

PRZETWARZANIE DANYCH SEJSMICZNYCH Z ZACHODNIEJ CZĘŚCI KARPAT FLISZOWYCH POD KĄTEM ELIMINACJI ZAKŁÓCEŃ KOHERENTNYCH Z WYKORZYSTANIEM PROCEDURY FXCNS (SYSTEM OMEGA)

**Processing of seismic data from the western part
of the Flysch Carpathians in order to suppress coherent noise
using the FXCNS procedure (Omega system)**

Kaja PIETSCH¹ & Agnieszka URBAN²

*¹Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica,
Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;*

*²Geofizyka Kraków Sp. z o.o.;
e-mail: pietsch@agh.edu.pl, agnieszka.urban@geofizyka.krakow.pl*

Treść: W niniejszym artykule przedstawiono działanie i uzyskane wyniki zastosowania funkcji FXCNS, pracującej w systemie Omega, której zadaniem jest tłumienie zakłóceń koherentnych. Sposób działania tej funkcji pokazano na przykładzie profilu sejsmicznego 56-1-89K, zarejestrowanego w zachodniej części Karpat fliszowych (Geofizyka Kraków Sp. z o.o.).

Zastosowanie funkcji FXCNS we wczesnym etapie przetwarzania przyczyniło się do lepszej estymacji waveletu podczas dekonwolucji (podniesienie rozdzielczość pionowej), poprawiło wzajemną koherencję tras, jak również wyraźnie zwiększyło rozdzielczość poziomą.

Słowa kluczowe: przetwarzanie sejsmiczne, eliminacja zakłóceń koherentnych, system Omega – funkcja FXCNS, dane sejsmiczne z zachodniej części Karpat fliszowych

Abstract: The paper presents operation and results of application of the FXCNS procedure, operating in the Omega system. The task of this procedure is a coherent noise suppression. Application of the procedure was shown with an example of the seismic line 56-1-89K, registered by the Geofizyka Kraków Ltd. in the western part of the Flysch Carpathians.

Application of the FXCNS procedure at an early stage of processing contributed to better estimation of a wavelet during deconvolution (increasing of vertical resolution), improved mutual coherence of traces, as well as distinctly improved horizontal resolution.

Key words: seismic processing, coherent noise suppression, Omega system – FXCNS procedure, seismic data from the west part of the Flysch Carpathians

Sejsmiczne badania refleksyjne odgrywają istotną rolę przy rozpoznawaniu budowy Karpat, zarówno w skali regionalnej jak i lokalnej, m.in. przy poszukiwaniu złóż węglowodorów. Niestety widoczny na przekrojach sejsmicznych obraz falowy jest w większości przypadków trudny do interpretacji. Ma to miejsce również na profilach sejsmicznych zarejestrowanych (lata 1986–1996) w zachodniej części Karpat fliszowych, w rejonie pomiędzy Wadowicami a Babią Górą (Pietsch *et al.* 2007a).

Rejestrowany obraz falowy jest uwarunkowany, zarówno bardzo zmienną budową strefy przypowierzchniowej, jak i budową wgłębną – fałdowo-płaszczowinowym stylem przeszło 2 kilometrowej formacji fliszowej oraz zrębową budową podłoża paleozoiczno-prekambrzyjskiego. Taki typ budowy, obok zmiennych i dużych upadów granic sejsmicznych oraz licznych ich wyklinowań, częstego występowania fal dyfrakcyjnych związanych z uskokami, powstałymi przy różnym reżimie, o różnym zasięgu i kierunku, powoduje również generowanie dużej ilości fal zakłócających, związanych tak z płytką, jak i głęboką częścią przekroju geologicznego.

W takiej sytuacji poprawa czytelności sejsmicznego obrazu zachodniej części Karpat Zewnętrznych wymaga reprocessingu danych i zastosowania sekwencji przetwarzania nastawionej, w pierwszej kolejności, na eliminację fal zakłócających, w drugiej zaś na podniesienie rozdzielczości zapisu sejsmicznego, zarówno rozdzielczości pionowej jak i poziomej.

