

Robert Bartoń

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Wyznaczanie kierunkowych zmian prędkości fal poprzecznych w strefie okołootworowej na podstawie azymutalnych pomiarów PPS 3C

W niniejszej publikacji zaprezentowano wyznaczanie kierunkowych zmian prędkości fal przemiennych poprzecznych PS w ośrodku geologicznym na podstawie rzeczywistych azymutalnych pomiarów offsetowych PPS 3C. Realizacja przedmiotowego zadania była wykonywana na zarejestrowanych wieloazymutalnych pomiarach PPS 3C, pochodzących z północnego obszaru Polski. Przedstawiona metodyka obliczania prędkości interwałowych fal poprzecznych (anizotropia poprzeczna) jest poprawna i jednoznaczna. Dokładność wyznaczenia wartości anizotropii zależy od poprawności przetwarzania pomiarów trójskładnikowych PPS 3C oraz precyzji obliczenia prędkości interwałowych fal SV i SH.

Słowa kluczowe: anizotropia poprzeczna, PPS 3C, prędkość fal PS.

Determination of directional velocity changes of transverse waves in near-wellbore zone based on VSP 3C

This article presents the determination of the directional velocity changes of shear waves PS in geological medium based on real azimuthal measurements of offset VSP 3C. Implementation of this task was performed on recorded multi-azimuth measurements VSP 3C from northern Poland. The presented methodology for the calculating of the interval velocity of converted shear waves (transverse anisotropy) is correct and explicit. Accuracy for the determination of anisotropy value depends on the correctness in the processing of VSP 3C measurements and the precision of calculations of the interval velocity of SV and SH waves.

Key words: transverse anisotropy, VSP 3C, velocity of PS waves.

Wstęp

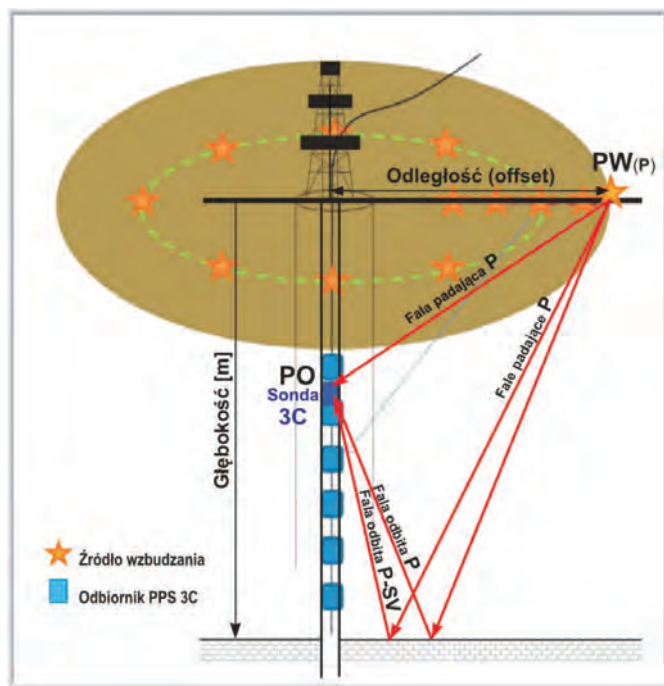
Precyzyjne określenie zmian parametrów sprężystych w strefie okołootworowej umożliwia poprawne rozpoznanie własności geomechanicznych ośrodka geologicznego oraz rozkład parametrów złożowych w sąsiedztwie badanego otworu. Właściwa identyfikacja głównych kierunków szczelinowości zbiornika przyczynia się do optymalnego procesu eksploatacji złoża węglowodorów, uwzględniając fakt, że szczeliny mogą służyć jako przewody do transportu mediów (węglowodorów). Powyższe informacje są bardzo

istotne, zwłaszcza gdy mamy do czynienia ze złożami niekonwencjonalnymi typu *tight gas*, *shale gas* czy *oil gas*.

Użycie technologii pomiarów PPS 3C typu wieloazymutalnego stanowi unikalną możliwość identyfikacji kierunkowej anizotropii parametrów sprężystych ośrodka geologicznego oraz potencjalnych stref i głównych kierunków spękań wokół otworu. Analizy okołootworowe na podstawie takich pomiarów mogą być istotnie pomocne w określeniu dystrybucji szczelin i ich intensywności wokół otworu.

Metodyka azymutalnych pomiarów PPS 3C

Metoda pomiarów pionowego profilowania sejsmicznego PPS w wersji oddalonej (offset) dla różnych azymutów przy użyciu sond wieloskładnikowych 3C (PPS 3C) jest najbardziej pomocną z metod sejsmicznych w badaniu anizotropii parametrów fizycznych ośrodka geologicznego (rysunek 1). Generowane na powierzchni fale sprężyste są odbierane przez sondy wieloskładnikowe znajdujące się w otworze, co umożliwia obserwację zmian pola falowego *in situ* [3, 5, 8].

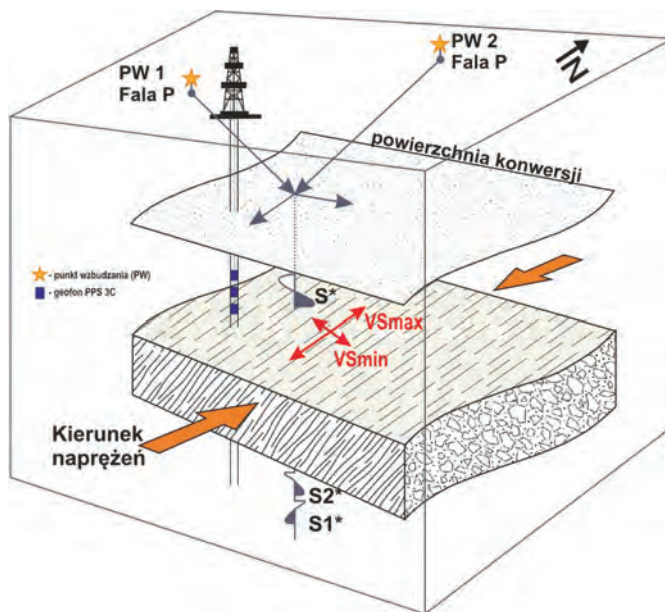


Rys. 1. Schemat azymutalnego układu pomiarowego w metodzie PPS 3C (multi-offset VSP) wraz z uwzględnieniem geometrii propagacji fal sejsmicznych

Zasada pomiaru typu offset PPS 3C (three-component – 3C, rysunek 1) polega na generowaniu fal sejsmicznych w znacznej odległości od otworu wiertniczego (od kilkuset do kilku tysięcy metrów) i ich rejestracji poprzez przemieszczającą się wzdłuż osi otworu – o zadany interwał pomiarowy – sondę złożoną z trzech wzajemnie do siebie prostopadłych geofonów: składowej Z – geofonu usytuowanego pionowo i składowych X i Y – geofonów położonych w płaszczyźnie poziomej, tak że każda składowa (geophone component) odbiera tylko określony kierunek drgań cząstek ośrodka. Typ pomiaru PPS 3C stwarza możliwość identyfikacji i selekcji fal kompresyjnych typu P, fal poprzecznych typu S oraz fal przemiennych poprzecznych PS, będących efektem konwersji fali P na granicach litostratygraficznych. Ta właściwość rejestracji umożliwia poprawne odtworzenie kształtu sygnału oraz amplitudy pola falowego generowanego przez źródło sejsmiczne [10, 12].

