

WYBRANE ASPEKTY SKALOWANIA PROFILOWAŃ GEOFIZYKI OTWOROWEJ NA POTRZEBY SEJSMIKI

Scaling of well log data for velocity models in seismics

Jadwiga JARZYNA, Maria BAŁA, Paulina KRAKOWSKA
& Kamila WAWRZYŃIAK-GUZ

*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Geofizyki; al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: jarzyna@agh.edu.pl,
bala@geol.agh.edu.pl, paulina.krakowska@gmail.com, wawrzyniak@geol.agh.edu.pl*

Treść: Przedstawiono wyniki matematycznych operacji filtracji i interpolacji dla dynamicznych parametrów sprężystych: czasów interwałowych fal P i S, modułu Younga i współczynnika Poissona. Parametry uzyskano w wyniku interpretacji akustycznych obrazów falowych z użyciem aplikacji FalaFWS w systemie GeoWin i na podstawie obliczeń z użyciem programu Estymacja. Przedmiotem analizy były wyniki odnoszące się do zróżnicowanych formacji litostratygraficznych w profilach kilku otworów na Niżu Polskim w interwale od powierzchni terenu do ponad pięciu kilometrów głębokości. Wykonane działania miały na celu skalowanie danych geofizyki otworowej, o wysokiej pionowej rozdzielczości, na potrzeby sejsmiki. Przedstawiono średnie wartości parametrów sprężystych jednostek wydzielonych w interpretacji geologicznej. Do analizy włączono także obliczenie współczynnika droboci Q , będącego miarą dyspersji energii fal sprężystych w ośrodku skalnym.

Słowa kluczowe: geofizyka otworowa, profilowania, sejsmiki, prędkość i tłumienie fal sprężystych, pionowa rozdzielczość, skalowanie wyników geofizyki otworowej i sejsmiki

Abstract: The results from the mathematical operations of filtration and interpolation are presented for dynamic elastic parameters such as P-wave slowness and S-wave slowness, Young modulus and Poisson ratio. The parameters were obtained by interpreting acoustic full waveforms using FalaFWS application of GeoWin system and based on calculations using the Estymacja program. The subject of the analysis were the results obtained from various lithostratigraphic formations in several Polish Lowland's borehole profiles sampled from surface to a depth of more than 5 km. The goal was to scale well log data of a high vertical resolution for seismic purposes. Average values of the elastic parameters were presented for units derived out of geological interpretation. The analysis also included calculation of the Q parameter, which is a measure of energy dispersion of elastic waves in a rock formation.

Key words: well logging, logs, seismics, velocity and attenuation of elastic waves, vertical resolution, scaling of well logging and seismic results

WPROWADZENIE

Profilowanie akustyczne (PA) w otworze wykorzystuje te same fizyczne własności skał i to samo pole fal sprężystych co metoda sejsmiczna z wyraźnym zróżnicowaniem pod względem częstotliwości i warunków wykonywania pomiarów. Obie metody, dzięki różnym częstotliwościom (15–20 kHz przy PA i 30–60 Hz w badaniach sejsmicznych), wyraźnie różnią się pionową rozdzielczością (Boyer & Mari 1997).

Zastosowano filtry i uśrednienia, dostępne w aplikacjach FalaFWS i Funmat w systemie GeoWin (Jarzyna *et al.* 2007, Górecki *et al.* 2010), do skalowania wyników interpretacji profilowań geofizyki otworowej na potrzeby sejsmiki.

Prędkość fal sprężystych, podłużnych i poprzecznych, a także fali Stoneleya w przedziale ww. częstotliwości nie wykazuje wyraźnej dyspersji. Jednak, zgodnie z równaniem Akiego i Richardsa (1980), warto wprowadzić korektę obniżającą prędkość fali akustycznej w porównaniu z prędkością fali sejsmicznej ze względu na częstotliwość i współczynnik Q .

Akustyczne obrazy falowe są materiałem pomiarowym do wyznaczenia współczynnika dobroci na podstawie badania stosunku amplitud w dziedzinie czasu lub lepiej – widm amplitudowych w dziedzinie częstotliwości (Cheng 1989). Aplikacja FalaFWS w systemie GeoWin pozwala na prowadzenie analizy widm amplitudowych sygnałów zarejestrowanych poszczególnymi odbiornikami, dostarczając materiał do wyznaczenia współczynnika dobroci Q . Współczynnik ten jest jedną z miar tłumienia fal sprężystych w rzeczywistych ośrodkach skalnych.

W analizowanych pomiarach akustycznych obrazów falowych spotkano wiele przykładów trudnych do wyjaśnienia wykresów amplitudy drgań fal sprężystych w funkcji czasu i równie trudnych do wyjaśnienia przykładów widm amplitudowych. Jednak wybrano odpowiednią ilość materiału pomiarowego do wykonania obliczeń współczynnika Q w formacjach litostratygraficznych wydzielonych w otworach występujących na obszarze badań.

Badania wykonano w otworach znajdujących się w pobliżu profilu sejsmicznego planowanego do wykonania w ramach projektu *Poprawa efektywności badań sejsmicznych w poszukiwaniach i rozpoznawaniu złóż gazu ziemnego w utworach czerwonego spągowca* (Górecki *et al.* 2010). Profil ten przebiega w pobliżu otworów, w których dostępne były akustyczne obrazy falowe.

UŚREDNIANIE WARTOŚCI PARAMETRÓW SPRĘŻYSTYCH WYZNACZONYCH NA PODSTAWIE AKUSTYCZNYCH OBRAZÓW FALOWYCH

Test uśredniania zilustrowano na przykładzie danych z górnego odcinka (350.2–1891.4 m) otworu Środa Wielkopolska 4 (Śr.Wielk.4). W odcinku tym przewiercone zostały utwory okresów jury i triasu (Tab. 1).

Tabela (Table) 1

Stratygrafia i litologia utworów przewierconych w górnym odcinku w otworze Śr.Wielk.4

Stratigraphy and lithology of formations pierced in the upper section of Śr.Wielk.4 well

Nazwa okresu <i>Stratigraphy</i>	Symbol Code	Głębokość stropu [m] <i>Depth of the top</i>	Głębokość spagu [m] <i>Depth of the bottom</i>	Litologia <i>Lithology</i>
kimeryd <i>Kimmeridgian</i>	Jkm	150	461	margle, wapienie margliste, iłowce wapniste <i>marls, marly limestones, calcareous claystones</i>
oksford <i>Oxfordian</i>	Jo	461	599	wapienie, margle, iłowce wapniste <i>limestones, marls, calcareous claystones</i>
jura środkowa dogger <i>Middle Jurassic Dogger</i>	J2	599	706	iłowce wapniste, iłolupki, wapienie, mułowce, piaskowce <i>calcareous claystones, shaly clays, limestones, mudstones, sandstones</i>
jura dolna – lias <i>Lower Jurassic – Lias</i>	J1	706	1072	piaskowce drobnoziarniste, mułowce, iłolupki <i>fine-grained sandstones, mudstones, shaly clays</i>
retyk <i>Rhaetian</i>	Tre	1072	1474	iłowce wapniste, mułowce, piaskowce różnoziarniste <i>calcareous claystones, mudstones, diverse-grained sandstones</i>
kajper górny <i>Upper Keuper</i>	Tk3G	1474	1687	górną serią gipsową: iłowce wapniste, mułowce, gipsy, anhydryty <i>Upper Gypsum Series: calcareous claystones, mudstones, gypsum, anhydrites</i>
kajper górny <i>Upper Keuper</i>	Tk3T	1687	1731	piaskowiec trzcinyowy: iłowce wapniste, mułowce, piaskowce, gipsy, anhydryty <i>Reed Sandstone: calcareous claystones, mudstones, sandstones, gypsum, anhydrites</i>
kajper górny <i>Upper Keuper</i>	Tk3D	1731	1907	dolną serią gipsową: iłowce, mułowce, sole <i>Lower Gypsum Series: claystones, mudstones, salts</i>

Akustyczne obrazy falowe, będące wynikami pomiarów sondą FWS, dostarczone z krokiem głębokościowym 0.1 m. Interpretację z wykorzystaniem programu FalaFWS w systemie GeoWin wykonano także z krokiem 0.1 m. Zatem uzyskano duży zbiór wyników w postaci czasów interwałowych fal P i S oraz dynamicznych parametrów sprężystych – modułu Younga EE, współczynnika sprężystości objętości KK i postaci MI oraz współczynnika Poissona NI z krokiem głębokościowym 0.1 m. Uzyskane wyniki były obciążone wpływem warunków rejestracji i niestabilnego zachowania się sondy FWS. Stwierdzenie to nie umniejsza wysiłków pracowników firm serwisowych, które dostarczają surowych danych z pomiaru sondą FWS. Wyjaśnia natomiast, dlaczego obrazy falowe zarejestrowane kolejnymi odbiornikami (znajdującymi się między sobą w odległości 1 stopy w sondzie), przy pomiarze z krokiem głębokościowym 0.1 m, często bardzo różnią się między sobą, a także różnią się w warunkach rejestracji tym samym odbiornikiem przy przejściu kolejnego punktu głębokościowego na następny punkt, chociaż ośrodek nie jest cienkowarstwowy.

Informacja o parametrach sprężystych, otrzymywana w wyniku prowadzenia pomiaru geofizyki otworowej na potrzeby sejsmiki, nie musi być przedstawiona tak dokładnie (z krokiem głębokościowym 0.1 m). Zatem wykonano uśrednienie informacji. Uzyskano zniwelowanie pojedynczych, nieuzasadnionych geologicznie anomalii (artefaktów) oraz uzyskano mniejsze zbiory danych, łatwiejsze do dalszego opracowania (np. zredukowano 25-krotnie zbiór liczący 15 450 punktów w interwale o głębokości 150–1907 m). Aplikacja FalaFWS w programie GeoWin pozwala na uśrednienie wyniku bezpośrednio po wykonaniu automatycznej interpretacji surowych danych. Wykonano taką filtrację, obliczając średnią krocząca dla 11 punktów (na odcinku 1 m) i dla 25 punktów (na odcinku 2.5 m). Wyniki przedstawiono na figurze 1 w postaci uśrednionego czasu interwałowego fali P (DTPsr se uśred 11p). Wartość podstawowa (DTPsr se krok 0.1 m), obliczona jest jako średnia arytmetyczna z wyników uzyskanych przy interpretacji sześciu par akustycznych obrazów falowych przez obliczanie funkcji semblance w programie FalaFWS. Wartość DTPsr se uśred 11p jest wynikiem uśrednienia 11-punktowego w aplikacji FalaFWS. Czas interwałowy fali S jest obliczony jako minimalny z sześciu wyników uzyskanych przez obliczanie funkcji semblance w programie FalaFWS (DTSmin se) (Jarzyna *et al.* 2011). Uśrednienie nie powoduje straty informacji, jedynie filtrację (wygładzenie danych). Wyniki uzyskane w aplikacji FalaFWS zostały poddane interpolacji z wykorzystaniem aplikacji Funmat w systemie GeoWin z krokiem głębokościowym 2.5 m. Na figurze 2 przedstawiono wykresy zmian czasów interwałowych fal P i S w funkcji głębokości dla wartości uśrednionych w aplikacji FalaFWS i interpolowanych w aplikacji Funmat.

Relacje między parametrami sprężystymi uśrednionymi w aplikacji FalaFWS i interpolowanymi w aplikacji Funmat przedstawiono na figurach 3–5. Uśrednienie w aplikacji FalaFWS jest skutkiem zastosowania średniej kroczącej z wybraną liczbą punktów. Interpolacja w aplikacji Funmat pozwala zastąpić 25 danych uzyskanych z programu FalaFWS z krokiem 0.1 m przez jedną wartość. Dzięki temu ilość danych zmniejsza się w sposób zasadniczy.

Zależność między czasami interwałowymi fali P uzyskanymi po obu filtracjach jest bardzo dobra, współczynnik determinacji wynosi 0.93 (Fig. 3). Wynik ten uzasadnia zastosowanie interpolacji do uśrednionych wyników aplikacji FalaFWS. Zależności dla czasu interwałowego fali S i współczynnika Poissona po obu filtracjach nie mają tak wysokich współczynników determinacji (odpowiednio 0.68 i 0.65) (Fig. 4, 5), ale te wyniki nie są skutkiem filtracji, a przyczyn bezpośrednich, związanych z jakością rejestrowanych akustycznych obrazów falowych.

