.

To calculate the elastic parameters the authors used the *Estymacja* computer program [Bała & Cichy 2003] and employed the theoretical Biot–Gassmann model, which describes relationships between elastic parameters and reservoir parameters of rock in porous media. An example of results of calculated elastic parameters is shown in the internal graphics of the *Estymacja* program in figure 2. Those calculations were made for carbonate rocks of Middle Devonian in the Lachowice 7 well for a depth interval of 2891.0–3036.0 m. Path 1 shows the depth while paths 2 and 3 present measured (black curve) and calculated (red curve) interval times [ $\mu\text{s}/\text{m}$ ] for P-wave and S-wave. Paths 4, 5, 6 and 7 show curves of neutron log in porosity units (a fraction), measured bulk density (black curve), calculated bulk density [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ] (red curve), caliper [mm], and gamma log [API]. Path 8 shows an estimation error [%], the successive path – lithology and porosity, and the last one – calculated Young modulus [GPa]. The estimation error does not exceed 7.5 percent for selected depth interval.

Averaged values of estimated velocities VPEQ and VSEQ, VPEQ/VSEQ ratio, acoustic impedances (AIPEQ, AISEQ), and bulk densities RHEQ are given in Table 2 for each stratigraphic units together with lithology description. Those values were used to create a generalized set of parameters for groups of nearest wells or boreholes situated at the same profile. However, due to great variability of rocks belonging to different lithostratigraphic units, only the results from the nearest wells were compared (Tables 3–6).

The characteristics of VPEQ and RHEQ variability was performed for selected wells and stratigraphic series and shown as histograms in Figs 3a, b and 4a, b, one can observe a great variability of studied parameters, even for the same series and the same lithology.

Results of integrated interpretation from Roczyny 3, Andrychów 3, Lachowice 3a, Lachowice 7 wells are given in Figs 5, 6. From left, the figure shows a depth scale and interpreted lithology and porosity, then estimated VPEQ and VSEQ curves and bulk densities RHEQ.

Results of estimated elastic parameters and bulk densities, presented in this paper, characterize a rock model with much varied lithostratigraphy.