W niniejszym artykule przedstawiono działanie i uzyskane wyniki zastosowania, w początkowym etapie reprocessingu, funkcji FXCNS, której zadaniem jest tłumienie zakłóceń koherentnych. Sposób działania tej funkcji pokazano na przykładzie profilu sejsmicznego 56-1-89K (*Geofizyka Kraków Sp. z o.o.*), który dowiązany jest do dwóch głębokich otworów Ślemień 1 i Lachowice 7, nawiercających prekambry.

Prace obliczeniowe zrealizowano z wykorzystaniem systemu przetwarzania danych sejsmicznych Omega (*WesternGeco*).

Analiza zapisu sejsmicznego rejestrowanego w obszarze Wadowice – Babia Góra na rekordach polowych wykazała obecność silnych szumów koherentnych. Widoczna fala powierzchniowa silnie wpływa na możliwość wyodrębnienia sygnału użytecznego (Fig. 1).

Zakłócenia te tworzą się w strefie przypowierzchniowej, w formie rozproszonej fali powierzchniowej oraz silnych rewerberacji (*trapped mode*) i mają takie same prędkości pozorne jak fala refrakcyjna. Fale te interferują z sygnałem odbitym od granic refleksyjnych na dalszych offsetach. Dodatkowo niejednorodności w strefie przypowierzchniowej mogą być przyczyną rozproszenia energii sygnału, co powoduje jego zróżnicowanie nie tylko związane z offsetem, ale także z kierunkiem umiejscowienia źródła (szczególnie ważne dla danych 3D).

Usunięcie koherentnych szumów zakłócających dane jest bardzo istotne z punktu widzenia procesu przetwarzania. Obecność tego rodzaju składowych sygnału wpływa negatywnie na działanie algorytmów stosowanych przed składaniem, a także często na sam proces składania. Do wyodrębnienia i usunięcia zakłócającej fali powierzchniowej wykorzystano dostępny w systemie Omega moduł F-X (*Coherent Noise Suppression*).

Funkcja F-X Coherent Noise Suppression (FXCNS) jest zaprojektowana do osłabiania szumów koherentnych, generowanych w punktach wzbudzenia. Radzi sobie także w przypadku zakłóceń związanych z niejednorodnym przestrzennym próbkowaniem sygnału. Dane konwertowane są do domeny f-x, gdzie lokalnie dla każdego odbiornika estymuje się szum za pomocą filtrów wachlarzowych (Hildebrand 1982) i optymalizuje metodą najmniejszych

kwadratów (Seeman & Horowicz 1983). Procedura estymacji wykorzystuje pakiety kilku sąsiadujących ze sobą tras do wyodrębnienia szumów dla wybranych zakresów prędkości pozornych. Oddzielnie dla każdego wybranego pasma częstotliwości stosowana jest optymalizacja metodą najmniejszych kwadratów. Wyekstrahowany szum jest odejmowany od danych wejściowych.