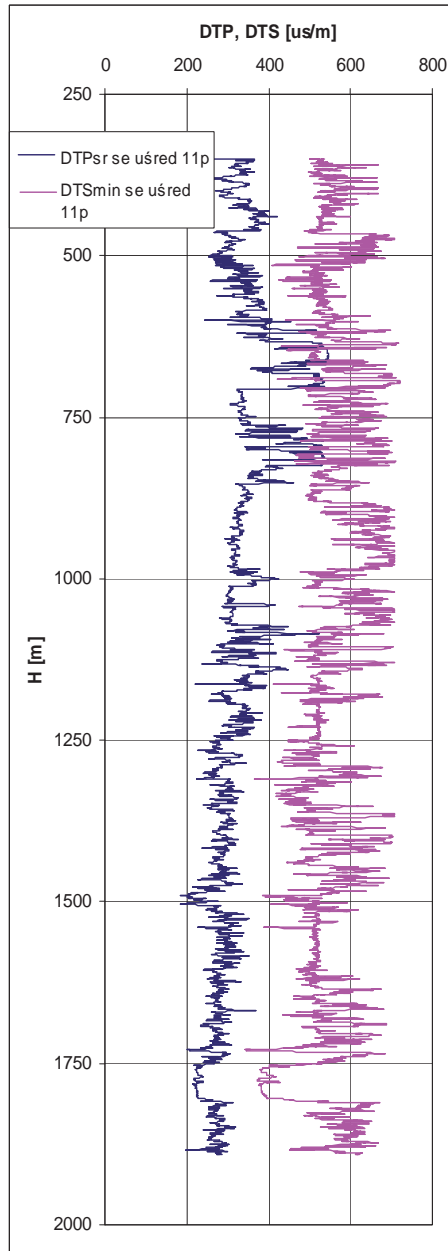


Fig. 1. Czasy interwałowe fali P i S w otworze Śr.Wielk.4 w górnym odcinku, wynik interpretacji w aplikacji FalaFWS z krokiem 0.1 m, uśrednienie 11-punktowe

Fig. 1. P-wave slowness and S-wave slowness in Śr.Wielk.4 well in the upper depth section, interpretation result in FalaFWS application, depth step = 0.1 m, result of 11-points averaging

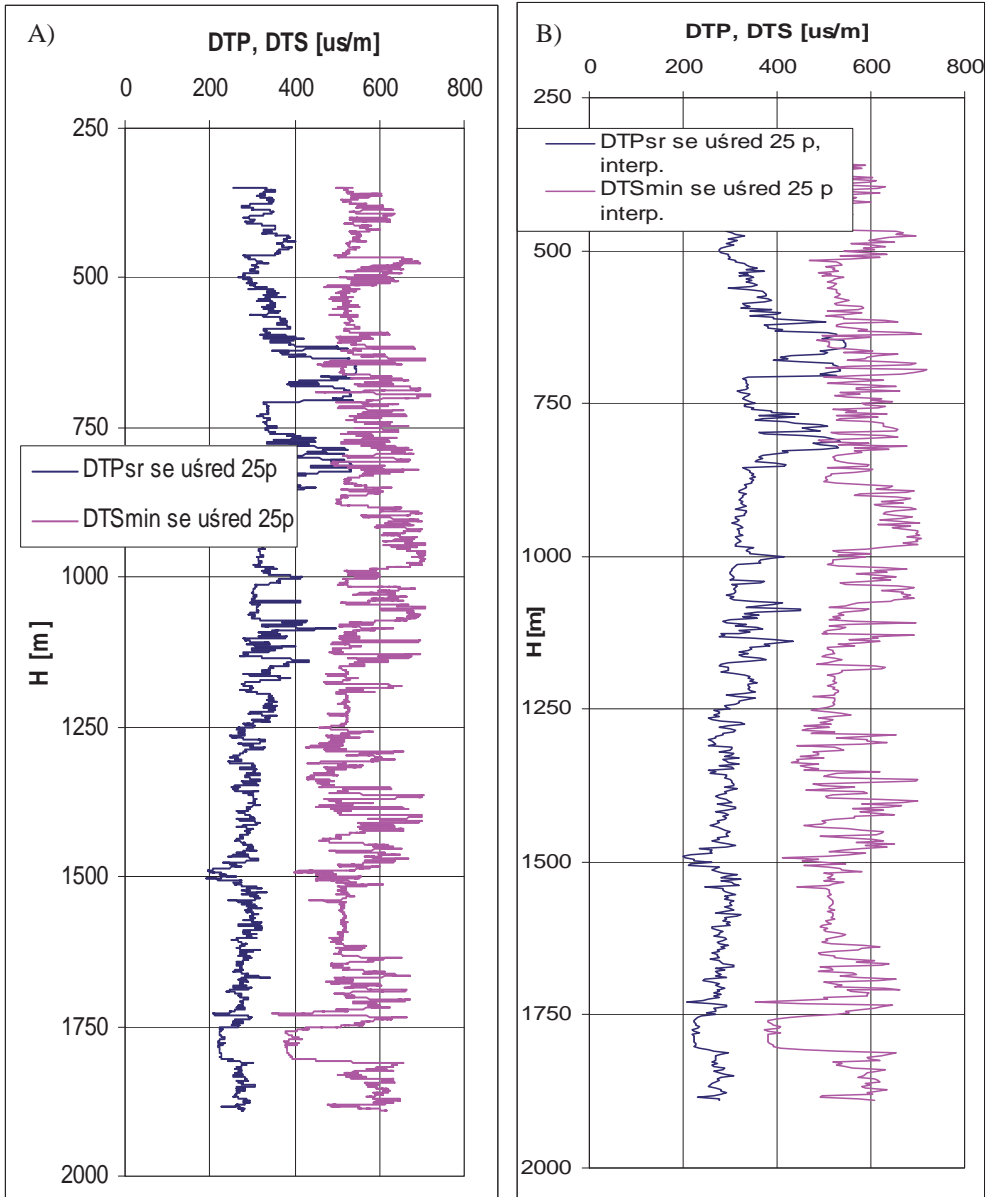


Fig. 2. Wyniki uśrednienia i interpolacji czasów interwałowych fali P i S w otworze Śr.Wielk.4: A) uśrednienie 25-punktowe w programie FalaFWS; B) wynik interpolacji z krokiem 2.5 m w programie Funmat

Fig. 2. Averaging and interpolation results of P-wave slowness and S-wave slowness in Śr.Wielk.4 well: A) 25-points averaging in FalaFWS application; B) interpolation result of 2.5 m depth step in Funmat application

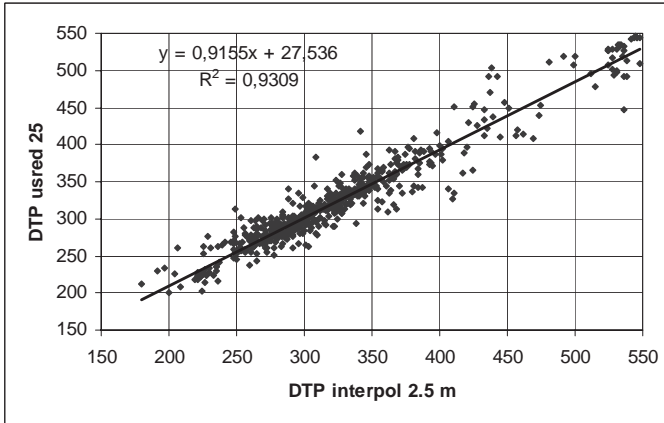


Fig. 3. Wartości czasów interwałowych fali P po interpolacji z krokiem 2.5 m w aplikacji Funmat dla danych uzyskanych w aplikacji FalaFWS z krokiem 0.1 m oraz wartości czasów DTP po zastosowaniu interpolacji z krokiem 2.5 m w aplikacji Funmat dla danych uśrednionych średnią krocząca 25-punktową w aplikacji FalaFWS; otwór Śr.Wielk.4, odcinek górny

Fig. 3. P-wave slowness after interpolation of 2.5 m depth step in Funmat application for data from FalaFWS application of 0.1 m depth step vs. P-wave slowness after interpolation of 2.5 m depth step in Funmat application for the results of FalaFWS application of 2.5 m depth step filtering FalaFWS; Śr.Wielk.4 well, upper depth section

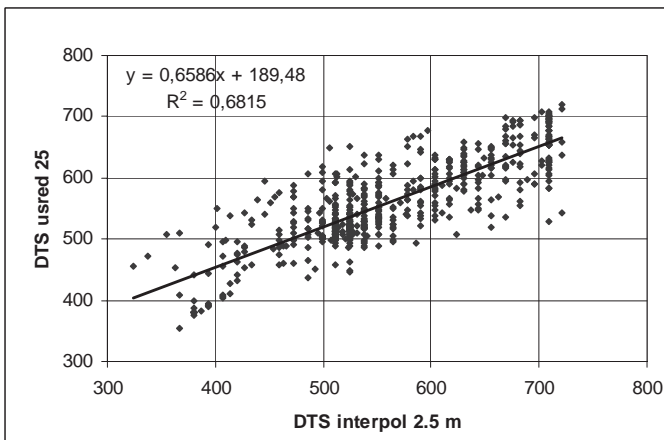


Fig. 4. Wartości czasów interwałowych fali S po interpolacji z krokiem 2.5 m w aplikacji Funmat dla danych uzyskanych w aplikacji FalaFWS z krokiem 0.1 m oraz wartości czasów DTS po zastosowaniu interpolacji z krokiem 2.5 m w aplikacji Funmat dla danych uśrednionych średnią krocząca 25-punktową w aplikacji FalaFWS; otwór Śr.Wielk.4, odcinek górny

Fig. 4. S-wave slowness after interpolation of 2.5 m depth step in Funmat application for data from FalaFWS application of 0.1 m depth step vs. S-wave slowness after interpolation of 2.5 m depth step in Funmat for the results of FalaFWS of 2.5 m depth step filtering in FalaFWS; Śr.Wielk.4 well, upper depth section

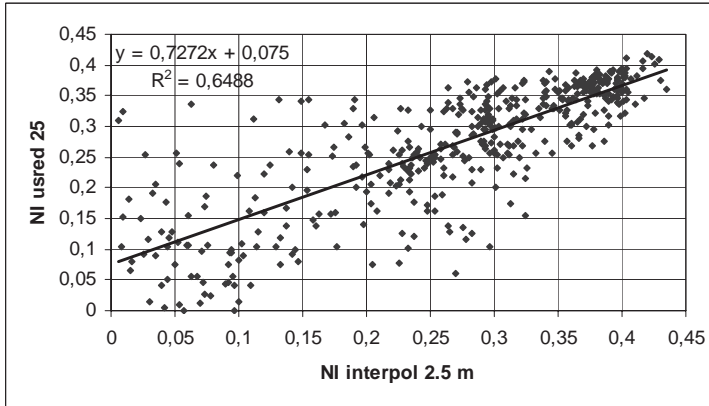


Fig. 5. Wartości współczynnika Poissona, NI po interpolacji z krokiem 2.5 m w aplikacji Funmat dla danych uzyskanych w aplikacji FalaFWS z krokiem 0.1 m oraz wartości NI po zastosowaniu interpolacji z krokiem 2.5 m w aplikacji Funmat dla danych uśrednionych średnią krocząco 25-punktową w aplikacji FalaFWS; otwór Śr.Wielk.4, odcinek górny

Fig. 5. Poisson ratio, NI, after interpolation of 2.5 m depth step in Funmat application for data from FalaFWS application of 0.1 m depth step vs. NI after interpolation of 2.5 m depth step in Funmat for data from FalaFWS of 25-points averaging; Śr.Wielk.4 well, upper depth section

Dalszą część testu wykonano na podstawie analizy danych ze środkowego odcinka otworu Środa Wielkopolska 5 (1951.5–2949 m) – Śr.Wielk.5. Interwał ten obejmuje utwory od triasu środkowego (wapienia muszlowego górnego) aż do permu górnego (soli najmłodszej) (Tab. 2). Utwory te różnią się pod względem litologii od tych z otworu Środa Wielkopolska 4 wybranych do testu.

Tabela (Table) 2

Stratygrafia i litologia utworów przewierconych w środkowym odcinku w otworze Śr.Wielk.5

Stratigraphy and lithology of formations pierced in the middle section of Śr.Wielk.5 well

Nazwa okresu <i>Stratigraphy</i>	Symbol Code	Głębokość stropu [m] <i>Depth of the top</i>	Głębokość spągu [m] <i>Depth of the bottom</i>	Litologia <i>Lithology</i>
trias środkowy <i>Middle Triassic</i>	Tm3	1989.5	2031	wapień muszlowy górny: wapienie, margle, mułowce, iłowce, piaskowce <i>Upper Muschelkalk: limestones, marls, mudstones, claystones, sandstones</i>

Tabela (Table) 2 cd. / cont.

trias środkowy <i>Middle Triassic</i>	Tm2	2031	2079	wapień muszlowy środkowy: wapienie, margle <i>Middle Muschelkalk: limestones, marls</i>
trias środkowy <i>Middle Triassic</i>	Tm1	2079	2256.5	wapień muszlowy dolny: wapienie, margle, iłowce, iłolupki <i>Lower Muschelkalk: limestones, marls, claystones, shaly clays</i>
trias dolny <i>Lower Triassic</i>	Tp3	2256.5	2365.5	pstry piaskowiec górny (ret): iłowce wapniste, wapienie, margle, anhydryty <i>Upper Bunter Sandstone (Roethian): calcareous claystones, limestones, marls, anhydrites</i>
trias dolny <i>Lower Triassic</i>	Tp2	2365.5	2580	pstry piaskowiec środkowy: iłowce czerwone brązowe, margle, wapienie, anhydryty <i>Middle Bunter Sandstone: red brown claystones, marls, limestones, anhydrites</i>
trias dolny <i>Lower Triassic</i>	Tp1	2580	2919	pstry piaskowiec dolny: iłowce, mułowce wapniste brązowe, piaskowce, wapienie <i>Lower Bunter Sandstone: claystones, brown calcareous mudstones, sandstones, limestones</i>
perm górny <i>Upper Permian</i>	IP	2919	2933	iłowce przejściowe: iłowce, mułowce, piaskowce, gipsy, anhydryty <i>Transitional Claystones: claystones, mudstones, sandstones, gypsum, anhydrites</i>
perm górny <i>Upper Permian</i>	Na4	2933	2982.3	sól najmłodsza: sole kamienne, anhydryty <i>Aller Salt: salts, anhydrites</i>

Na figurach 6 i 7 przedstawiono porównanie wartości współczynnika Poissona uzyskanego po zastosowaniu uśrednienia w aplikacji FalaFWS (11- i 25-punktowego) po wykonaniu interpolacji z krokiem 2.5 m w testowanym odcinku w otworze Śr.Wielk.5.

Rozrzut punktów widoczny na figurze 6 spowodowany jest obecnością większej liczby anomalii na obrazie nieuśrednionym w porównaniu z wynikiem filtracji. Relacja między NI_25 i NI_11 na figurze 7 charakteryzuje się wysokim współczynnikiem determinacji, który

jest wyraźnie obarczony wpływem wartości odstającej (0.294; 0.201). Przy obliczaniu relacji prezentowanych na obu rysunkach usunięto wartości ujemne współczynnika Poissona, jako niemające wyjaśnienia fizycznego w formacji, która nie jest nasycona gazem.