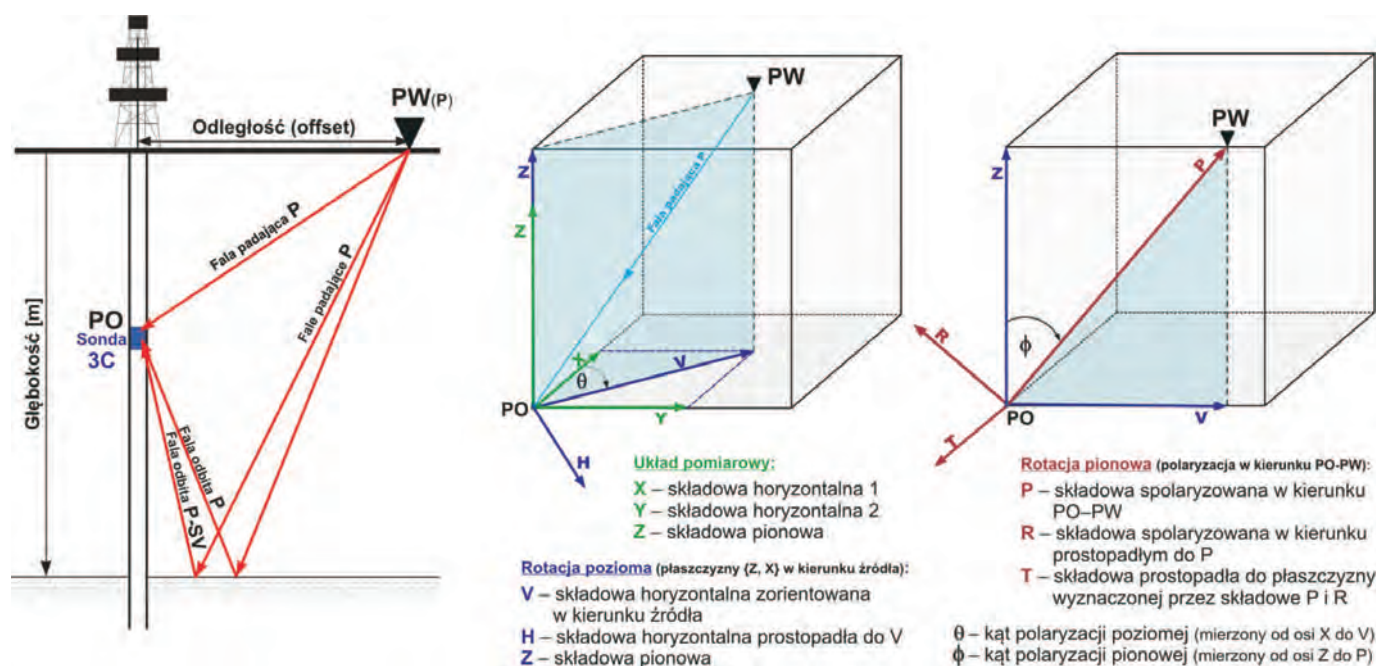
Pomiary PPS 3C dla różnych azymutów pozwalają na dokładną obserwację zmian amplitud i dynamiki pola falowego fal podłużnych P oraz poprzecznych S w strefie okołotworowej. Obliczone prędkości interwałowe z czasów pierwszych wstąpień fal podłużnych i poprzecznych są podstawą do szacowania ilościowej anizotropii oraz badania kierunkowej zmienności parametrów sprężystych w okołotworowej przestrzeni geologicznej [1, 12].

Wykorzystanie pomiarów azymutalnych PPS 3C w wersji offset lub multi-offset do wyznaczenia parametrów anizotropii poprzecznej oraz określenia kierunków szczelinowatości polega na analizie polaryzacji fal poprzecznych, składowej szybkozmiennej S1 oraz wolnoziennej S2 (rysunek 2). Tak propagujące przez ośrodek geologiczny dwie fale poprzeczne są zależne od amplitudy i kierunku anizotropii. Analizy ruchów cząstek fal poprzecznych w postaci obrazów polaryzacji są ważnym wskaźnikiem w badaniu i interpretacji anizotropii ośrodka geologicznego [3, 7, 13].



Rys. 2. Schemat pomiarów offsetowych PPS 3C w ośrodkach anizotropowych. Konwersja fali P do PS – polaryzacja fali PS na szybkość S1 i wolną S2

Określanie kierunków drgań cząstek ośrodka skalnego powstałych wskutek generowania fali sprężystej następuje metodą analityczną – metodą polaryzacyjną [3, 10]. Na podstawie tzw. hodogramu, który obrazuje relację amplitud trasy sejsmicznej w funkcji czasu, konstruowane są hodogramy dla określenia kątów rotacji: w płaszczyźnie poziomej – w celu orientacji sondy w kierunku źródła (PW) oraz w płaszczyźnie pionowej – polaryzującej fale padające zgodnie z kierunkiem punktu odbioru – punktu wzbudzenia (PO–PW).



Rys. 3. Schemat pomiarowy PPS sondą 3C wraz z układem rotacji składowych Z, X, Y w metodzie polaryzacyjnej [opracowane według instrukcji systemu UNIVERS]

Rozdzielenie pól fali podłużnej i przemieszczającej fali poprzecznej wykonywane jest metodą polaryzacyjną (rysunek 3), polegającą na określeniu kierunków drgań cząstek ośrodka i obliczeniu kątów polaryzacji [5, 10].

Rejestracja pola falowego w metodzie PPS 3C, w zależności od warunków akwizycji oraz zastosowanej technologii pomiarowej, pozwala otrzymywać wyniki charakteryzujące się różną jakością zapisu. Na zarejestrowanych danych rzeczywistych PPS 3C obserwuje się zapis fal użytecznych – padających (*downgoing waves*), charakteryzujących się wysoko amplitudowym zapisem pierwszych wstąpień, oraz następujących po nich fal padających wielokrotnych (*downgoing multiples*), powstających na różnych głębokościach ośrodka geologicznego. Ponadto obserwuje się fale odbite jednokrotne (*upgoing waves*) i następujące po nich fale odbite wielokrotne (*upgoing multiples*), posiadające znacznie słab-

szą amplitudę. W przypadku rejestracji PPS 3C dodatkowo powstają fale poprzeczne – konwertowane. Wraz z rejestracją fal użytecznych na zapisie sejsmicznym rejestruje się wiele zakłóceń – zarówno koherentnych, jak i przypadkowych, pochodzących m.in. od aparatury pomiarowej, kolumny rur wraz z płynami złożowymi, strefy przypowierzchniowej, aktywności cywilizacyjnej, które w dużym stopniu wpływają na jakość S/N [8, 10].

Zasadniczym celem przetwarzania PPS jest usunięcie wszelkich możliwych zakłóceń, które zniekształcają rzeczywisty obraz fal użytecznych (padających, odbitych), a następnie wykonanie selekcji i eliminacji określonych typów fal, wzmocnienie i zwiększenie rozdzielczości pola fal odbitych, a w efekcie końcowym – przygotowanie wyników PPS do korelacji z danymi sejsmiki powierzchniowej i geofizyki otworowej [6, 14].