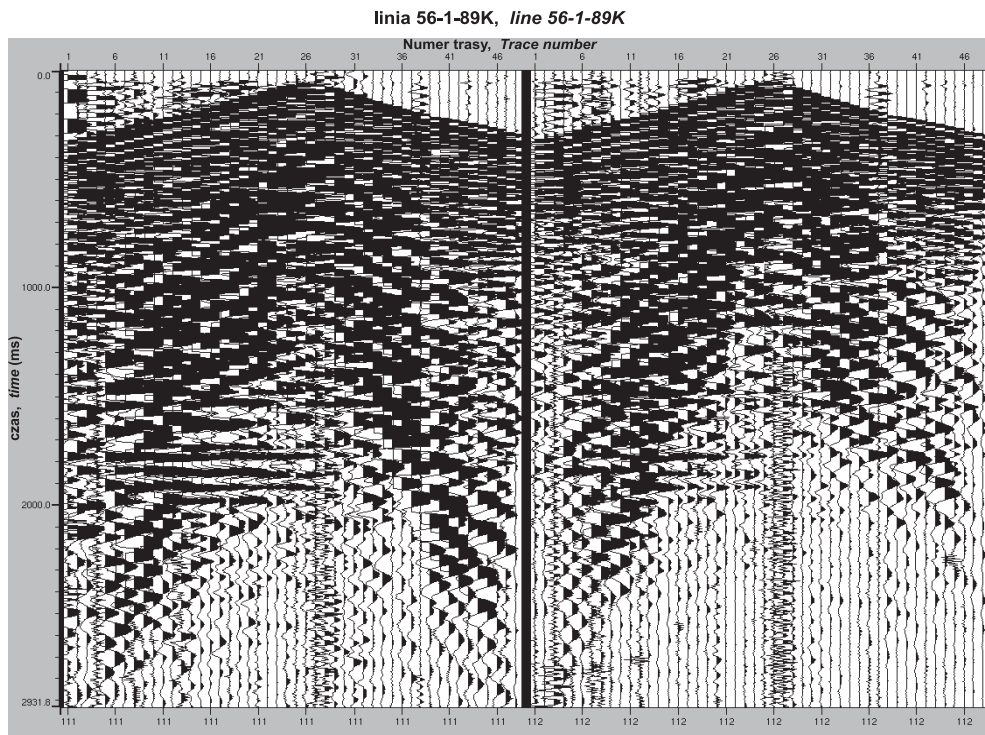


Fig. 1. Profil sejsmiczny 56-1-89K, rekordy polowe 111 i 112 przed tłumieniem zakłóceń amplitudowych

Fig. 1. Seismic profile 56-1-89K, field records 111 and 112 before amplitude noise suppression

W celu uzyskania jak najlepszego efektu działania modułu FXCNS wykonano serię testów najistotniejszych parametrów tej funkcji.

Jako pierwszy testowano zakres filtra częstotliwości, w obrębie którego szum jest estymowany i usuwany. Szerokość filtra częstotliwości (trapezowego) jest określona przez cztery wartości: górną częstotliwość odcięcia, (*high-cut frequency*), dwie częstotliwości zerowe (*high-pass frequency*, *low-pass frequency*), dolną częstotliwość odcięcia (*low-cut frequency*). Po między wartościami częstotliwości zerowych (*high-pass* i *low-pass frequency*) szumy koherentne są estymowane i usuwane z wagą jeden. Po między górną częstotliwością odcięcia oraz częstotliwością zerową (*high-cut*, *high-pass frequency*) szumy koherentne są estymowane i usuwane z wagą obliczaną przy pomocy funkcji cosinus. Szerokość filtra powinna być tak dobrana, aby uniknąć efektów brzegowych.

Wartości częstotliwości określające kształt filtra były wybrane na podstawie analizy widma częstotliwości danych sejsmicznych (Fig. 2).

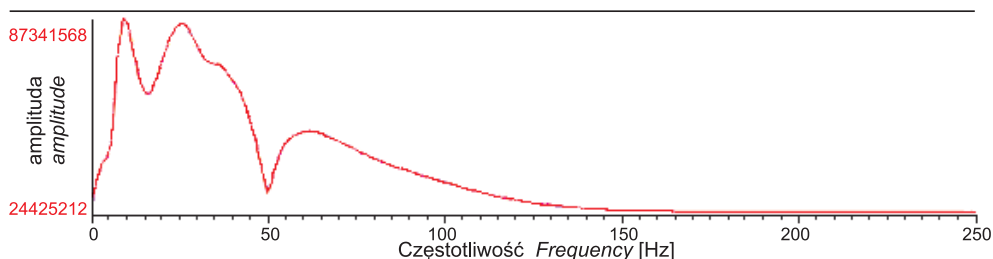


Fig. 2. Widmo częstotliwościowe rekordów polowych

Fig. 2. Amplitude spectrum of field records

Analiza widma częstotliwościowego pokazuje duży udział częstotliwości w zakresie od 4 do 18 Hz. Do testów wybrano dwa filtry: 2-4-12-24 Hz oraz 2-4-18-35 Hz. Założono takie wartości, przy których częstotliwości 4-12 Hz zostaną odfiltrowane z wagą jeden. Po wykonaniu testów porównano widma częstotliwościowe danych po filtracji i ostatecznie jako najlepszy wybrano filtr 2-4-12-24 Hz (Fig. 3 i 4).