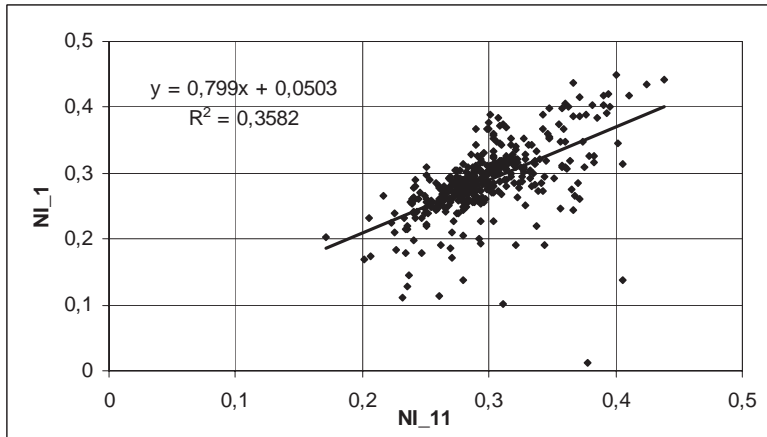


Fig. 6. Współczynnik Poissona bez uśrednienia vs. wynik uśrednienia średnią krocząca 11-punktową; obie serie danych poddano interpolacji z krokiem 2.5 m

Fig. 6. Poisson ratio without averaging vs. Poisson ratio after 11-points averaging; both data series interpolated using 2.5 m step

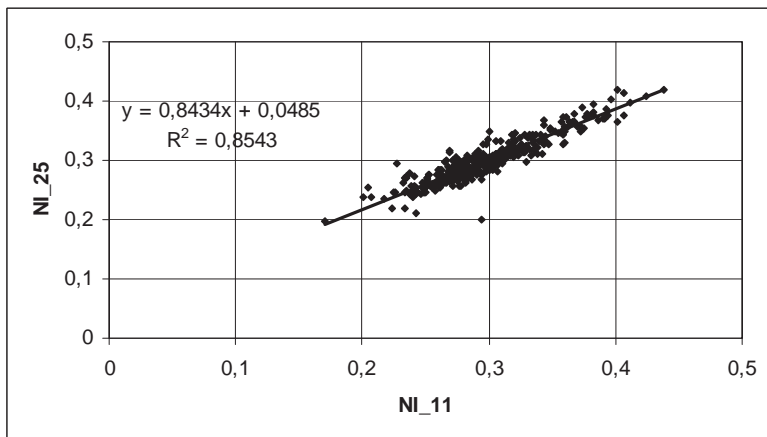


Fig. 7. Współczynnik Poissona po uśrednieniu średnią krocząca 11-punktową vs. wynik uśrednienia 25-punktowego; obie serie danych poddano interpolacji z krokiem 2.5 m

Fig. 7. Poisson ratio after 11-points averaging vs. Poisson ratio after 25-points averaging; both data series interpolated using 2.5 m step

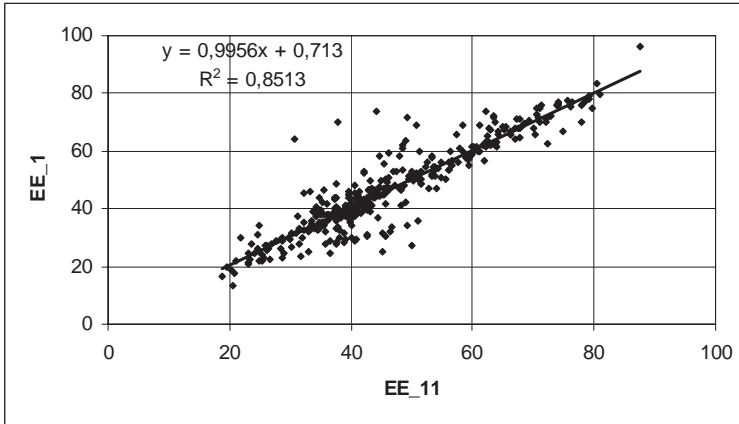


Fig. 8. Moduł Younga bez uśrednienia vs. wynik uśrednienia średnią krocząca 11-punktową; oba zbiory danych poddano interpolacji z krokiem 2.5 m

Fig. 8. Young modulus without averaging vs. Young modulus after 11-points averaging; both data series interpolated using 2.5 m step

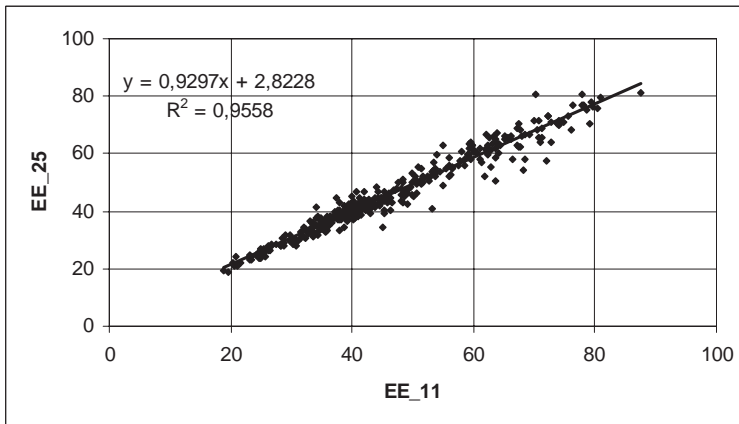


Fig. 9. Moduł Younga po uśrednieniu średnią krocząca 11-punktową vs. wynik uśrednienia 25-punktowego; oba zbiory danych poddano interpolacji z krokiem 2.5 m

Fig. 9. Young modulus after 11-points averaging vs. Young modulus after 25-points averaging; both data series interpolated using 2.5 m step

Na dwóch następnych figurach (Fig. 8, 9) przedstawiono zestawienie wyników dla modułu Younga analogiczne jak dla współczynnika Poissona. Obserwuje się podobne zachowanie wyników. Rozrzut punktów na figurze 8 jest mniejszy niż na figurze 6. Mniejsza jest

też liczba wartości odstających. Taki wynik jest skutkiem zależności między dynamicznym współczynnikiem Poissona i modułem Younga a czasami interwałowymi fali P i S.

Wysokie współczynniki determinacji między wynikami uśrednionymi dla 11 punktów i 25 punktów wskazują, że można to uśrednienie (filtrację) stosować wymiennie.

ZBIORCZE ZESTAWIENIE WYNIKÓW UZYSKANYCH Z POMIARÓW SONDĄ FWS I INTERPRETACJI AKUSTYCZNYCH OBRAZÓW FAŁOWYCH W OTWORACH ŚRODA WIELKOPOLSKA 4 I 5, MIŁOSŁAW 3, WINNA GÓRA 1, KROMOLICE 1 I 2 ORAZ GRUNDY 2

Zestawiono wyniki interpretacji w jednostkach litostratygraficznych wydzielonych w analizowanych otworach. Wybrano powtarzające się okresy i podokresy oraz stwierdzono, że wykształcenie litologiczne jest podobne (Tab. 3). Dla tych jednostek wykonano zestawienie parametrów sprężystych, które było także podstawą do wyliczenia współczynników korelacji między wybranymi wielkościami. Dane uszeregowano wg wzrastającej głębokości występowania tych samych jednostek litostratygraficznych. W tabeli 3 zamieszczono wyniki uzyskane z interpretacji akustycznych obrazów fałowych programem FalaFWS. Wartości parametrów w tabeli 3 są średnimi wybranymi z tabel przygotowanych dla wszystkich otworów (Jarzyna *et al.*, w: Górecki *et al.* 2010).

Dane w tabeli 3 wskazują na niewielką zmienność parametrów sprężystych wyznaczonych dla tych samych typów litologicznych w tych samych jednostkach stratygraficznych. Generalnie odpowiadające sobie jednostki zalegają najgłębiej w otworze Grundy 2, najpłycej w otworze Miłosław 3 lub Winna Góra 1. Odpowiadające sobie jednostki w otworze Środa Wielkopolska 4 zalegają głębiej niż w otworze Środa Wielkopolska 5, z wyjątkiem jednostek A2G i Na2.

Wartości czasu interwałowego fali P (DTP), wyznaczone w badanych otworach różnymi metodami są bardzo podobne. Wartości czasu interwałowego fali S (DTS), wyznaczone w badanych otworach często różnią się od wartości czasu interwałowego fali S uzyskanego bezpośrednio z pomiaru sondą FWS – DTSpom. W takich przypadkach wybierano najmniejszą z wyznaczonych wartości. W tabeli 3 przedstawiono różnice wartości $V_p/V_s = DTS/DTP$ wynikające ze zróżnicowania czasu fali S. Wartości parametrów sprężystych przedstawione w tabeli 3 mogą służyć jako typowe dla danej litologii w danej jednostce stratygraficznej. Zależności między parametrami obliczonymi na podstawie średnich wartości parametrów sprężystych reprezentacyjnych dla wybranych formacji litostratygraficznych przedstawiono na figurach 10–12. Rozrzut punktów jest duży, choćby dlatego, że w wybranych jednostkach stratygraficznych, wydzielonych w analizowanych otworach, skład litologiczny nie jest identyczny. Przyczyną rozrzutu jest także obecność pozornych anomalii, niezwiązanych z budową geologiczną (artefaktów), z którymi interpretatorki zmagają się podczas całej pracy.

Tabela (Table) 3

Średnie wartości parametrów sprężystych w wydzieleniach stratygraficznych w analizowanych otworach
Average values of elastic parameters of the stratigraphic units in the study wells

Otwór <i>Well</i>	Litologia <i>Lithology</i>	H_{sr} [m]	H_{sp} [m]	DTP [μs/m]	DTS [μs/m]	DTS* [μs/m]	E [GPa]	K [GPa]	MI [GPa]	NI	V_p/V_s	GR [API]	RHOB [g/cm ³]	DTS** [μs/m]
jura dolna J1 <i>Lower Jurassic</i>														
Śr. Wielk.5	mułowce, piaskowce, iłowce, iłolupki, węgle <i>mudstones, sandstones, claystones, shaly clays, coals</i>	656	1036	343	542	-	18	9	8	0.17	1.59	47	2.27	-
Śr. Wielk.4	piaskowce drobnoziarniste, mułowce, iłolupki <i>fine-grained sandstones, mudstones, shaly clays</i>	706	1072	356	-	604	16	11	6	0.27	1.74	45	2.25	-
trias górny, retyk Tre <i>Upper Triassic, Rhaetian</i>														
Mitoslaw 3	iłowce, piaskowce różnoziarniste, węgle, mułowce brązowe <i>claystones, diverse-grained sandstones, coals, brown mudstones</i>	972	1432.5	313	519	-	21	13	9	0.20	1.68/1.58	70	2.29	-
Winna Góra 1	iłowce, mułowce, piaskowce <i>claystones, mudstones, sandstones</i>	976	1402	304	496	517	18	17	7	0.28	/1.63	67	2.37	496