Metodyka badań

Azymutalne pomiary pionowego profilowania sejsmicznego PPS 3C zostały wykonane w otworze W-1, zlokalizowanym w północnej części Polski, przez Zespół Sejsmiki Otworowej 1D/T Geofizyki Toruń w 2011 roku. Źródłem wzbudzenia był wibrator MARK III, o zakresie częstotliwości *sweepu* 8÷100 Hz.

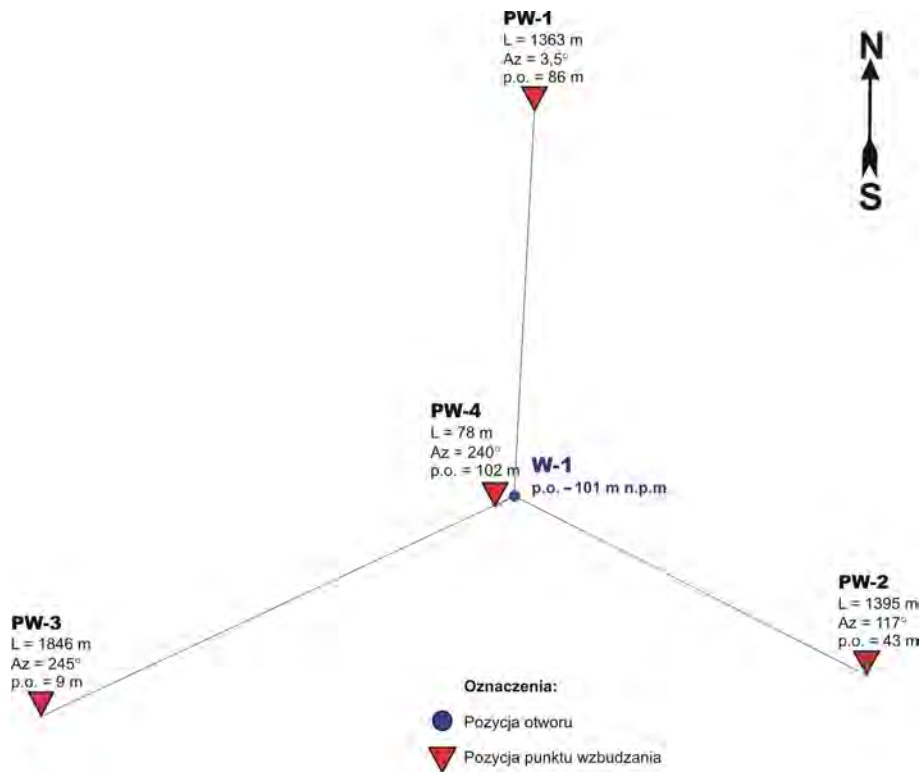
W otworze W-1 wykonane zostały cztery pomiary PPS 3C (rysunek 4, tablica 1):

- PW-1, PW-2 i PW-3 – punkty wzbudzenia offsetowe mierzone w przedziale 45÷3045 m, interwał pomiarowy 15 m;

- PW-4 – punkt wzbudzenia zerooffsetowy, mierzony w przedziale 15÷3045 m, interwał pomiarowy 15 m.

Analizując dane wejściowe offsetowe PW-1–PW-3 składowej Z PPS 3C, można zauważyć fale padające podłużne (proste), fale poprzeczne padające oraz boczne (rysunki 5a, 6). Ponadto na polu falowym PW-3 dodatkowo wyraźnie zaznacza się fala podłużna odbita.

Warto podkreślić, że na odległych rejestracjach offsetowych PW-1–PW-3, na głębokościach 45÷1035 m, występuje intensywny harmoniczny szum, który wyraźnie osłabił



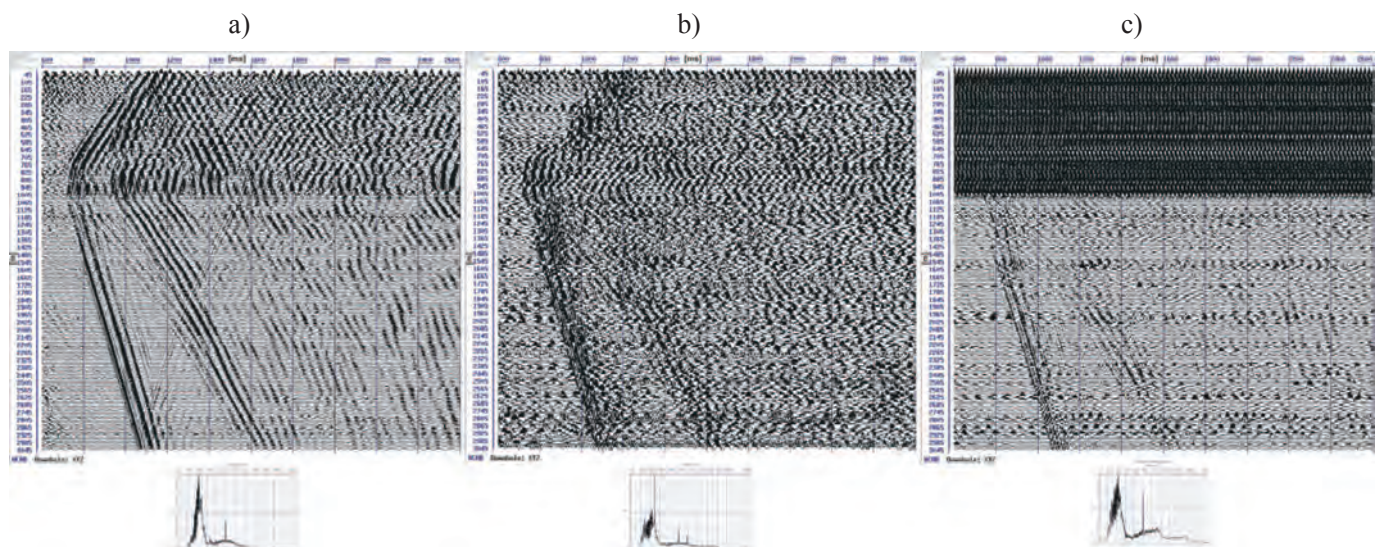
Rys. 4. Geometria rozmieszczenia punktów wzbudzeń PPS 3C w otworze W-1

rejestrację fal użytecznych oraz możliwość dokładnego określenia parametrów polaryzacji. Z tej przyczyny przetwarzanie danych oddalonych (PW-1–PW-3) zostało wykonane w interwale 1035÷3045 m (rysunek 5).

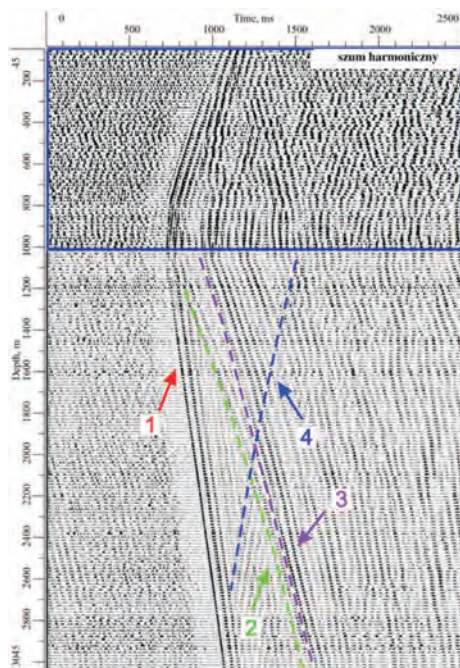
Przetwarzanie pomiarów wieloazymutalnych PPS 3C było wykonywane w systemie UNIVERS firmy Geovers Ltd. Moskwa. Wykorzystywano procedury: filtracji minimalnofazowej i pasmowej, edycji częstotliwościowej tras sejsmicznych, modelowania prędkości, selekcji różnych typów fal i modeli, wprowadzenia poprawek kinematycznych oraz dekonwolucji. Wykonanie powyższych procedur było niezbędne w celu uzyskania pola falowego składowych poziomych PPS, na których wyraźnie można byłoby wyznaczyć fale poprzeczne SV i SH.