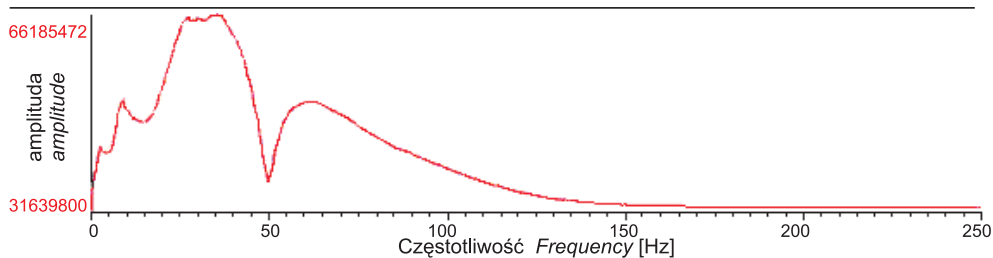


Fig. 3. Widmo częstotliwościowe po zastosowaniu modułu FXCNS z parametrami filtra częstotliwości 2-4-18-35 Hz

Fig. 3. Amplitude spectrum after FXCNS module application with use of 1-4-18-35 Hz frequency filter parameters

Następnym etapem testów było wybranie właściwego zakresu prędkości. Podobnie jak szerokość filtra częstotliwości, szerokość pasma prędkości jest określona przez cztery wartości: górną prędkość odcięcia (*high-cut velocity*), dwie prędkości określające pasmo przenoszenia (*high-pass velocity*, *low-pass velocity*), dolną prędkość odcięcia (*low-cut velocity*). Po między wartościami prędkości określających pasmo przenoszenia (*high-pass*, *low-pass velocity*) szumy koherentne są estymowane i usuwane z wagą jeden. Po między wartością górnej prędkości odcięcia oraz górnej prędkości przenoszenia (*high-cut*, *high-pass velocity*) szumy koherentne są estymowane i usuwane z wagą, obliczaną przy pomocy funkcji cosinus. Szerokość filtra powinna być tak dobrana, aby uniknąć efektów brzegowych.

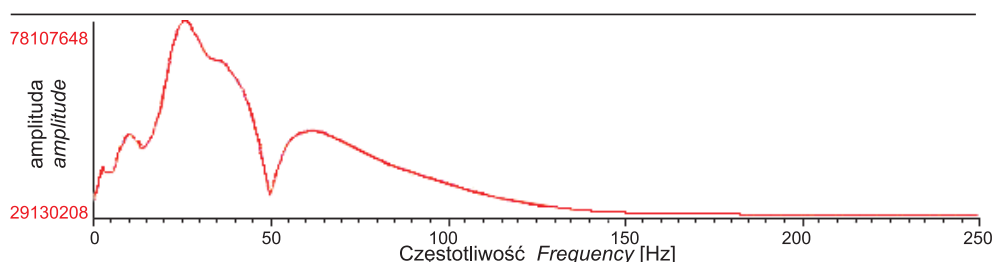


Fig. 4. Widmo częstotliwościowe po zastosowaniu modułu FXCNS z parametrami filtra częstotliwości 2-4-18-24 Hz

Fig. 4. Amplitude spectrum after FXCNS module application with use of 2-4-18-24 Hz frequency filter parameters

Wartości prędkości były wybrane na podstawie analizy rekordów polowych. Do testów wybrano trzy różne zakresy prędkości: 50-150-600-1400, 50-150-2300-2600 i 50-150-2900-3200 m/s. Po przeanalizowaniu wyników testów stwierdzono, że moduł FXCNS najlepiej filtruje szumy koherentne dla parametrów 50-150-2300-2600 m/s (Fig. 5).

W trzecim etapie testów porównano wyniki działania funkcji FXCNS podczas jednej iteracji oraz podczas trzech (maksymalna zalecana ilość iteracji). Stwierdzono, że trzy iteracje lepiej usuwają szumy koherentne z rekordów (Fig. 6).

Po doborze parametrów (zakresu częstotliwości, prędkości oraz ilości iteracji) porównano rekordy przed i po zastosowaniu funkcji FXCNS (Fig. 7). Z porównania wynika, że dane poddane działaniu tej funkcji mają o wiele lepszy stosunek sygnału użytecznego do szumów koherentnych.