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Otwór <i>Well</i>	Litologia <i>Lithology</i>	H_{sr} [m]	H_{sp} [m]	DTP [μ s/m]	DTS [μ s/m]	DTS* [μ s/m]	E [GPa]	K [GPa]	MI [GPa]	NI	V_p/V_s	GR [API]	RHOB [g/cm ³]	DTS** [μ s/m]
Śr. Wielk.5	iłowce, mulowce, piaskowce <i>claystones, mudstones, sandstones</i>	1036	1442	308	513	-	22	14	9	0.21	1.68/1.61	70	2.39	-
Śr. Wielk.4	piaskowce drobnoziarniste, mulowce, iłolupki <i>fine-grained sandstones, mudstones, shaly clays</i>	1072	1474	356	-	604	16	11	6	0.27	1.74/1.39	45	2.25	-
trias górny, kajper Tk3G <i>Upper Triassic, Keuper</i>														
Winna Góra 1	górna seria gipsowa: iłowce, anhydryty <i>Upper Gypsum Series: claystones, anhydrites</i>	1402	1590	280	509	-	19	23	7	0.34	1.82	77	2.45	-
Miłosław 3	górna seria gipsowa: iłowce brązowe, mulowce szare, anhydryty, gipsy białe <i>Upper Gypsum Series: brown claystones, grey mudstones, anhydrites, white gypsum</i>	1432.5	1631	279	505	-	25	19	10	0.26	1.82	77	2.44	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Śr. Wielk.5	górna seria gipsowa: iłowce, mułowce, gipsy, anhidytry <i>Upper Gypsum Series:</i> <i>claystones, mudstones,</i> <i>gypsum, anhydrites</i>	1442	1634	282	517	-	23	19	9	0,27	1,86	75	2,41	-
Śr. Wielk.4	górna seria gipsowa: iłowce wapińskie, mułowce, gipsy, anhidytry <i>Upper Gypsum Series:</i> <i>calcareous claystones,</i> <i>mudstones, gypsum,</i> <i>anhydrites</i>	1474	1687	279	525	-	23	21	9	0,29	1,90	75	2,44	-
trias górny, kajper górny Tk3T <i>Upper Triassic, Upper Keuper</i>														
Winna Góra 1	piaskowiec trzcinowy: iłowce, piaskowce, mułowce <i>Reed Sandstone:</i> <i>claystones, sandstones,</i> <i>mudstones</i>	1590	1681	275	528	-	17	24	6	0,37	1,92	78	2,43	-
Miłostaw 3	piaskowiec trzcinowy <i>Reed Sandstone</i>	1631	1677	264	489	-	27	21	11	0,28	1,85	74	2,46	-
Śr. Wielk.5	piaskowiec trzcinowy: iłowce, mułowce, piaskowce, gipsy <i>Reed Sandstone:</i> <i>claystones, mudstones,</i> <i>sandstones, gypsum</i>	1634	1710	277	529	-	23	19	9	0,30	1,92	75	2,39	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Otwór <i>Well</i>	Litologia <i>Lithology</i>	H_{sr} [m]	H_{sp} [m]	DTP [μ s/m]	DTS [μ s/m]	DTS* [μ s/m]	E [GPa]	K [GPa]	MI [GPa]	NI	V_p/V_s	GR [API]	RHOB [g/cm ³]	DTS** [μ s/m]
Śr. Wielk.4	piaskowiec trzciniowy: iłowce wapienste, mułowce, piaskowce, gipsy, anhydryty <i>Reef Sandstone:</i> <i>calcareous claystones,</i> <i>mudstones, sandstones,</i> <i>gypsum, anhydrites</i>	1687	1731	265	550	-	23	24	9	0.34	2.07	74	2.48	-
trias górny, kajper górny Tk3D <i>Upper Triassic, Upper Keuper</i>														
Winna Góra 1	dolna seria gipsowa: iłowce, mułowce, sole, anhydryty <i>Lower Gypsum Series:</i> <i>claystones, mudstones,</i> <i>salts, anhydrites</i>	1681	1873	254	414	507	21	28	8	0.36	/1.63	59	2.43	414
Miłostaw 3	dolna seria gipsowa: iłowce brązowe szare, mułowce, anhydryty, dolomity, sole <i>Lower Gypsum Series:</i> <i>brown grey claystones,</i> <i>mudstones, anhydrites,</i> <i>dolomites, salts</i>	1677	1889.5	260	483	-	23	18	9	0.27	1.86/1.49	66	2.09	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Śr. Wielk.5	dolna seria gipsowa: iłowce, mułowce, gipsy, anhydryty, sole kamienne <i>Lower Gypsum Series: claystones, mudstones, gypsum, anhydrites, salts</i>	1710	1898	253	503	-	26	24	10	0.31	1.98/1.60	52	2.42	406
		1731	1907	257	516	-	26	24	10	0.32	2.00/1.58	55	2.44	-
Śr. Wielk.4	dolna seria gipsowa: iłowce, mułowce, sole <i>Lower Gypsum Series: claystones, mudstones, salts</i>	1731	1907	257	516	-	26	24	10	0.32	2.00/1.58	55	2.44	-
trias górny, kajper dolny Tk1 <i>Upper Triassic, Lower Keuper</i>														
Winna Góra 1	iłowce, mułowce, piaskowce <i>claystones, mudstones, sandstones</i>	1873	1966	266	491	519	20	25	7	0.36	/1.85	72	2.52	491
		1889,5	2002	266	472	-	27	19	11	0.25	1.78	70	2.35	-
Miłostaw 3	iłowce wapniste szare, mułowce brązowe, piaskowce drobnoziarniste <i>grey calcareous claystones, brown mudstones, fine-grained sandstones</i>	1889,5	2002	266	472	-	27	19	11	0.25	1.78	70	2.35	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Otwór Well	Litologia <i>Lithology</i>	H_{str} [m]	H_{sp} [m]	DTP [μs/m]	DTS [μs/m]	DTS* [μs/m]	E [GPa]	K [GPa]	MI [GPa]	NI	V_p/V_s	GR [API]	RHOB [g/cm ³]	DTS** [μs/m]
Śr. Wielk.5	iłowce, mułowce, piaskowce <i>claystones, mudstones, sandstones</i>	1898	1989.5	274	513	-	25	20	10	0.29	1.88	73	2.49	-
Śr. Wielk.4	iłowce, piaskowce, mułowce <i>claystones, sandstones, mudstones</i>	1907	1996	267	522	-	25	21	10	0.30	1.96	74	2.44	-
Kromolice 2		2000	2079	275	497	-	25	18	10	0.25	1.81	65	2.41	-
trias dolny Tp3 <i>Lower Triassic</i>														
Miłosław 3	pstry piaskowiec górny (ret); iłowce dolomityczne szare, wapienie dolomityczne, anhydryty <i>Upper Bunter Sandstone (Roethian): grey dolomitic claystones dolomitic limestones, anhydrites</i>	2257	2371	199	385	-	51	44	20	0.30	1.94	57	2.71	-
Śr. Wielk.5	pstry piaskowiec górny (ret); iłowce wapieniste, wapienie, margle, anhydryty <i>Upper Bunter Sandstone (Roethian): calcareous claystones, limestones, marls, anhydrites</i>	2256.5	2365.5	200	402	-	49	47	19	0.32	2.02	47	2.75	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Śr. Wielk.4	pstry piaskowiec górny (ret); margle, iłowce, wapienie <i>Upper Bunter Sandstone (Roethian): marls, claystones, limestones</i>	2267	2376	200	375	-	55	37	22	0.25	1.86	47	2.74	-
Kromolice 2	pstry piaskowiec górny (ret) <i>Upper Bunter Sandstone (Roethian)</i>	2352.5	2458	203	401	-	48	41	18	0.31	1.97	41	2.72	-
trias dolny Tp2 <i>Lower Triassic</i>														
Miłostaw 3	pstry piaskowiec środkowy: iłowce brązowe czerwone, mulowce, piaskowce drobnoziarniste, wapienie oolitowe <i>Middle Bunter Sandstone: brown red claystones, mudstones, fine-grained sandstones, oolitic limestones</i>	2371	2611.5	214	392	-	46	34	18	0.27	1.83	85	2.58	-
Śr. Wielk.5	pstry piaskowiec środkowy: iłowce czerwone brązowe, margle, wapienie, anhydryty <i>Middle Bunter Sandstone: red brown claystones, marls, limestones, anhydrites</i>	2365.5	2580	216	394	-	46	34	18	0.28	1.82	79	2.64	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Otwór Well	Litologia Lithology	H_{sr} [m]	H_{sp} [m]	DTP [μs/m]	DTS [μs/m]	DTS* [μs/m]	E [GPa]	K [GPa]	MI [GPa]	NI	V_p/V_s	GR [API]	RHOB [g/cm ³]	DTS** [μs/m]
Śr. Wielk.4	pstry piaskowiec śródkowy: iłowce, margle, wapień margliste <i>Middle Bunter Sandstone:</i> <i>claystones, marls, marly</i> <i>limestones</i>	2376	2598	220	392	-	44	30	18	0.24	1.78	79	2.63	-
Kromolice 2	pstry piaskowiec śródkowy <i>Middle Bunter Sandstone</i>	2458	2662	217	396	-	44	31	18	0.26	1.81	67	2.60	-
trias dolny Tp1 <i>Lower Triassic</i>														
Mitoslav 3	pstry piaskowiec dolny: iłowce wapińskie brązowe, mułowce, piaskowce, anhydryty <i>Lower Bunter Sandstone:</i> <i>brown calcareous</i> <i>claystones, mudstones,</i> <i>sandstones, anhydrites</i>	2611.5	2970	215	404	-	43	34	17	0.29	1.88	91	2.67	-
Śr. Wielk.5	pstry piaskowiec dolny: iłowce, mułowce wapińskie brązowe, piaskowce, wapień <i>Middle Bunter Sandstone:</i> <i>claystones, brown</i> <i>calcareous mudstones,</i> <i>sandstones, limestones</i>	2580	2919	222	408	-	42	33	16	0.29	1.84	92	2.69	405

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Śr. Wielk.4	pstry piaskowiec dolny: iłowce wapniste <i>Middle Bunter Sandstone: calcareous claystones</i>	2598	2938.5	222	407	-	41	30	16	0.27	1.83	94	2.68	-
Kromolice 2	pstry piaskowiec dolny <i>Middle Bunter Sandstone</i>	2662	2991	224	419	-	39	30	15	0.28	1.87/1.81	78	2.67	-
perm górny IP <i>Upper Permian</i>														
Śr. Wielk.5	iłowce przejściowe: iłowce, mułowce, piaskowce, gipsy, anhydryty <i>Transitional Claystones: claystones, mudstones, sandstones, gypsum, anhydrites</i>	2919	2933	236	418	-	38	28	15	0.28	1.77/1.83	76	2.57	433
Śr. Wielk.4	iłowce przejściowe: iłowce, mułowce, anhydryty <i>Transitional Claystones: claystones, mudstones, anhydrites</i>	2938.5	2950	225	387	-	41	23	17	0.20	1.72	73	2.57	-
Kromolice 2	iłowce przejściowe <i>Transitional Claystones</i>	2991	3015.5	223	398	-	40	27	16	0.25	1.78	62	2.52	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Otwór Well	Litologia <i>Lithology</i>	H_{str} [m]	H_{sp} [m]	DTP [μs/m]	DTS [μs/m]	DTS* [μs/m]	E [GPa]	K [GPa]	MI [GPa]	NI	V_p/V_s	GR [API]	RHOB [g/cm ³]	DTS** [μs/m]
Grundy 2	iłowce przejściowe: iłowce, mułowce brązowe <i>Transitional Claystones: claystones, brown mudstones</i>	3592	3632	223	399	-	42	29	17	0.25	1.79	93	2.67	-
perm górny Na4 <i>Upper Permian</i>														
Kromolice 1	sól najmlodsza <i>Aller Salt</i>	2890	2965.5	232	467	-	27	24	11	0.29	2.02	22	2.24	-
Śr. Wielk.5	sól najmlodsza: sole kamienne, anhydryty <i>Aller Salt: salts, anhydrites</i>	2933	2982.3	222	401	-	33	24	13	0.27	1.80/1.84	5	2.05	409
Śr. Wielk.4	sól najmlodsza: sole kamienne, anhydryty, iłowce <i>Aller Salt: salts, anhydrites, claystones</i>	2950	2997.5	226	403	-	32	-	13	0.24	1.78	7	2.05	-
Kromolice 2	sól najmlodsza <i>Aller Salt</i>	3015.5	3061.5	223	387	-	33	21	13	0.23	1.74	7	2.09	-
Grundy 2	sól najmlodsza: sole kamienne, iłowce <i>Aller Salt: salts, claystones</i>	3632	3722.5	233	425	-	31	21	12	0.26	1.82	15	2.12	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

perm górny A4D <i>Upper Permian</i>														
Kromolice 1	anhydryt pegmatytowy <i>Pegmatitic Anhydrites</i>	2965.5	2966.5	271	465	-	29	17	12	0.23	1.72	7	2.44	-
Śr. Wielk.5	anhydryt pegmatytowy: anhydryty, sole kamienne, ily <i>Pegmatitic Anhydrites: anhydrites, salts, claystones</i>	2982.3	2983.2	218	406	-	33	25	13	0.28	1.86	6	2.36	-
Śr. Wielk.4	anhydryt pegmatytowy: anhydryty <i>Pegmatitic Anhydrites: anhydrites</i>	2997.5	2999	356	-	623	15	-	6	0.27	1.75	11	2.40	-
Grundzy 2	anhydryt pegmatytowy: sole, anhydryty <i>Pegmatitic Anhydrites: salts, anhydrites</i>	3722.5	3724	268	415	-	32	16	14	0.16	1.55	8	2.3	-
perm górny I4 <i>Upper Permian</i>														
Kromolice 1	il czerwony <i>Red Claystone</i>	2966.5	2985.9	358	516	-	17	6	9	0.13	1.44	41	2.12	-
Śr. Wielk.5	il czerwony: ily, sole, anhydryty <i>Red Claystone: claystones, salts, anhydrites</i>	2983.2	2993.5	259	458	-	24	17	10	0.21	1.80	61	2.22	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Otwór Well	Litologia Lithology	H_{sr} [m]	H_{sp} [m]	DTP [μs/m]	DTS [μs/m]	DTS* [μs/m]	E [GPa]	K [GPa]	MI [GPa]	NI	V_p/V_s	GR [API]	RHOB [g/cm ³]	DTS** [μs/m]
Śr. Wielk.4	if czerwony: ility brązowe, sole, anhydryty <i>Red Claystone: brown claystones, salts, anhydrites</i>	2999	3016	324	-	573	18	-	7	0.24	1.77	27	2.17	-
Grundy 2	if czerwony: ility, ilowce brązowe, sole <i>Red Claystone: claystones, brown claystones, salts</i>	3724	3746	284	476	-	24	14	10	0.20	1.68	40	2.32	-
perm górny Na3 Upper Permian														
Kromolice 1	sól młodsza <i>Leine Salt</i>	2985.9	3114	238	421	-	30	20	12	0.24	1.79	10	2.10	-
Śr. Wielk.5	sól młodsza: sole, anhydryty, ility <i>Leine Salt: salts, anhydrites, claystones</i>	2993.5	3119	227	414	-	31	24	12	0.27	1.83/1.80	11	2.07	408
Śr. Wielk.4	sól młodsza: sole kamiennie <i>Leine Salt: salts</i>	3016	3059	225	421	-	30	-	12	0.27	1.87	7	2.05	-
Grundy 2	sól młodsza: sole drobnokrystaliczne, grubokrystaliczne <i>Leine Salt: fine-grained course-grained salts</i>	3746	3832.5	225	391	-	34	22	14	0.24	1.74	8	2.07	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