Tablica 1. Geometria i parametry układu pomiarowego PPS 3C w otworze W-1

PW	Offset PW	Azymut PW	Zakres pomiaru / sonda	Niwelacja
Nr 1	1363 m	3,5°	45÷3045; 3C	-15 m
Nr 2	1395 m	117°	45÷3045; 3C	-58 m
Nr 3	1846 m	245°	45÷3045; 3C	-92 m
Nr 4	78 m	240°	15÷3045; 3C	+1,0 m



Rys. 5. Dane wejściowe zarejestrowane dla PW-3 wraz z obliczonymi widmami częstotliwościowymi. Składowe: a) Z, b) X, c) Y



Rys. 6. Pole wejściowe PPS 3C, punkt wzbudzenia PW-3, składowa Z

1 – fala padająca prosta, 2 – fala poprzeczna padająca, 3 – fala poprzeczna boczna, 4 – fala podłużna odbita

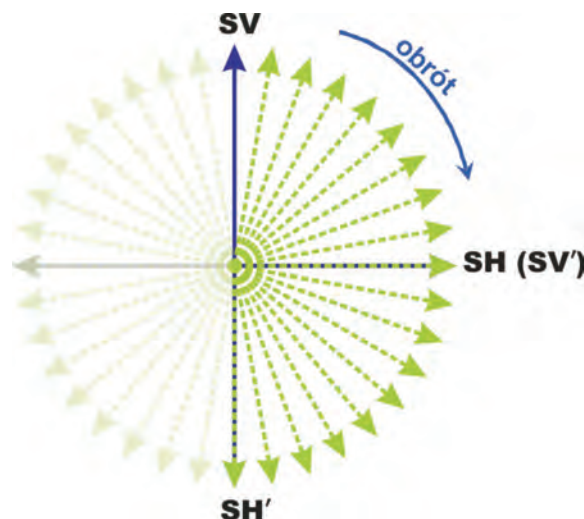
Wyznaczenie kierunkowych prędkości fal poprzecznych – anizotropia

Wyznaczenie kierunkowych zmian prędkości fal poprzecznych na pomiarach offsetowych PPS 3C (PW-1, PW-2, PW-3) było możliwe, ponieważ rejestracje składowych horyzontalnych pozwalały na śledzenie z różną intensywnością przebiegu fali przemiennej poprzecznej PS, rozpoczynającej się poniżej utworów cechsztyńskich (1070 m) i dochodzącej do utworów kambru (3051 m). Uzyskanie dobrego obrazu fal poprzecznych padających na wszystkich offsetowych rejestracjach wymagało wykonania wielu czynności procesingowych, jak selekcji, filtracji i eliminacji fal zakłócających, osłabiających przedmiotowe fale.

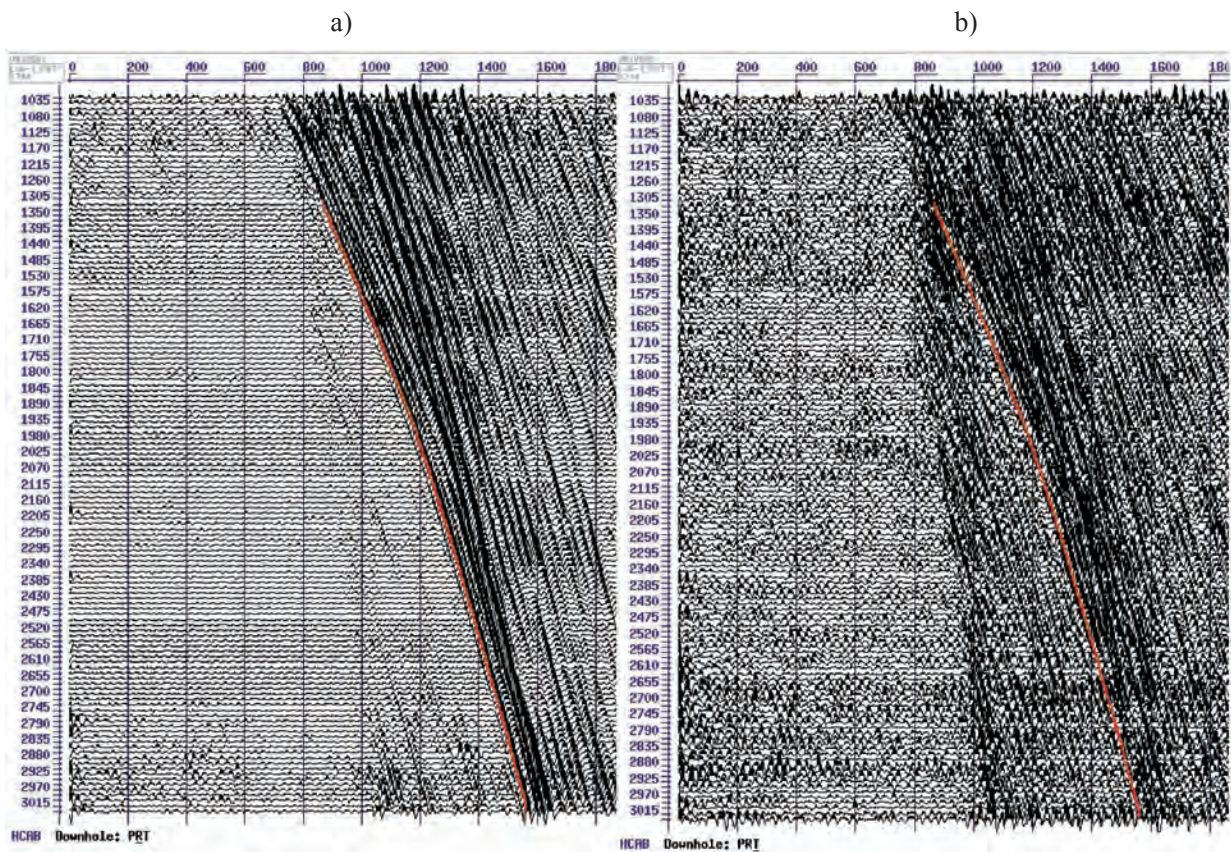
Opracowana metodyka wyznaczania interwałowych prędkości fal poprzecznych dla składowych SV i SH w systemie Univers polegała na wykonaniu procedur, w skład których wchodziły:

- przetwarzanie trójskładowych pomiarów PPS 3C w celu wyznaczenia fal padających poprzecznych – układ rotacji PRT (rysunek 8);
- wyznaczenie hodografów fali poprzecznej dla składowej R (rysunek 8);
- transformacja układu PRT (na podstawie obliczonych parametrów polaryzacji PPS) do układu geograficznego VHZ (XYZ), gdzie składowa SV (X) jest zorientowana na północ, a składowa SH (Y) na wschód (rysunek 9);
- wyznaczenie hodografów fali poprzecznej dla składowych SV, SH – pozycja 0° (rysunek 9);
- rotacja układu VHZ o zadany kąt (10°) (rysunek 7);
- wyznaczenie hodografów fali poprzecznej dla składowych SV, SH (rysunek 10);