Zastosowanie funkcji FXCNS we wczesnym etapie przetwarzania znacząco wpłynęło na jego dalszy przebieg. Usunięcie szumów koherentnych, a także części szumów przypadkowych spowodowało lepszą estymację waveletu podczas dekonwolucji (podniesienie rozdzielczości pionowej) oraz poprawiło wzajemną koherencję tras (Fig. 8 i 9), istotną podczas wykonywania analiz prędkości, obliczania statyki rezydualnej oraz korelacji horyzontów sejsmicznych. Spowodowało również wyraźne zwiększenie rozdzielczości poziomej, co pokazuje porównanie przekrojów po migracji czasowej po składowaniu bez zastosowania modułu FXCNS (Fig. 10 – sekcja archiwalna) oraz po jego zastosowaniu (Fig. 11).

Przetworzenie przekroju sejsmicznego 56-1-89K, z zastosowaniem sekwencji przetwarzania pokazanej w tabeli 1, doprowadziło do wyraźnej poprawy obrazu sejsmicznego zarówno utworów fliszu jak i platformowego podłoża.

Zasadnicze różnice to:

- zdecydowana poprawa ciągłości stromo nachylonych granic sejsmicznych w obrębie utworów fliszu, dzięki czemu możliwa jest identyfikacja stref głównych nasunięć;
- eliminacja fal wielokrotnych, wewnątrzwarstwowych, powstających na silnych granicach w obrębie platformowego podłoża, co powoduje, że zapis sejsmiczny jest bardziej rozdzielczy. Możliwe jest więc pewniejsze geologiczne dowiązanie granic sejsmicznych, lepsza korelacja horyzontów sejsmicznych oraz identyfikacja fal dyfrakcyjnych, które są pomocne przy lokalizacji stref uskokowych.