perm górný A3 <i>Upper Permian</i>														
Kromolice 1	anhydryt gówny <i>Main Anhydrite</i>	3114	3136	184	421	-	49	60	18	0.35	2.30/1.74	6	2.92	-
.r.Wielk.5	anhydryt gówny: anhydryty, sole <i>Main Anhydrite:</i> <i>anhydrites, salts</i>	3119	3151.5	173	509	-	34	79	12	0.42	2.95/1.86	6	2.93	321
.r.Wielk.4	anhydryt gówny: anhydryty, sole <i>Main Anhydrite:</i> <i>anhydrites, salts</i>	3118,5	3149	172	498	-	36	-	14	0.42	2.89/1.87	6	2.94	-
Grundy 2	anhydryt gówny: anhydryty, sole <i>Main Anhydrite:</i> <i>anhydrites, salts</i>	3832.5	3858.5	174	461	-	41	76	15	0.41	2.65/1.84	7	2.88	-
perm grny B3 <i>Upper Permian</i>														
Kromolice 1	szary i solny <i>Grey Claystone</i>	3136	3139.5	378	-	493	14	3	10	-	1.30	52	2.34	-
.r.Wielk.5	szary i solny: anhydryty, iy <i>Grey Claystone:</i> <i>anhydrites, claystones</i>	3151.5	3157.5	269	420	519	22	9	9	0.25	2.09/1,56	81	2.37	420
.r.Wielk.4	szary i solny: anhydryty, iy <i>Grey Claystone:</i> <i>anhydrites, claystones</i>	3149	3151	266	-	652	16	-	6	0.39	2.45	45	2.41	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Otwór Well	Litologia Lithology	H_{sr} [m]	H_{sp} [m]	DTP [μs/m]	DTS [μs/m]	DTS* [μs/m]	E [GPa]	K [GPa]	MI [GPa]	NI	V_p/V_s	GR [API]	RHOB [g/cm ³]	DTS** [μs/m]
Grundy 2	szary ił solny; sole, iłowce Grey Claystone: salts, claystones	3858.5	3860	183	353	-	62	57	23	0.32	1.93	21	2.80	-
perm górny A2G Upper Permian														
Kromolice 1	anhydryt kryjący Top Anhydrite	3139.5	3141	204	511	-	27	47	10	0.40	2.51	9	2.81	-
Śr. Wielk.4	anhydryt kryjący; anhydryt Top Anhydrite: anhydrites	3151	3153	214	543	-	28	-	10	0.41	2.54	17	2.75	-
Śr. Wielk.5	anhydryt kryjący; anhydryt Top Anhydrite: anhydrites	3157.5	3159	268	407	-	32	14	14	0.12	1.52	33	2.79	-
Grundy 2	anhydryt kryjący; anhydryt, sole Top Anhydrite: anhydrites, salts	3860	3862.5	216	398	-	41	26	17	0.24	1.75	8	2.68	-
perm górny Na2 Upper Permian														
Kromolice 1	sól starsza Stassfurt Salt	3141	3303	224	409	-	31	23	12	0.26	1.83	8	2.06	-
Śr. Wielk.4	sól starsza: sole kamienne Stassfurt Salt: salts	3153	3170.5	228	436	-	29	-	12	0.25	1.93	9	2.05	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Śr. Wielk.5	sól starsza: sole kamienne <i>Stassfurt Salt: salts</i>	3159	3320	224	407	496	25	28	9	0.34	2.22/1.81	13	2.04	407
Grundy 2	sól starsza: sole, anhydryty <i>Stassfurt Salt: salts, anhydrites</i>	3862.5	3875.5	208	399	-	38	35	15	0.28	1.94	8	2.33	-
perm górny A2 <i>Upper Permian</i>														
Kromolice 1	anhydryt podstawowy <i>Basal Anhydrite</i>	3303	3311	173	323	526	31	78	11	0.43	3.05/1.87	5	2.96	-
Śr. Wielk.5	anhydryt podstawowy: anhydryty <i>Basal Anhydrite: anhydrites</i>	3320	3324	194	323	487	29	53	11	0.38	2.57/1.66	7	2.55	323
Śr. Wielk.4	anhydryt podstawowy: anhydryty <i>Basal Anhydrite: anhydrites</i>	3329	3336	175	323	597	25	-	9	0.45	3.4/1.85	7	2.94	-
Grundy 2	anhydryt podstawowy: anhydryty <i>Basal Anhydrite: anhydrites</i>	3875.5	3896	167	380	-	58	78	21	0.37	2.27/1.93	7	2.97	-
perm górny Ca2 <i>Upper Permian</i>														
Kromolice 1	dolomit główny <i>Main Dolomite</i>	3311	3328.5	166	346	633	21	88	7	0.46	3.83/2.08	27	2.80	-

Tabela (Table) 3 cd. / cont.

Otwór Well	Litologia Lithology	H_{sr} [m]	H_{sp} [m]	DTP [μs/m]	DTS [μs/m]	DTS* [μs/m]	E [GPa]	K [GPa]	MI [GPa]	NI	V_p/V_s	GR [API]	RHOB [g/cm ³]	DTS** [μs/m]
Śr. Wielk.5	dolomit główny: dolomity, łupki Main Dolomite: dolomites, shales	3324	3333.5	186	346	634	20	68	7	0.41	2.72/1.86	42	2.70	346
Śr. Wielk.4	dolomit główny: dolomity Main Dolomite: dolomites	3336	3341.5	178	346	485	33	-	12	0.41	2.72/1.94	32	2.75	-
Grundy 2	dolomit główny: dolomity Main Dolomite: dolomites	3896	3927	193	346	470	34	58	12	0.38	2.48/1.79	17	2.68	-
perm dolny Lower Permian														
Śr. Wielk.5	czerwony spagowiec: piaskowce drobnopziarniste, średnioziarniste brązowe, czerwone Rotliegend: fine-grained, medium-grained brown, red sandstones	3540.3	3652	244	421	583	20	32	7	0.38	2.41/1.73	42	2.41	421
Śr. Wielk.4	czerwony spagowiec: piaskowce drobnopziarniste białe Rotliegend: fine-grained white sandstones	3568	-	257	621	-	17	26	6	-	-	-	-	-

DTS – czas interwału fali S użyty w obliczeniu dynamicznych modułów sprężystości / S-wave slowness used in dynamic elastic modulus calculation; DTS* – wynik interpretacji w programie FalaFWS / interpretation result in FalaFWS program; DTS** – wynik pomiaru sondą FWS / result of FWS tool measurement.

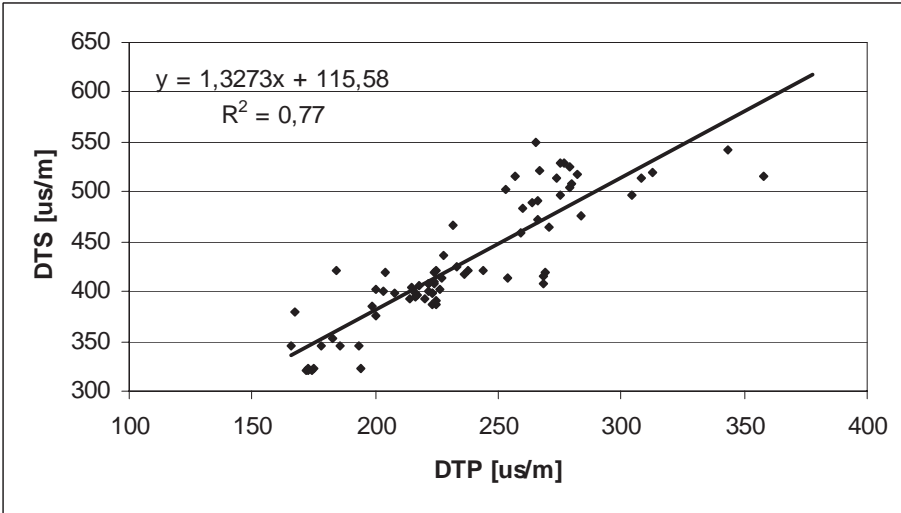


Fig. 10. Średni czas interwałowy fali S w funkcji średniego czasu interwałowego fali P (dane z tabeli 3)

Fig. 10. Average S wave slowness vs. average P wave slowness (data from table 3)

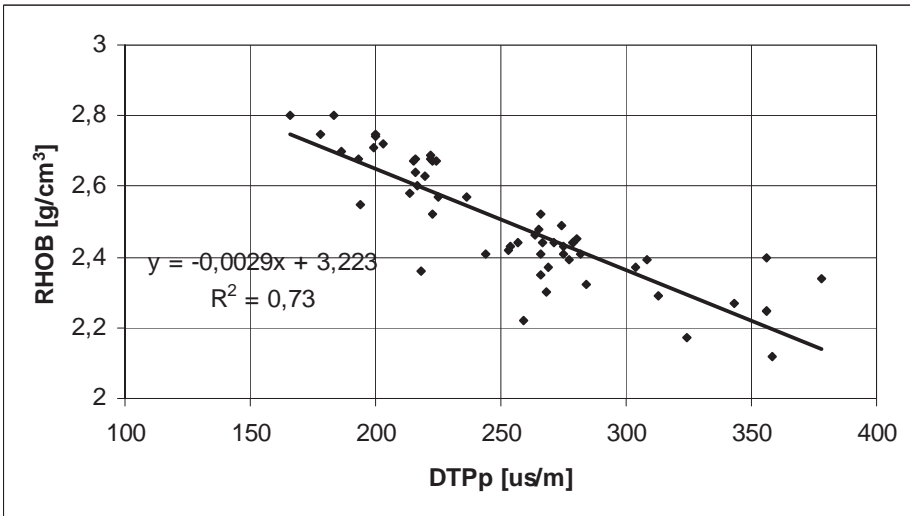


Fig. 11. Średnia gęstość objętościowa w funkcji średniego czasu interwałowego fali P

Fig. 11. Average bulk density vs. average P-wave slowness

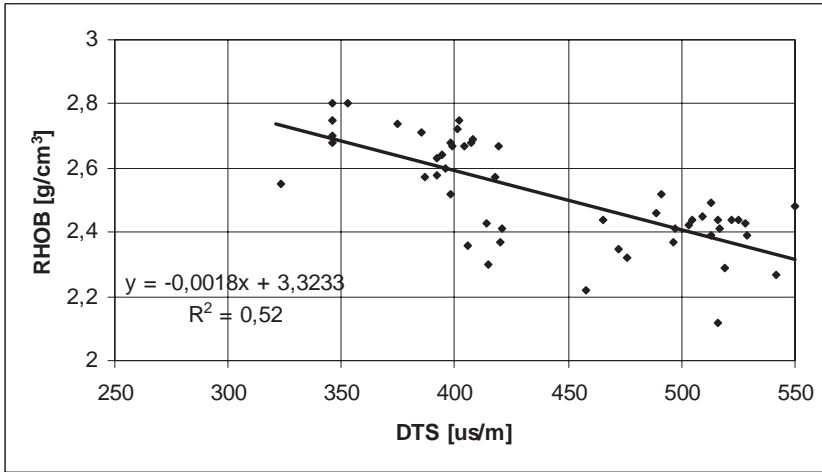


Fig. 12. Średnia gęstość objętościowa w funkcji średniego czasu interwałowego fali S

Fig. 12. Average bulk density vs. average S-wave slowness

Przedstawiono także zmienność wybranych parametrów w funkcji głębokości (Fig. 13, 14). Obserwuje się spadek czasów interwałowych obu fal w funkcji głębokości w przypadku utworów młodszych od cechsztynu. Zachowanie ewaporatów, dolomitów, wapieni i ilów górnego permu wyraźnie odbiega od obserwowanej tendencji, zarówno dla DTP, jak i dla DTS.

Obserwuje się wzrost gęstości objętościowej z głębokością w interwale powyżej permu górnego i cechsztynu (Fig. 15). Linia korelacji przechodzi przez dane pomiarowe, a współczynnik determinacji jest wysoki (0.68). W strefie występowania ewaporatów (soli i anhydrytów), dolomitów i ilów obserwuje się bardzo duże zmiany gęstości. Duże zmiany intensywności naturalnej promieniotwórczości (5–94 API) w strefie występowania utworów permu obserwuje się na figurze 16. Jednak dominują warstwy o małym zaileniu (poniżej 40 API). W górnej części figury 16 anomalie GR mieszczą się w zakresie 45–94 API, co wskazuje na znacznie wyższe zailenie formacji młodszych od utworów permu.

W celu scharakteryzowania zmienności dynamicznych parametrów sprężystych w poszczególnych jednostkach litostratygraficznych wydzielonych w profilach badanych otworów zaprezentowano także wyniki obliczeń z wykorzystaniem programu Estymacja (Bała & Cichy 2006, Jarzyna *et al.*, w: Górecki *et al.* 2010). W tabeli 4 znalazły się wartości średnie, maksymalne i minimalne wybranych parametrów obliczone przy użyciu programu Estymacja w formacjach litostratygraficznych przewierconych otworami: Winna Góra 1, Golce 1, Obrzycko 1, Piła IG-1 oraz Środa Wielkopolska.

Należy zaznaczyć, że w niektórych otworach osady cechsztyńskie występujące w poszczególnych cyklotemach nie zostały rozdzielone. W takich przypadkach w tabeli zamieszczono dodatkowe wartości, zaznaczając nazwę takiego otworu.