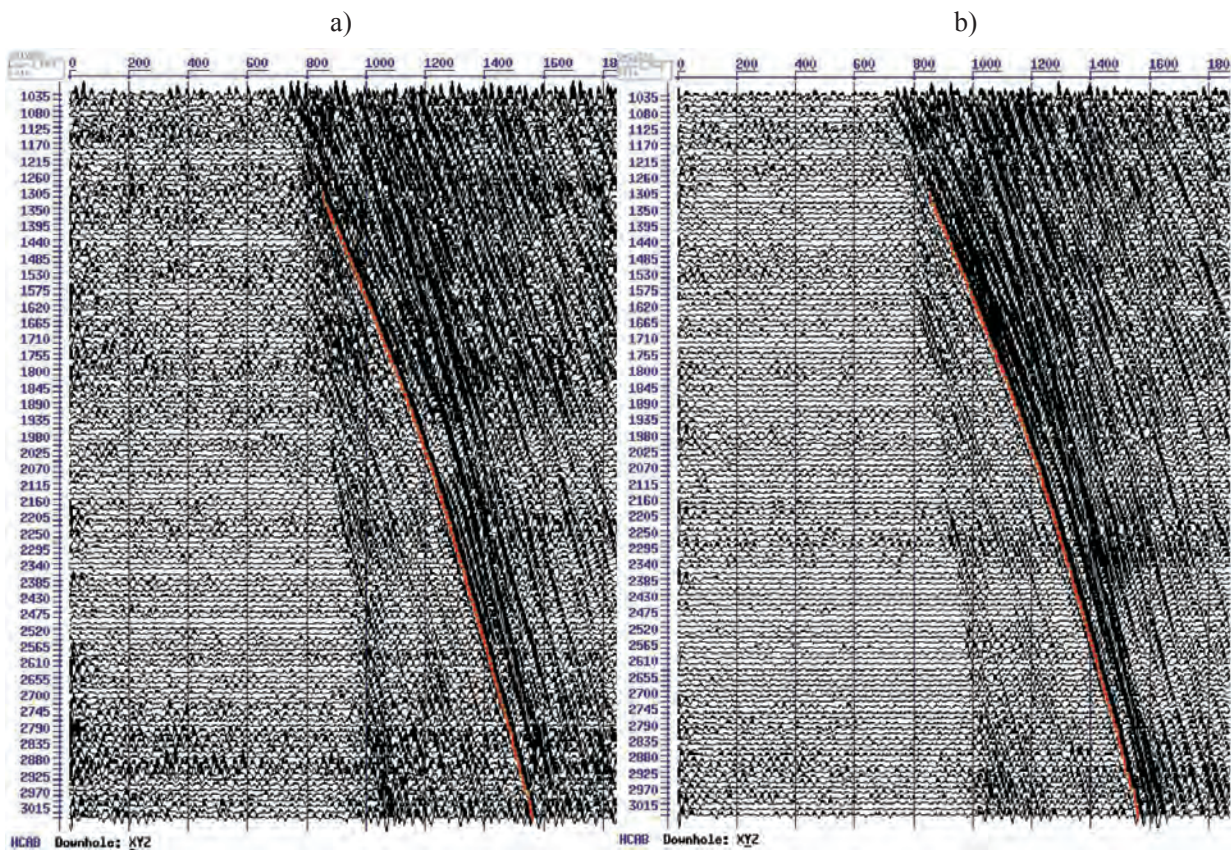
- powtarzanie procedury rotacji o zadany kąt układu VHZ do uzyskania wartości kąta obrotu 90° – po każdej rotacji wyznaczenie hodografów fali poprzecznej dla składowych SV i SH (rysunek 7);
- obliczanie prędkości interwałowych dla wyznaczonych hodografów w dużym oknie uśredniania ($20 \div 30$ tras) (rysunek 11);
- obliczenie stosunku wartości prędkości interwałowych SV/SH dla poszczególnych rotacji i wszystkich punktów wzbudzeń (rysunek 12);
- sporządzenie wykresów biegunowych obliczonej anizotropii prędkości fal poprzecznych w wyznaczonych interwałach (rysunek 13).



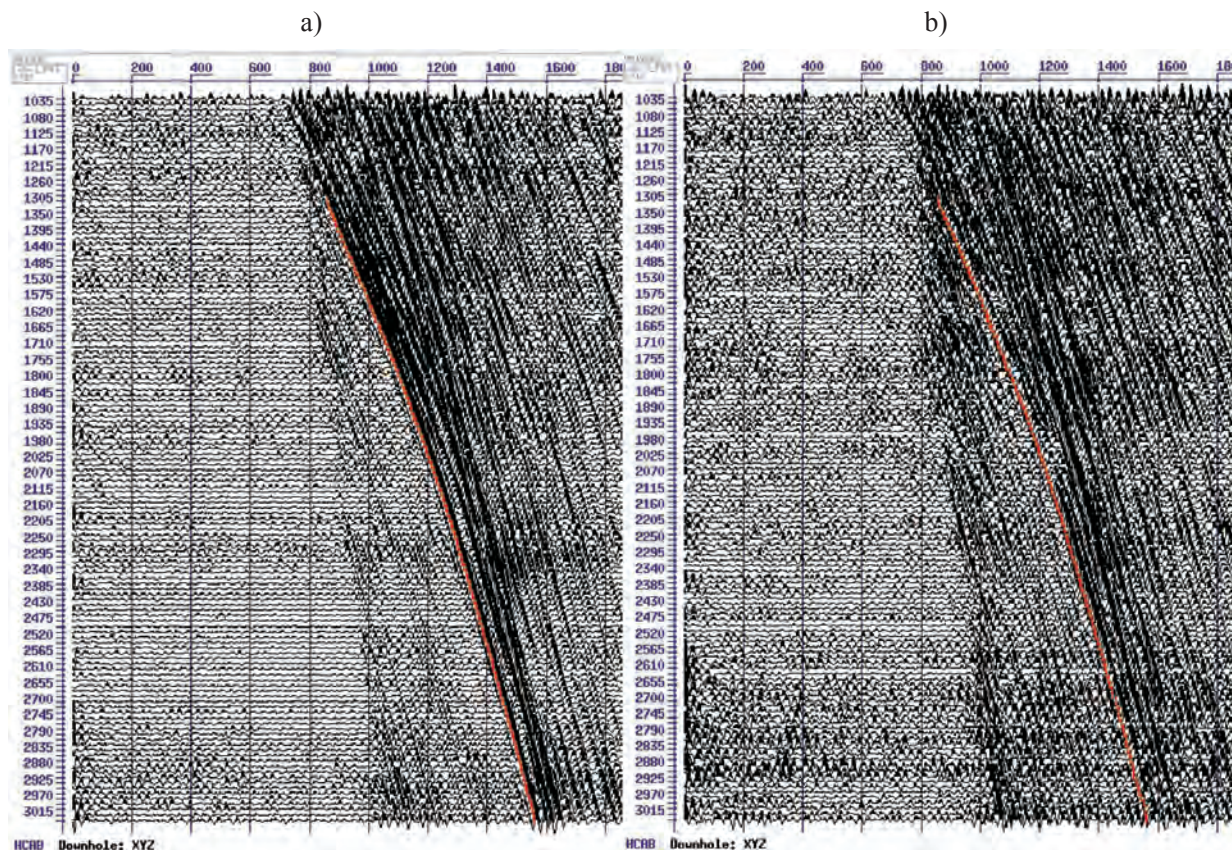
Rys. 7. Schemat rotacji składowych SV i SH pomiaru PPS 3C w celu wyznaczenia zmienności prędkości fal poprzecznych