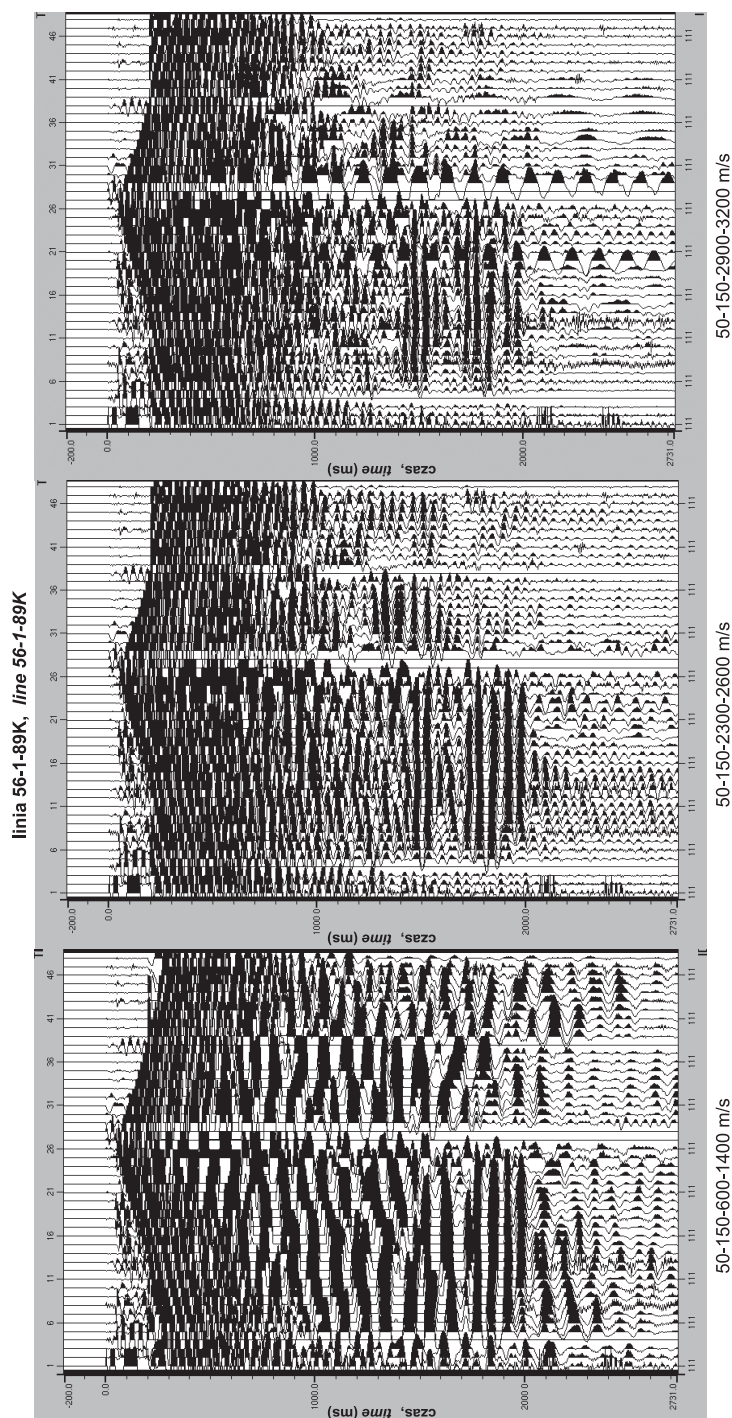


Fig. 5. Rekord połowy 111 – porównanie filtrów prędkości

Fig. 5. Field record 111 – velocity filters comparison

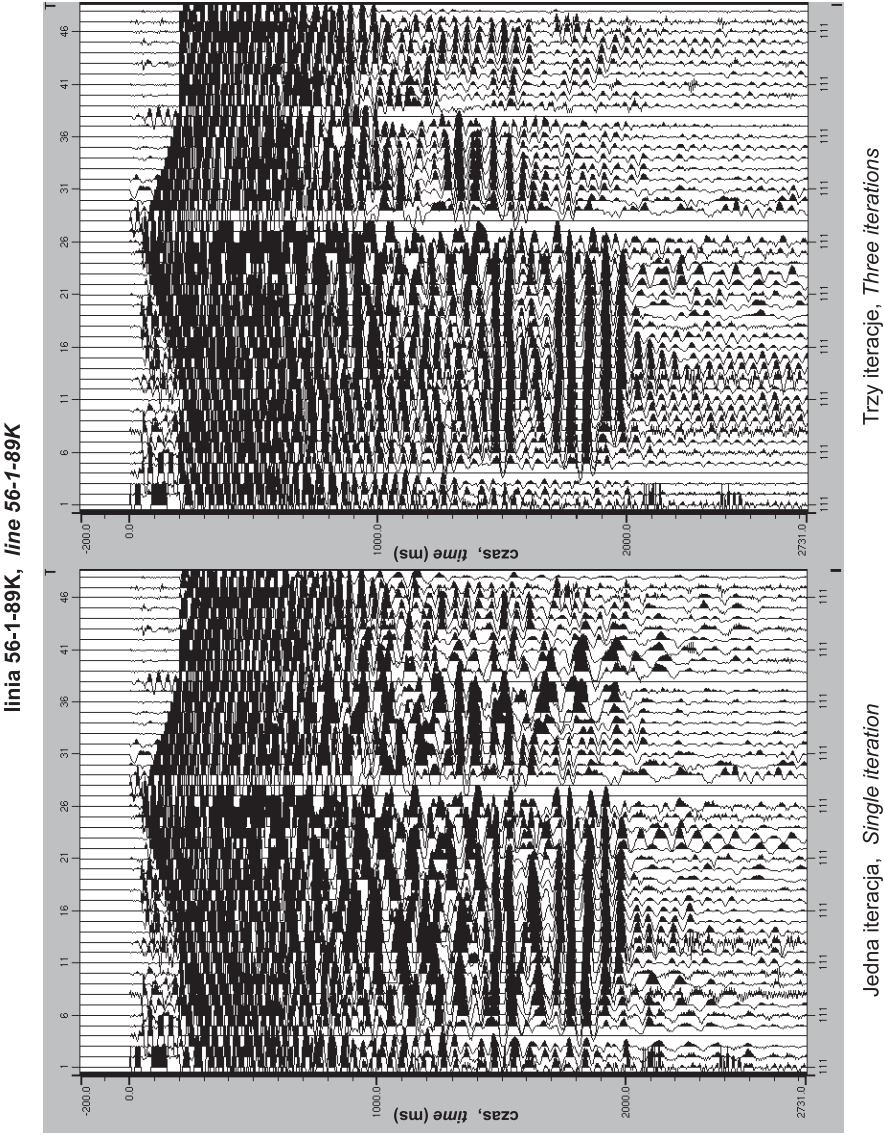


Fig. 6. Rekord polowy 111 – porównanie efektów działania różnych ilości iteracji