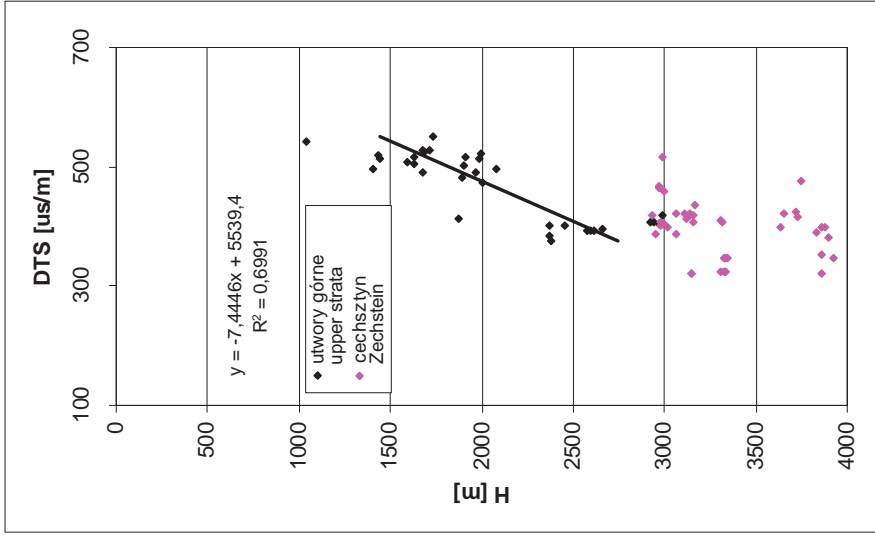


Fig. 13. Średnia wartość DTP w funkcji głębokości

Fig. 13. Average value of DTP vs. depth

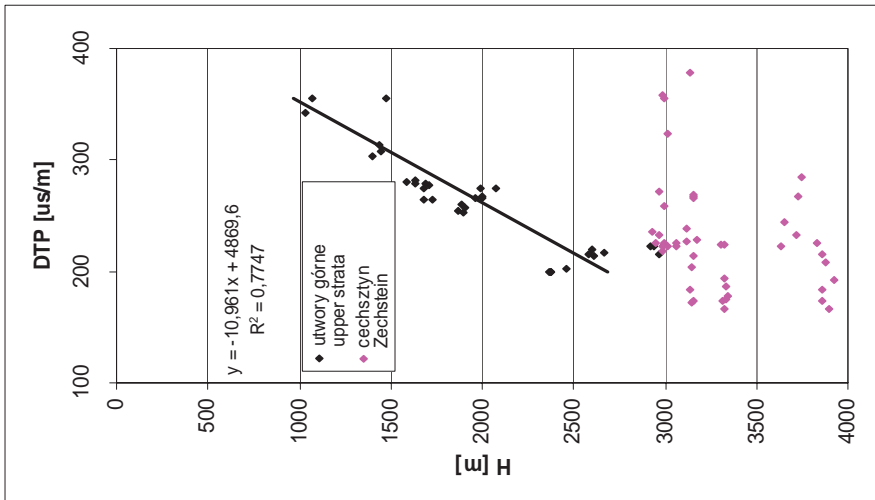


Fig. 14. Średnia wartość DTS w funkcji głębokości

Fig. 14. Average value of DTS vs. depth

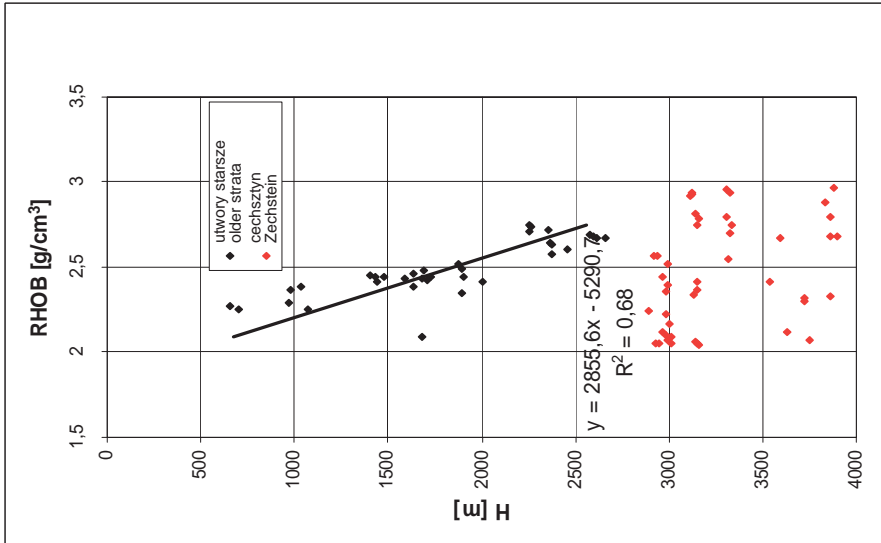


Fig. 15. Średnia wartość RHOB w funkcji głębokości

Fig. 15. Average value of RHOB vs. depth

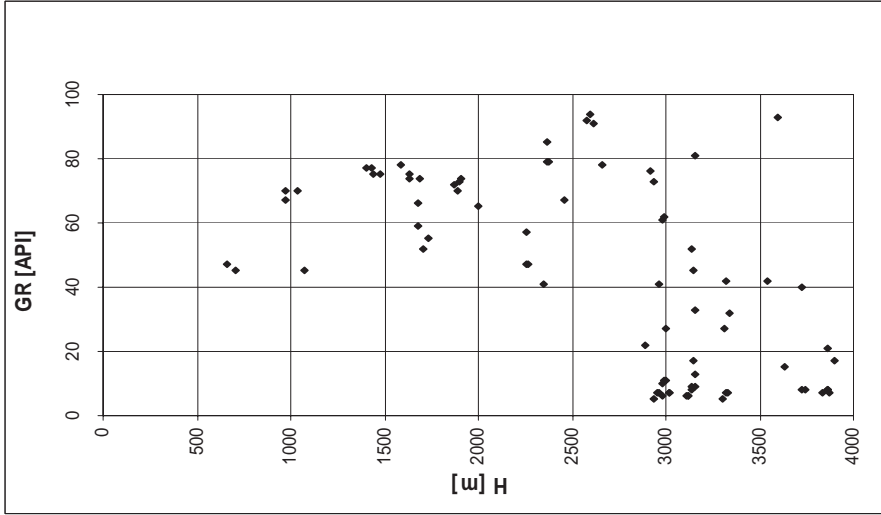


Fig. 16. Średnia wartość GR w funkcji głębokości

Fig. 16. Average value of GR vs. depth

Tabela (Table) 4

Wartości średnie, maksymalne i minimalne wybranych parametrów obliczonych przy użyciu programu Estymacja w formacjach litostratigraficznych przewierconych otworami: Winna Góra 1, Golce 1, Obrzycko 1, Pila IG-1 oraz Środa Wielkopolska 4 (wartości średnie podkreślono)

Average values, maximal values and minimal values of selected parameters calculated with the Estymacja program in lithostratigraphic formations pierced by the Winna Góra 1 well and the Golce 1 well and the Obrzycko 1 well and the Pila IG-1 well and the Śr.Wielk.4 well (average values are underlined)

Stratygrafia, litologia <i>Stratigraphy, lithology</i>	VPEQ [km/s]	VSEQ [km/s]	VPEQ/ VSEQ	RHEQ [g/cm ³]	NIEQ	Określone na podstawie danych z otworów: <i>Determined on the basis of data from wells:</i>
czwartorzęd: piaski, żwiry, gliny <i>Quaternary: sands, gravels, clays</i>	<u>2.52</u>	1.64	<u>1.73</u>	<u>2.36</u>	<u>0.24</u>	Pila IG1
	2.89	1.80	1.99	2.56	0.33	
	2.09	1.05	1.59	2.18	0.17	
pliocen, miocen, oligocen: piaski, mułki, piaskowce, piaskowce żyłone, iłowce <i>Pliocene, Miocene, Oligocene: sands, muds, sandstones, argillaceous sandstones, claystones</i>	2.47	1.46	1.70	2.30	0.23	Pila IG1, Winna Góra 1, Środa Wielkopolska 4
	3.45	2.14	2.04	2.60	0.34	
	1.43	0.88	1.57	1.67	0.16	
kreda, santon: margle, łupki <i>Cretaceous, Santonian: marls, shales</i>	<u>3.66</u>	<u>1.80</u>	<u>2.03</u>	<u>2.56</u>	<u>0.34</u>	Obrzycko 1
	3.89	1.98	2.10	2.65	0.35	
	3.16	1.56	1.64	2.35	0.20	
kreda, santon (802.5 m): margle, łupki turon: margle, wapienie <i>Cretaceous, Santonian (802.5 m): marls, shales Turonian: marls, limestone</i>	<u>3.84</u>	1.93	1.99	2.58	0.33	Obrzycko 1
	4.50	2.28	2.06	2.66	0.35	
	3.41	1.71	1.66	2.41	0.21	
kreda, cenoman: margle, wapienie <i>Cretaceous, Cenomanian: marls, limestone</i>	<u>3.28</u>	<u>1.96</u>	<u>1.68</u>	<u>2.31</u>	<u>0.22</u>	Obrzycko 1
	3.53	2.15	1.71	2.58	0.24	
	3.12	1.83	1.64	2.22	0.21	

Tabela (Table) 4 cd. / cont.

Stratygrafia, litologia <i>Stratigraphy, lithology</i>	VPEQ [km/s]	VSEQ [km/s]	VPEQ/ VSEQ	RHEQ [g/cm ³]	NIEQ	Określone na podstawie danych z otworów: <i>Determined on the basis of data from wells:</i>
kreda dolna: piaskowce, łupki <i>Lower Cretaceous: sandstones, shales</i>	<u>3.28</u> 4.48 2.91	<u>1.95</u> 2.30 1.65	<u>1.68</u> 1.95 1.62	<u>2.33</u> 2.58 2.21	<u>0.23</u> 0.32 0.19	Obrzycko 1
jura, kimeryd (Jkm), oksford (Jo1): margle, wapienie, wapienie margliste, ilowce wapieniste <i>Jurassic, Kimmeridgian (Jkm), Oxfordian (Jo1): marls, limestones, marly limestones, calcareous claystones</i>	<u>3.49</u> 4.83 2.16	<u>1.81</u> 2.57 1.07	<u>1.93</u> 2.15 1.56	2.46 2.68 2.15	<u>0.31</u> <u>0.36</u> 0.28	Środa Wielkopolska 4, Winna Góra 1, Obrzycko 1
jura, dogger (J2): ilowce wapieniste, iłolupki, wapienie, mulowce, piaskowce <i>Jurassic, Dogger (J2): calcareous claystones, shaly clays, limestones, mudstones, sandstones</i>	<u>2.97</u> 3.42 2.23	1.78 2.21 1.11	<u>1.67</u> 2.02 1.55	<u>2.43</u> 2.66 2.21	<u>0.22</u> 0.34 0.14	Golce 1, Środa Wielkopolska 4, Winna Góra 1
jura dolna, lias (J1): piaskowce, mulowce, iłolupki, nasycone gazem <i>Lower Jurassic, Lias (J1): sandstones, mudstones, shaly clays, gas saturation</i>	<u>3.35</u> 4.23 2.28	<u>2.04</u> 2.66 1.25	<u>1.65</u> 1.92 1.54	<u>2.41</u> 2.65 2.05	<u>0.21</u> 0.31 0.13	Golce 1, Piła IG 1, Środa Wielkopolska 4, Obrzycko 1
trias, retyk (Tre): ilowce wapieniste, mulowce, piaskowce <i>Triassic, Rhaetian (Tre): calcareous claystones, mudstones, sandstones</i>	<u>3.41</u> 4.32 2.20	<u>2.06</u> 2.67 1.14	<u>1.66</u> 1.97 1.53	<u>2.52</u> 2.70 2.20	<u>0.21</u> 0.30 0.14	Obrzycko 1, Piła IG 1, Winna Góra 1, Golce 1, Środa Wielkopolska 4
trias, kajper górny (TK3G), górna seria gipsowa: ilowce wapieniste, mulowce, anhydryty, gipsy <i>Triassic, Upper Keuper (TK3G), Upper Gypsum Series: calcareous claystones, mudstones, anhydrites, gypsum</i>	<u>3.35</u> 6.77 2.52	<u>2.10</u> 3.71 1.38	<u>1.69</u> 2.02 1.54	<u>2.53</u> 2.86 2.29	<u>0.23</u> 0.34 0.14	Środa Wielkopolska 4, Winna Góra 1, Golce 1

Tabela (Table) 4 cd. / cont.

trias, kajper (TK3T), piaskowiec trzcinowy: iłowce wapieniste, mulowce, piaskowce, gipsy, anhydryty <i>Triassic, Keuper (TK3T), Reed Sandstone: calcareous claystones, mudstones, sandstones, gypsum, anhydrites</i>	3.94 5.44 2.99	2.36 3.28 1.49	1.68 2.01 1.54	2.56 2.81 2.07	0.22 0.34 0.14	Środa Wielkopolska 4, Piła IG 1, Obrzycko 1
trias, kajper górny (TK3D), dolna seria gipsowa: iłowce, mulowce, sole <i>Triassic, Upper Keuper (TK3D), Lower Gypsum Series: claystones, mudstones, salts</i>	4.27 5.68 2.77	2.46 3.11 1.42	1.75 2.09 1.53	2.43 2.74 2.05	0.24 0.35 0.13	Winna Góra 1, Środa Wielkopolska 4, Piła IG 1, Obrzycko 1
trias, kajper dolny (Tk1): iłowce, piaskowce, mulowce <i>Triassic, Lower Keuper (Tk1): claystones, sandstones, mudstones</i>	4.11 5.13 3.05	2.32 3.71 1.53	1.66 1.99 1.55	2.54 2.69 2.29	0.21 0.33 0.14	Środa Wielkopolska 4, Piła IG 1, Obrzycko 1
trias środkowy (T2), wapień muszlowy: margle dolomityczne, wapień dolomityczne, iłowce <i>Middle Triassic (T2), Muschelkalk: dolomitic marls, dolomitic limestones, claystones</i>	4.91 6.34 2.98	2.67 3.48 1.51	1.85 2.12 1.51	2.62 2.89 2.14	0.28 0.36 0.11	Winna Góra 1, Środa Wielkopolska 4, Piła IG 1, Obrzycko 1
trias, pstry piaskowiec górny ret (Tp3): margle, iłowce, wapienie, anhydryty <i>Triassic, Upper Bunter Sandstone Roethian (Tp3): marls, claystones, limestones, anhydrites</i>	4.98 6.98 3.30	2.78 3.83 1.74	1.80 2.00 1.52	2.65 2.92 2.23	0.29 0.33 0.11	Winna Góra 1, Golce 1, Środa Wielkopolska 4, Piła IG 1, Obrzycko 1
trias, pstry piaskowiec środkowy (Tp2): iłowce, margle, wapienie, piaskowce, anhydryty <i>Triassic, Middle Bunter Sandstone (Tp2): claystones, marls, limestones, sandstones, anhydrites</i>	4.45 6.02 3.14	2.65 3.38 1.27	1.70 2.02 1.54	2.61 2.76 2.41	0.23 0.34 0.14	Środa Wielkopolska 4, Golce 1, Winna Góra 1, Obrzycko 1, Piła IG 1
trias, pstry piaskowiec dolny (Tp1): iłowce, wapieniste, piaskowce, anhydryty <i>Triassic, Lower Bunter Sandstone (Tp1): claystones, limestones, sandstones, anhydrites</i>	4.57 5.33 3.80	2.87 3.29 2.08	1.62 1.85 1.56	2.61 2.71 2.45	0.19 0.29 0.14	Środa Wielkopolska 4, Golce 1, Obrzycko 1, Piła IG 1

Tabela (Table) 4 cd. / cont.