Rys. 8. Wyselekcjonowane fale poprzeczne padające dla składowych: a) R (radialnej) i b) T (transwersalnej) wraz z wyznaczonym hodograwem fali padającej poprzecznej, PW-3



Rys. 9. Widok fal poprzecznych padających dla składowych: a) SV i b) SH wraz z wyznaczonymi hodograwami dla kąta rotacji 0°, PW-3

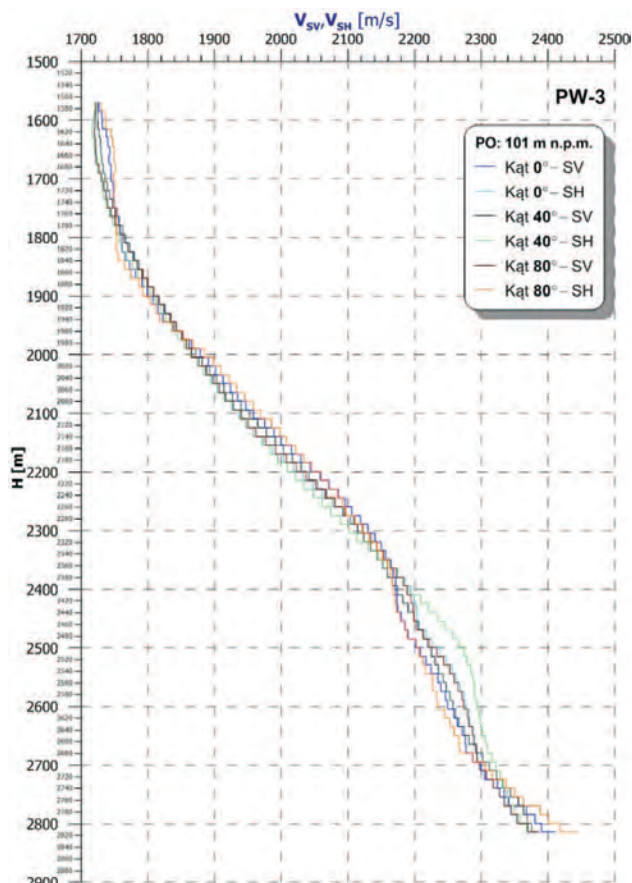


Rys. 10. Widok fal poprzecznych padających dla składowych: a) SV i b) SH wraz z wyznaczonymi hodografami dla kąta rotacji 80°, PW-3

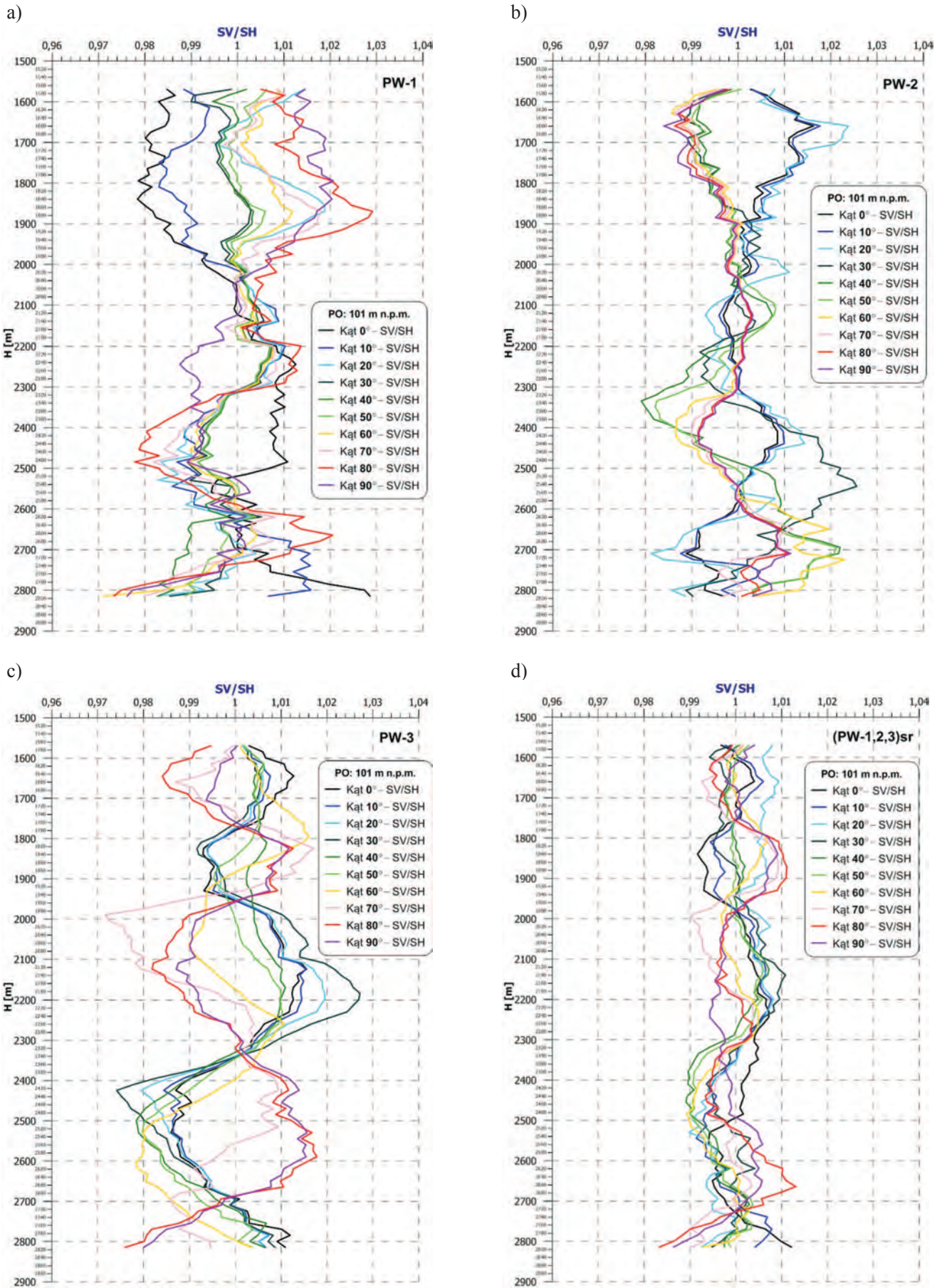
a)