Stratygrafia, litologia <i>Stratigraphy, lithology</i>	VPEQ [km/s]	VSEQ [km/s]	VPEQ/ VSEQ	RHEQ [g/cm ³]	NIEQ	Określone na podstawie danych z otworów: <i>Determined on the basis of data from wells:</i>
perm, ilowce przejściowe (IP): ilowce, mułowce, anhydryty, sól <i>Permian, Transitional Claystones: claystones, mudstones, anhydrites, salts</i>	<u>4.94</u> 5.99 4.29	<u>2.77</u> 3.36 2.44	<u>1.78</u> 1.83 1.68	<u>2.71</u> 2.93 2.34	<u>0.27</u> 0.29 0.22	Środa Wielkopolska 4, Obrzycko 1
perm, cechszyn, anhydryt graniczny (A4G) <i>Permian, Zechstein, Top Anhydrite</i>	<u>5.59</u> 5.71 5.44	<u>3.12</u> 3.19 3.02	<u>1.80</u> 1.80 1.79	<u>2.82</u> 2.85 2.78	<u>0.27</u> 0.28 0.27	Obrzycko 1
perm, cechszyn, sól najmłodsza (Na4) <i>Permian, Zechstein, Aller Salt</i>	<u>4.51</u> 5.20 428	<u>2.33</u> 2.73 2.14	<u>1.95</u> 2.00 1.83	<u>2.12</u> 2.40 2.03	<u>0.32</u> 0.35 0.29	Golce 1, Obrzycko 1
perm, cechszyn, anhydryt pegmatytowy (A4D): anhydryty <i>Permian, Zechstein, Pegmatitic Anhydrite (A4D): anhydrites</i>	<u>4.78</u> 5.65 3.78	<u>2.52</u> 3.10 1.88	<u>1.91</u> 2.08 1.79	<u>2.37</u> 2.74 2.14	<u>0.31</u> 0.35 0.27	Środa Wielkopolska 4, Golce 1
perm, cechszyn, anhydryt pegmatytowy (A4D), ił czerwony (I4), anhydryt stropowy (A3G) <i>Permian, Zechstein, Pegmatitic Anhydrite (A4D), Red Claystone (I4), Top Anhydrite (A3G)</i>	<u>5.59</u> 5.91 4.89	<u>3.12</u> 3.32 2.71	<u>1.79</u> 1.81 1.78	<u>2.87</u> 2.91 2.78	<u>0.27</u> 0.28 0.27	Obrzycko 1 (nierozdzielone) (<i>not separated</i>)
perm, cechszyn, ił czerwony (I4): iły, sole, anhydryty <i>Permian, Zechstein, Red Claystone (I4): claystones, salts, anhydrites</i>	<u>4.50</u> 4.75 4.18	<u>2.37</u> 2.65 2.15	<u>1.90</u> 2.00 1.79	<u>2.20</u> 2.29 2.10	<u>0.31</u> 0.35 0.27	Środa Wielkopolska 4, Golce 1
perm, cechszyn, sól młodsza (Na3): sole kamienne <i>Permian, Zechstein, Leine Salt: salts</i>	<u>4.66</u> 6.11 3.36	<u>2.48</u> 3.44 1.63	<u>1.89</u> 2.01 1.77	<u>2.13</u> 2.25 1.95	<u>0.30</u> 0.34 0.26	Środa Wielkopolska 4, Obrzycko 1, Piła IG 1

Tabela (Table) 4 cd. / cont.

perm, cechsztyń, sól potasowa (Kz3): sole potasowe <i>Permian, Zechstein, Potash Salt (Kz3): potash salts</i>	4.57 5.16 4.25	2.55 2.88 2.37	1.79 1.80 1.79	2.19 2.40 2.05	0.27 0.28 0.27	Środa Wielkopolska 4
perm, cechsztyń, sól młodsza (Na3-2): sole kamienne <i>Permian, Zechstein, Leine Salt (Na3-2): salts</i>	4.73 5.01 4.41	2.64 2.80 2.47	1.79 1.80 1.79	2.08 2.19 2.01	0.27 0.28 0.27	Środa Wielkopolska 4
perm, cechsztyń, anhydryt główny (A3): anhydryty, sole <i>Permian, Zechstein, Main Anhydrite (A3): anhydrites, salts</i>	5.92 6.03 5.57	3.31 3.37 3.12	1.79 1.79 1.79	2.91 2.95 2.63	0.27 0.27 0.27	Środa Wielkopolska 4, Obrzycko 1
perm, cechsztyń (A3, Ca3, I3, A2G), anhydryt główny, dolomit płytowy, szary il, anhydryt kryjący <i>Permian, Zechstein, Main Anhydrite, Platy Dolomite, Grey Claystone, Top Anhydrite (A3, Ca3, I3, A2G)</i>	6.07 6.50 4.37	3.39 3.69 2.12	1.79 2.07 1.76	2.76 2.93 2.14	0.27 0.35 0.26	Piła IG 1 (nierozdzielone) (not separated)
perm, cechsztyń, szary il solny (I3): anhydryty, il, sól <i>Permian, Zechstein, Grey Claystone (I3): anhydrites, claystones</i>	4.15 5.23 3.33	2.26 2.91 1.84	1.84 1.91 1.79	2.27 2.57 2.07	0.29 0.31 0.27	Środa Wielkopolska 4, Obrzycko 1
perm, cechsztyń, anhydryt kryjący (A2G): anhydryty <i>Permian, Zechstein, Top Anhydrite (A2G): anhydrites</i>	5.72 5.93 5.51	3.19 3.32 3.08	1.79 1.80 1.79	2.87 2.94 2.76	0.27 0.28 0.27	Środa Wielkopolska 4
perm, cechsztyń, sól starsza (Na2): sole kamienne (w Piła IG1 też potasowa) <i>Permian, Zechstein, Stassfurt Salt (Na2): salts (in Piła IG1 well also potash salt)</i>	4.66 6.47 4.27	2.47 3.67 2.07	1.90 2.10 1.76	2.10 2.22 2.05	0.30 0.33 0.26	Środa Wielkopolska 4, Obrzycko 1, Piła IG 1
perm, cechsztyń, sól starsza potasowa (Kz2): sól potasowa <i>Permian, Zechstein, Potash Stassfurt Salt (Kz2): potash salts</i>	4.54 4.72 4.33	2.37 2.63 2.08	1.93 2.08 2.07	2.14 2.17 2.09	0.31 0.35 0.34	Środa Wielkopolska 4, Piła IG 1

Tabela (Table) 4 cd. / cont.

Stratygrafia, litologia <i>Stratigraphy, lithology</i>	VPEQ [km/s]	VSEQ [km/s]	VPEQ/ VSEQ	RHEQ [g/cm ³]	NIEQ	Określone na podstawie danych z otworów: <i>Determined on the basis of data from wells:</i>
perm, cechsztyń, sól starsza (Na2): sole kamienne <i>Permian, Zechstein, Stassfurt Salt (Na2): salts</i>	4.76 6.47 4.35	2.40 3.67 2.08	1.94 2.10 1.76	2.10 2.19 2.06	0.31 0.35 0.26	Środa Wielkopolska 4, Pila IG 1
perm, cechsztyń, anhydryt podstawowy (A2): anhydryty <i>Permian, Zechstein, Basal Anhydrite (A2): anhydrites</i>	6.03 6.07 5.84	3.37 3.40 3.26	1.79 1.79 1.79	2.96 2.98 2.85	0.27 0.27 0.27	Środa Wielkopolska 4,
perm, cechsztyń, dolomit główny (Ca2): dolomity, iłowce, anhydryty <i>Permian, Zechstein, Main Dolomite (Ca2): dolomites, claystones, anhydrites</i>	5.51 5.97 5.13	3.07 3.34 2.84	1.80 1.81 1.79	2.73 2.88 2.62	0.28 0.28 0.27	Środa Wielkopolska 4
perm, cechsztyń, anhydryt podstawowy (A2), dolomit główny (Ca2), anhydryt górny (A1G) <i>Permian, Zechstein, Basal Anhydrite (A2), Main Dolomite (Ca2), UpperAnhydrite (A1G)</i>	6.22 6.86 4.38	3.49 3.76 2.10	1.78 2.08 1.76	2.89 2.93 2.11	0.27 0.33 0.26	Obrzycko 1, Pila IG 1 (nierozdzielone) (<i>not separated</i>)
perm, cechsztyń, anhydryt górny i dolny (A1G+A1D): anhydryty <i>Permian, Zechstein, Upper and Lower Anhydrite (A1G+A1D): anhydrites</i>	6.01 6.10 5.44	3.36 3.42 3.04	1.79 1.80 1.79	2.96 2.99 2.75	0.27 0.28 0.27	Środa Wielkopolska 4 (razem) (<i>total</i>)
perm, cechsztyń, anhydryt górny (A1G): anhydryty <i>Permian, Zechstein, Upper Anhydrite (A1G): anhydrites</i>	5.95 5.97 5.93	3.26 3.27 3.25	1.83 1.83 1.83	2.93 2.94 2.92	0.29 0.29 0.29	Golce 1
perm, cechsztyń, sól najstarsza (Na1): sole kamienne <i>Permian, Zechstein, Werra Salt (Na1): salts</i>	4.69 5.60 4.40	2.43 3.05 2.11	1.94 2.09 1.83	2.16 2.29 2.06	0.32 0.35 0.26	Pila IG1, Obrzycko 1, Golce 1

Tabela (Table) 4 cd. / cont.

perm. cechsztyń, anhydryt dolny (AID): anhydryty, ily <i>Permian, Zechstein, Lower Anhydrite (AID): anhydrites, claystones</i>	6.05 6.54 5.42	3.38 3.72 2.91	1.79 1.86 1.76	2.90 2.94 2.40	0.27 0.30 0.27	Golce 1, Piła IG 1, Obrzycko 1
perm, cechsztyń, wapień cechsztyński, łupki miedzionośny (Ca I+ II): dolomity, łupki <i>Permian, Zechstein, Zechstein Limestone, Cooper Shale (CaI+II): dolomites, shales</i>	5.81 6.16 4.09	3.09 3.57 2.12	1.88 1.94 1.60	2.72 2.98 2.61	0.30 0.32 0.20	Winna Góra 1, Środa Wielkopolska 4, Obrzycko 1, Piła IG1, Golce 1
perm, czerwony spągowiec, sakson (Ps): piaskowce, drobnoziarniste białe, średnioziarniste brązowe, czerwone <i>Permian, Rotliegend, Saxonian (Ps): white fine-grained, brown medium-grained, red sandstone</i>	4.71 5.94 3.40	2.91 3.56 2.02	1.63 1.93 1.51	2.57 2.74 2.26	0.19 0.32 0.11	Środa Wielkopolska 4, Obrzycko 1, Piła IG1, Golce 1
perm, czerwony spągowiec, sakson (Ps): piaskowce, nasycenie gazem <i>Permian, Rotliegend, Saxonian (Ps): sandstones, gas saturation</i>	4.31 4.92 3.68	2.77 3.25 2.35	1.56 1.74 1.50	2.39 2.65 2.17	0.14 0.25 0.10	Winna Góra 1
perm, czerwony spągowiec, autun (Ps): ilowce, piaskowce <i>Permian, Rotliegend, Autun (Ps): claystones, sandstones</i>	4.75 4.98 4.19	2.92 3.16 2.50	1.63 1.71 1.58	2.60 2.65 2.46	0.20 0.24 0.16	Piła IG1
perm, czerwony spągowiec, autun (Ps): seria wylewna <i>Permian, Rotliegend, Autun (Ps): Volcanic Series</i>	5.66 5.96 5.27	3.17 3.33 2.95	1.79 1.79 1.78	2.81 2.85 2.78	0.27 0.27 0.27	Obrzycko 1

TLUMIENIE FAL SPRĘŻYSTYCH

Współczynnik dobroci Q został wyznaczony na podstawie interpretacji widm amplitudowych akustycznych obrazów falowych. Interpretację wykonano w aplikacji FalaFWS w systemie GeoWin (Jarzyna *et al.* 2007). Wybrano pary AOF, które spełniały wymogi poprawności zapisu (niższa amplituda drgań w pakietach fal P i S na zapisie dalszym rejestratorem, odpowiednie czasy pierwszych wstąpień fal). Przyjęto założenie, że amplituda sygnału, a także widmo amplitudowe są funkcją energii niesionej przez falę i traconej w ośrodku skalnym na skutek wpływu odległości i dyspersji (Cheng 1989). Obliczono wartości Q w wybranych formacjach litostratygraficznych na podstawie analizy par AOF w dziedzinie czasu i dziedzinie częstotliwości. Podstawowe statystyki uzyskanych wyników Q przedstawiono w tabeli 5. Rozrzut obliczonych wartości Q w tej samej formacji jest wynikiem niskiej jakości zapisu AOF. Wysokie wartości odchylenia standardowego wskazują na niską wiarygodność obliczonych wartości Q . W tabeli 5 znajdują się także średnie wartości czasu interwałowego fali P (DTP) oraz średnie wartości intensywności naturalnej promieniotwórczości (GR). Na podstawie danych z tabeli 5 opracowano zależność między wartościami GR będącymi miarą zailenia i czasem interwałowym fali P oraz między GR i Q (Fig. 17, 18). Równanie przedstawione na figurze 18 można wykorzystać do predykcji Q .

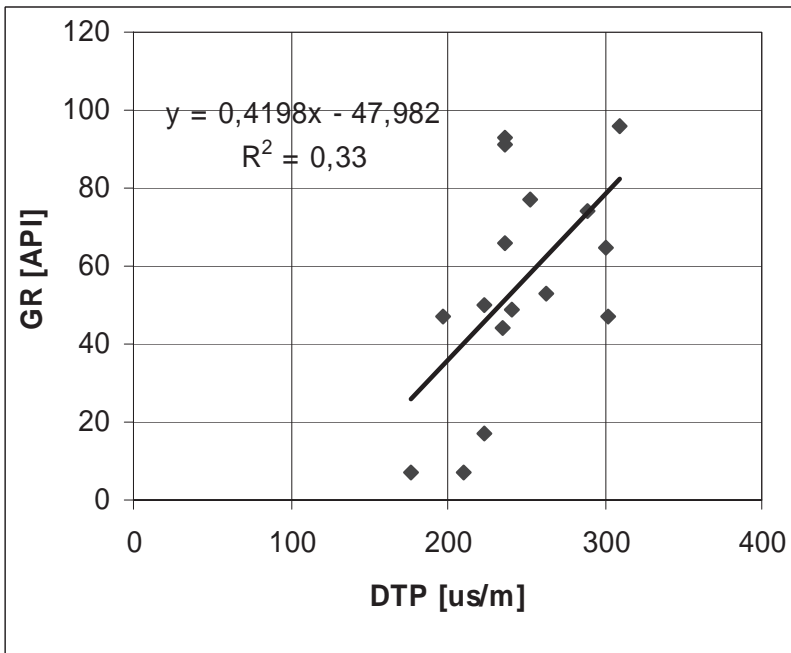


Fig. 17. Intensywność naturalnej promieniotwórczości vs. średni czas interwałowy fali P

Fig. 17. Natural radioactivity intensity vs. P-wave average slowness

Tabela (Table) 5
 Wartości współczynnika dobroci Q dla wybranych formacji litostratygraficznych
 Values of Q factor in the selected lithostratigraphic formations

Otwór <i>Well</i>	Okres <i>Stratigraphy</i>	H stropu [m] <i>Depth of the top</i>	H spągu [m] <i>Depth of the bottom</i>	Litologia <i>Lithology</i>	Q				DTP śred. [us/m] <i>DTP av.</i>	GR śred. [API] <i>GR av.</i>
					min <i>min</i>	maks. <i>max</i>	śred. <i>av.</i>	odch. st. <i>stand. deviation</i>		
Winna Góra 1	bajos Jbj <i>Bajocian</i>	593.9	612.39	iłowce, mułowce <i>claystones, mudstones</i>	8.28	82.37	22.41	14.8	–	86
Winna Góra 1	kajper górny <i>Upper Keuper</i>	1403.5	1424.3	górną seria gipsowa, iłowce, anhydryty <i>Upper Gypsum Series, claystones, anhydrites</i>	4.41	53.07	11.99	10.46	253	77
Winna Góra 1	wapień muszlowy <i>Muschelkalk</i>	1966.06	1972.76	wapień, wapień margliste, margle ilaste, iłowce <i>limestones, marly limestones, shaly marls, claystones</i>	3.88	42.03	15.66	8.93	263	53
Winna Góra 1	Tp3	2238.3	2331.8	iłowce, wapień, wapień dolomityczne, margle <i>claystones, limestones, dolomitic limestones, marls</i>	1.85	85.33	15.97	16.1	224	50
Śr. Wiel.4	J1	708.8	1035.4	piaskowce drobnoziarniste, mułowce, iłolupki <i>fine-grained sandstones, mudstones, shaly clays</i>	0.63	63.57	6.83	11.38	289	74
Śr. Wiel.5	J1 (WF1-WF2)	657.41	1034.02	mułowce, piaskowce, iłowce, iłolupki, węgle <i>mudstones, sandstones, claystones, shaly clays, coals</i>	4.03	243.29	30.2	39.95	197	47
Śr. Wiel.5	J1 (WF1-WF3)	657.81	726.5	mułowce, piaskowce, iłowce, iłolupki, węgle <i>mudstones, sandstones, claystones, shaly clays, coals</i>	5.16	178.55	23.47	32.57	302	47

Tabela (Table) 5 cd. / cont.

Otwór Well	Okres Stratigraphy	H stropu [m] Depth of the top	H spągu [m] Depth of the bottom	Litologia Lithology	Q				DTP śred. [us/m] DTP av.	GR śred. [API] GR av.
					min min	maks. max	śred. av.	odch. st. stand. deviation		
Miłosław 3	A4G	2970	2974.5	iłowce, anhydryty, sole <i>claystones, anhydrites, salts</i>	5.16	49.63	20.33	19.91	236	66
Miłosław 3	Tp1	2613.4	2901	iłowce wapieniste brązowe, mulowce, piaskowce, anhydryty <i>calcareous brown claystones, mudstones, sandstones, anhydrites</i>	6.55	35.82	13.81	7.7	236	91
Kromolice 2	Na4	3016	3027.5	sól <i>salts</i>	10.59	123.6	88.00	42.82	210	7
Kromolice 2	Tk1	2003.8	2067	kajper <i>Keuper</i>	9.08	56.5	20.84	14.7	300	65
Kromolice 2	Tk3D	1993.7	1998.7	dolna seria gipsowa <i>Lower Gypsum Series</i>	9.93	184.73	47.61	65.24	241	49
Kromolice 2	Tm3	2089.9	2125.2	wapień muszlowy <i>Muschelkalk</i>	7.1	189.2	44.46	44.91	235	44
Grundy 2	IP	3621.2	3631.5	iłowce, mulowce brązowe <i>claystones, brown mudstones</i>	11.61	78.48	21.68	30.46	236	93
Grundy 2	A1D	4206.5	4229.6	anhydryty ilaste, wapieniste <i>argillaceous calcareous anhydrites</i>	5.07	11.24	-	2.1	176	7
Grundy 2	Autun <i>Autun</i>	4836.73	4872.23	piaskowce drobnoziarniste, szare, brązowe, iłowce, mulowce <i>grey brown fine-grained sandstones, claystones, mudstones</i>	6.51	45.76	12.7	11.63	310	96

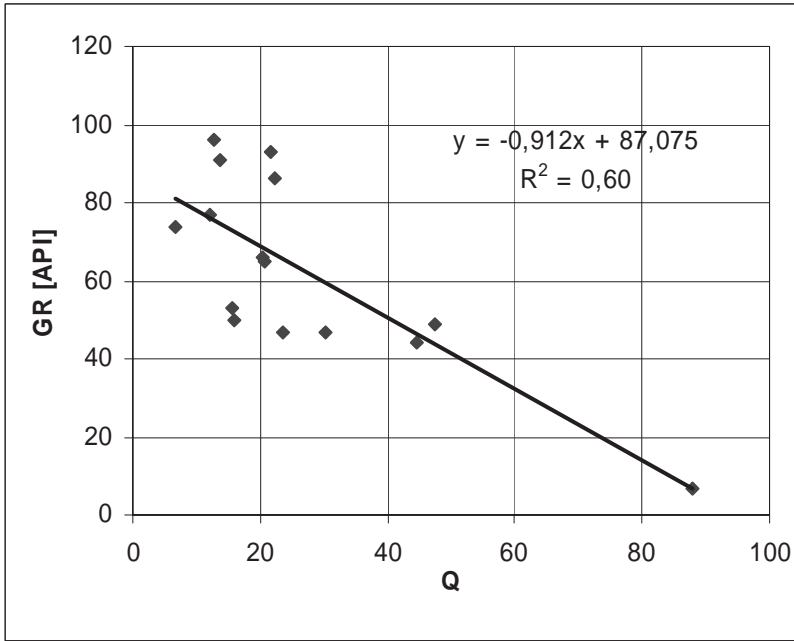


Fig. 18. Średnia wartość intensywności naturalnej promieniotwórczości vs. średnia wartość Q

Fig. 18. Average intensity value of natural radioactivity vs. average Q value

Wartość współczynnika Q zmienia się w szerokim przedziale: 6.83–88. Dla małych wartości wpływ Q na obniżenie prędkości wyznaczonej z profilowania akustycznego jest niewielki, rzędu kilku procent, ale dla wartości maksymalnych obniżenie prędkości może sięgnąć 30% (Boyer & Mari 1997).

PODSUMOWANIE

Przedmiotem analizy były wyniki pomiarów sondą FWS i wyniki interpretacji akustycznych obrazów falowych w otworach znajdujących się w pobliżu doświadczalnej linii sejsmicznej. Do analizy włączono także parametry uzyskane w programie Estymacja. Przedstawiono zakresy zmian czasów interwałowych fal sprężystych P i S oraz dynamicznych parametrów sprężystych: modułu Younga, sprężystości objętości i postaci oraz stałej Poissona dla formacji litostratygraficznych wydzielonych w badanych otworach. Wykazano, że nie następuje utrata istotnych informacji w zakresie badanych parametrów w procesie uśredniania (filtrowania) i interpolacji danych geofizyki otworowej. Przedstawiono przedziały zmienności i średnie wartości czasów interwałowych (prędkości) fal P i S dla wszystkich formacji wyznaczonych w otworach.

Praca została wykonana w ramach realizacji projektu badawczego „Poprawa efektywności badań sejsmicznych w poszukiwaniach i rozpoznawaniu złóż gazu ziemnego w utworach formacji czerwonego spągowca”.

Autorki dziękują prof. dr. hab. inż. Wojciechowi Góreckiemu za zaproszenie do współpracy. Dziękują także PGNiG SA Oddziałowi w Zielonej Górze oraz spółkom Geofizyka Toruń i Geofizyka Kraków za udostępnienie danych pomiarowych.

LITERATURA

- Aki K. & Richards P.G., 1980. *Quantitative Seismology. Vol. 1.* W.H. Freeman and Co., New York.
- Bała M. & Cichy A., 2006. *Metody obliczania prędkości fal P i S na podstawie modeli teoretycznych i danych geofizyki otworowej – program Estymacja.* Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- Boyer S. & Mari J.-L., 1997. *Seismic surveying and well logging.* Editions Technip, Paris.
- Cheng C.H., 1989. Full waveform inversion of P waves for V_s and Q_p . *Journal of Geophysical Research*, 94, 15619–15625.
- Górecki W. et al., 2010. *Poprawa efektywności badań sejsmicznych w poszukiwaniach i rozpoznawaniu złóż gazu ziemnego w utworach czerwonego spągowca. Sprawozdanie z projektu. Etap III.* Archiwum KSE, WGGiOŚ AGH.
- Jarzyna J., Bała M., Cichy A., Gądek W., Karczewski J., Marzencki K., Stadtmüller M., Twaróg W., Zorski T., Jarzyna J., Bała M. & Cichy A., 2007. *Przetwarzanie i interpretacja profilowań geofizyki wiertniczej – system GeoWin. Cz. II: Nowe aplikacje i uzupełnienia.* Arbor, Kraków.
- Jarzyna J., Bała M. & Krakowska P., 2011. Modele prędkościowe na potrzeby sejsmiki na podstawie profilowań geofizyki otworowej. *Geologia* (kwartalnik AGH), 37, 3, 447–473.

Summary

Sonic logging in wells is based on the same physical principle as seismics with the difference being the frequency of elastic waves. Frequencies between 15–20 kHz in sonic logs and between 30–60 Hz in seismics define already the vertical resolution of the methods. After interpretation of acoustic full wavetrains, AFW, a substantial amount of data was obtained due to very fine step of recording in depth (0.1 m). In order to filter and smooth the well log results as well as to reduce the great amount of data an averaging operation using FalaFWS application as well as interpolation using Funmat application of GeoWin system were performed. The results for the selected depth interval of 350.2–1891.4 m in the Śr.Wielk.4 well were presented in table 1 and figures 1–5. The results of the next test for different lithostratigraphic formations were presented in table 2 and figures 6–9. It was shown that there is no essential information loss in the range of analyzed parameters during the averaging (filter) and interpolation process of the well log data. The collective results of AFW interpretation

in terms of average P-wave slowness, S-wave slowness and elastic moduli like: E, K, MI and Poisson ratio, NI, and V_p/V_s ratio together with GR and RHOB from logs were presented in table 3. Mutual relations between average values of DTP, DTS and RHOB (Tab. 3) were presented in figures 10–12. Variability of the DTP and DTS vs. depth was illustrated in figures 13 and 14 and variability of RHOB and GR vs. depth is presented in figures 15 and 16. Parameters obtained in Estymacja program were also included in the analysis (Tab. 4). The range of variability of the P-wave velocity, S-wave velocity and dynamic elastic moduli: Young modulus, bulk modulus, shear modulus and Poisson ratio were presented for lithostratigraphic formations in the selected analyzed wells. Variation intervals and average P- and S-wave slowness (velocities) for all formations marked out in wells were presented. Simple statistics for Q parameter for the selected formations identified in geological well profiles were presented in table 5. Plots of Q vs. DTP and GR were presented in figures 17 and 18. The obtained results may be used to construct seismic models of velocity and attenuation of elastic waves.