H [m]	Kąt 0° SV	Kąt 0° SH	Kąt 40° SV	Kąt 40° SH	Kąt 80° SV	Kąt 80° SH
2214,3	2072,0	2047,5	2054,0	2034,2	2051,6	2070,6
2229,3	2085,6	2061,3	2067,5	2048,0	2065,3	2083,8
2244,3	2096,0	2076,9	2080,3	2061,4	2080,2	2092,4
2259,3	2105,8	2092,6	2092,0	2074,1	2095,1	2097,5
2274,3	2118,9	2107,6	2103,7	2088,7	2109,5	2111,2
2289,3	2129,9	2121,3	2114,5	2101,2	2122,7	2121,4
2304,3	2140,6	2133,4	2123,8	2113,5	2134,4	2131,8
2319,3	2150,2	2142,9	2134,2	2130,2	2143,5	2143,6
2334,3	2156,9	2153,9	2143,6	2145,3	2153,8	2151,3
2349,3	2163,6	2165,2	2152,0	2160,0	2164,2	2158,9
2364,3	2167,9	2174,4	2159,1	2172,4	2172,7	2164,1
2379,3	2171,6	2185,8	2166,3	2183,6	2183,0	2167,0
2394,3	2171,4	2192,7	2174,2	2195,6	2188,8	2167,3
2409,3	2173,5	2199,3	2182,1	2209,0	2194,5	2170,6
2424,3	2174,4	2203,0	2190,1	2220,9	2197,6	2172,4
2439,3	2179,9	2203,6	2198,9	2234,0	2198,8	2178,5
2454,3	2185,8	2206,8	2205,6	2245,7	2202,6	2184,7
2469,3	2190,2	2217,7	2212,7	2256,9	2213,1	2188,9
2484,3	2201,2	2226,1	2219,4	2266,2	2221,9	2202,5
2499,3	2208,2	2237,4	2225,2	2274,3	2233,4	2206,3
2514,3	2216,7	2247,0	2230,6	2279,1	2243,3	2212,2
2529,3	2224,6	2256,2	2235,9	2284,0	2252,6	2215,6
2544,3	2234,9	2262,1	2242,9	2288,2	2259,0	2226,8
2559,3	2239,3	2267,9	2247,3	2289,5	2265,0	2227,0
2574,3	2246,5	2274,1	2253,0	2290,6	2271,3	2233,4
2589,3	2249,4	2276,5	2257,5	2293,8	2273,9	2234,2
2604,3	2258,9	2281,3	2261,3	2296,7	2279,1	2245,1
2619,3	2264,3	2282,9	2266,4	2298,7	2281,2	2252,5
2634,3	2271,6	2288,3	2274,2	2301,3	2286,9	2259,2
2649,3	2275,8	2289,8	2281,6	2306,2	2288,6	2266,3
2664,3	2276,9	2292,5	2292,7	2309,3	2291,2	2267,4
2679,3	2287,2	2294,1	2302,5	2315,4	2293,4	2287,3
2694,3	2300,0	2298,0	2312,0	2322,0	2298,0	2305,3
2709,3	2304,9	2307,7	2322,7	2328,3	2307,4	2316,4
2724,3	2324,0	2317,9	2332,6	2331,1	2318,2	2337,0
2739,3	2334,2	2327,2	2343,7	2338,8	2327,5	2349,7
2754,3	2341,1	2334,1	2355,6	2339,8	2334,4	2363,3
2769,3	2367,8	2344,1	2363,2	2349,5	2344,7	2388,2
2784,3	2380,6	2352,5	2369,2	2357,6	2354,1	2400,5
2799,3	2390,2	2368,7	2375,6	2368,2	2369,8	2417,8

b)



Rys. 11. Tabela prędkości interwałowych fal poprzecznych SV i SH oraz ich graficzna ilustracja dla wybranych kątów rotacji, PW-3



Rys. 12. Graficzna ilustracja obliczonej anizotropii prędkości fal poprzecznych SV i SH dla trzech punktów wzbudzeń: a) PW-1, b) PW-2, c) PW-3 oraz d) dla wartości uśrednionej z PW-1, -2, -3, dla kątów rotacji w przedziale 0-90°

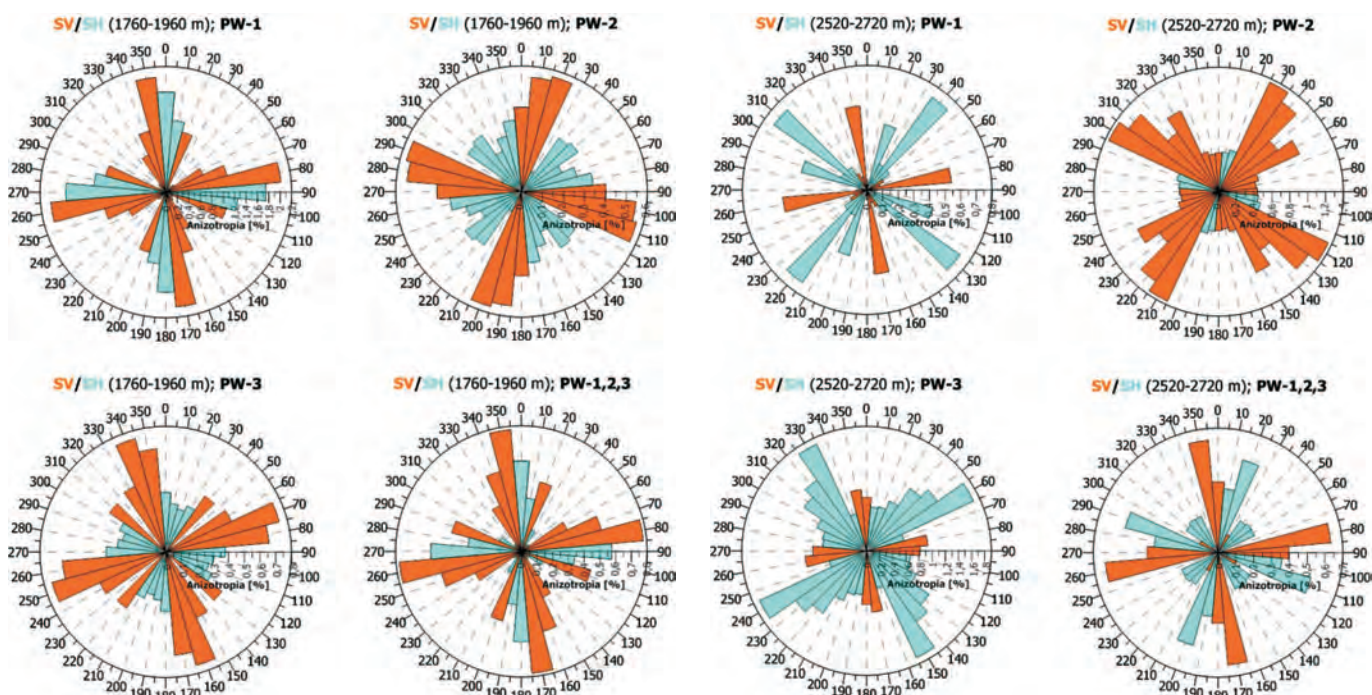
Śledzenie azymutalnych zmian anizotropowych fali poprzecznej SV i SH było wykonywane z krokiem obrotu 10° aż do kąta 90° . W przypadku kątów 0° i 90° można dostrzec prawie symetryczne podobieństwo obrazu krzywych (rysunek 12a–c), co potwierdza poprawność wyznaczenia parametrów polaryzacji – krzywe są niemal lustrzanym odbiciem.

Na rysunku 12d została zaprezentowana uśredniona anizotropia prędkości fal poprzecznych, obliczona z trzech offsetowych punktów wzbudzenia PW-1, PW-2, PW-3. Po analizie uzyskanych wyników wyznaczono wyraźniejsze zmiany anizotropii poprzecznej w dwóch interwałach: $1760\div 1960$ m oraz $2520\div 2720$ m dla kąta rotacji 80° . Uśredniona wartość procentowa zmian anizotropii prędkości fali poprzecznej oraz obliczone odchylenie standardowe w tych interwałach przedstawiono w tabelicy 2. Z obliczeń tych wynika, że średnia anizotropia prędkości fal poprzecznych w wybranych interwałach jest bardzo mała – dla interwału $1760\div 1960$ m w opcji PW-1,2,3sr wynosi $0,77\%$ i waha się w granicach $-0,65\div 2,02\%$ dla punktów wzbudzeń PW-1, PW-2, PW-3. W przypadku interwału $2520\div 2720$ m średnia wynosi $0,63\%$, a wahania należą do przedziału $0,42\div 0,93\%$.

Tabela 2. Zestawienie uśrednionych wartości anizotropii fal poprzecznych PS

PW	Wartość średnia / procentowa	Odchylenie standardowe
Interwał: $1760\div 1960$ m		
PW-1	1,0202 / 2,02%	0,0033
PW-2	0,9965 / -0,65%	0,0030
PW-3	1,0066 / 0,66%	0,0003
PW-1,2,3sr	1,0077 / 0,77%	
Interwał: $2520\div 2720$ m		
PW-1	1,0054 / 0,54%	0,0002
PW-2	1,0042 / 0,42%	0,0006
PW-3	1,0093 / 0,93%	0,0008
PW-1,2,3sr	1,0063 / 0,63%	

Graficzna ilustracja zmienności anizotropii prędkości fal poprzecznych PS dla interwałów $1760\div 1960$ m i $2520\div 2720$ m, punktów wzbudzeń PW-1, PW-2, PW-3, została zaprezentowana na rysunku 13. Uśrednione wartości anizotropii prędkości fali poprzecznej (PW-1,2,3sr) dla obydwu interwałów wykazują kierunek z zachodu na wschód.



Rys. 13. Biegunowa orientacja obliczonej zmienności prędkości interwałowej (anizotropii) fal poprzecznych w interwałach: a) $1760\div 1960$ m oraz b) $2520\div 2720$ m dla azymutalnych punktów wzbudzeń PW-1, PW-2, PW-3 i wartości uśrednionej PW-1,2,3 (PW-1,2,3sr)

Podsumowanie i wnioski

Zaprezentowana metodyka obliczania prędkości interwałowych fal poprzecznych (anizotropia poprzeczna) jest poprawna i jednoznaczna. Dokładność wyznaczenia wartości

anizotropii zależy od poprawności przetwarzania pomiarów trójskładnikowych PPS 3C oraz precyzji określenia prędkości interwałowych fal SV i SH.

Ostateczne wyniki obliczonej zmienności prędkości interwałowej fal poprzecznych, azymutalnych pomiarów PPS 3C, w postaci wykresów biegunowych, warto zestawiać z wynikami profilowań geofizycznych, pochodzących z interpretacji upadomierza SED, skanera akustycznego CAST czy sondy akustycznej *full wave sonic*. Zintegrowana interpretacja rozkładu parametrów sprężystych profilowań

otworowych z pomiarami PPS 3C pozwoli z większą dokładnością rozpoznać geomechaniczne własności ośrodka geologicznego, umożliwiając przeprowadzenie prac eksploatacyjnych z optymalnym efektem i wydajnością. Ma to istotne znaczenie dla rentowności eksploatacji w rejonach występowania złóż niekonwencjonalnych typu *shale gas* czy *oil gas*.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 8, s. 483–492

Autor składa serdeczne podziękowania Dyrekcji Oddziału Geologii i Eksploatacji PGNiG SA za udostępnione materiały sejsmiczne, wykorzystane w niniejszej publikacji. Dodatkowo autor dziękuje dr. A. Tabakowowi za udzielone konsultacje w trakcie przetwarzania azymutalnych pomiarów PPS 3C.

Artykuł powstał na zlecenie z PGNiG SA; nr archiwalny: DK-4100-284/11 oraz z pracy statutowej pt. *Procedura określania kierunkowych zmian parametrów sprężystych ośrodka geologicznego w strefie okołootworowej* – praca INiG na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 37/SR/13, nr archiwalny: DK-4100-37/13.

Literatura

- [1] Barton N.: *Fracture-induced seismic anisotropy when sharing is involved in production from fractured reservoirs*. Journal of Seismic Exploration 2007, vol. 16, pp. 115–143.
- [2] Barton R.: *Rola powierzchniowych badań sejsmicznych i pomiarów PPS w poszukiwaniach niekonwencjonalnych złóż węglowodorów typu shale-gas*. Wiadomości Naftowe i Gazownicze 2012, nr 10, s. 4–6.
- [3] Barton R.: *Role of VSP measurement in investigation of anisotropy of geological medium*. Galperin Readings 2011, Moscow CGE 24–28 October 2011.
- [4] Barton R.: *Zastosowanie pomiarów PPS 3C do szczegółowego odwzorowania i interpretacji strefy okołootworowej*. Nafta-Gaz 2010, nr 7, s. 561–572.
- [5] Galperin E. I.: *Vertical Seismic Profiling: experience and results*. M. Nauka, 1994.
- [6] Gomez G., Planchart C., Chon Y., Massimo A., Gonzalez G., Sifontes E., Octavio D.: *How integration of well log, core, borehole seismic and cross-well seismic data can offer a powerful tool in complex structural situations*. First Break 2002, vol. 20, issue 6, pp. 404–410.
- [7] Grechka V., Mateeva A., Gentry C., Jorgensen P., Lopez J., Franco G.: *Estimation of seismic anisotropy from P-wave VSP data*. The Leading Edge 2007, vol. 26, pp. 756–759.
- [8] Hardage B. A.: *Vertical Seismic Profiling: Principles*. Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration vol. 14. Elsevier Science 2000.
- [9] Kostecki A.: *Algorytm migracji MG(F-K) dla anizotropowego ośrodka typu HTI (Horizontal Transversely Isotropy)*. Nafta-Gaz 2010, nr 2, s. 81–84.
- [10] Macbeth C.: *Multi-Component VSP Analysis for Applied Seismic Anisotropy*. Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration vol. 26. Elsevier Science 2002.
- [11] Miao X.-G., Moon W. M., Milkereit B.: *A multioffset, three-component VSP study in the Sudbury Basin*. Geophysics 1995, vol. 60, issue 2, pp. 341–353.
- [12] Owusu J. C., Mubarak S. M., Liu Q.: *High-fidelity walkaround VSP anisotropy analysis*. The Leading Edge 2009, vol. 28, pp. 966–972.
- [13] Pevzner R., Gurevich B., Duncan G.: *Estimation of Azimuthal Anisotropy from VSP Data Using Multicomponent Velocity Analysis*. 71st EAGE Conference, Amsterdam, The Netherlands, 8–11 June 2009.
- [14] Walia R., Brandt K., Duthie R., Whittaker R., Malterre E., Bell P.: *New concepts for borehole and VSP data integration in seismic data processing*. First Break 2005, vol. 23, pp. 83–87.



Dr inż. Robert BARTOŃ
 Adiunkt w Zakładzie Sejsmiki.
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25A
 31-503 Kraków
 E-mail: barton@inig.pl