Fig. 6. Field record 111 – comparison of various iteration application effects

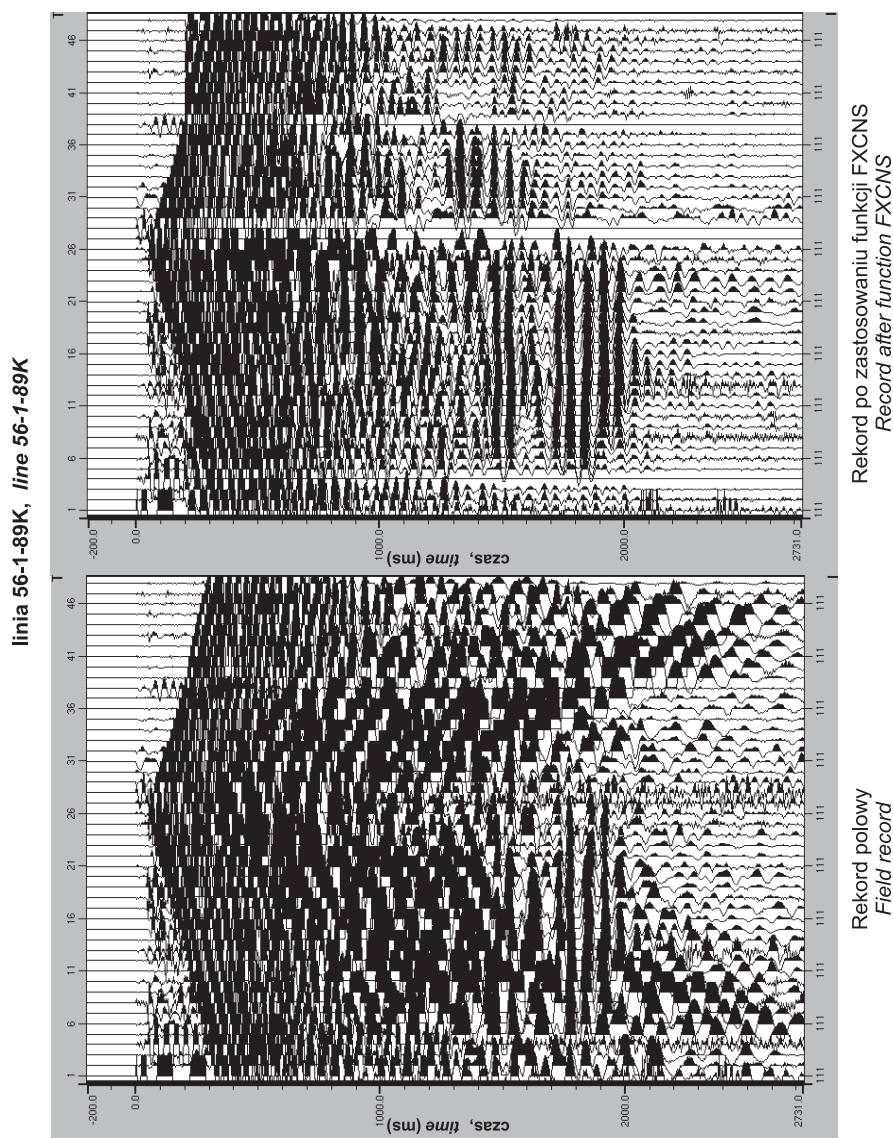


Fig. 7. Porównanie rekordu polowego oraz poddanego działaniu funkcji FXCNS

Fig. 7. Comparison of field record with the record with FXCNS application

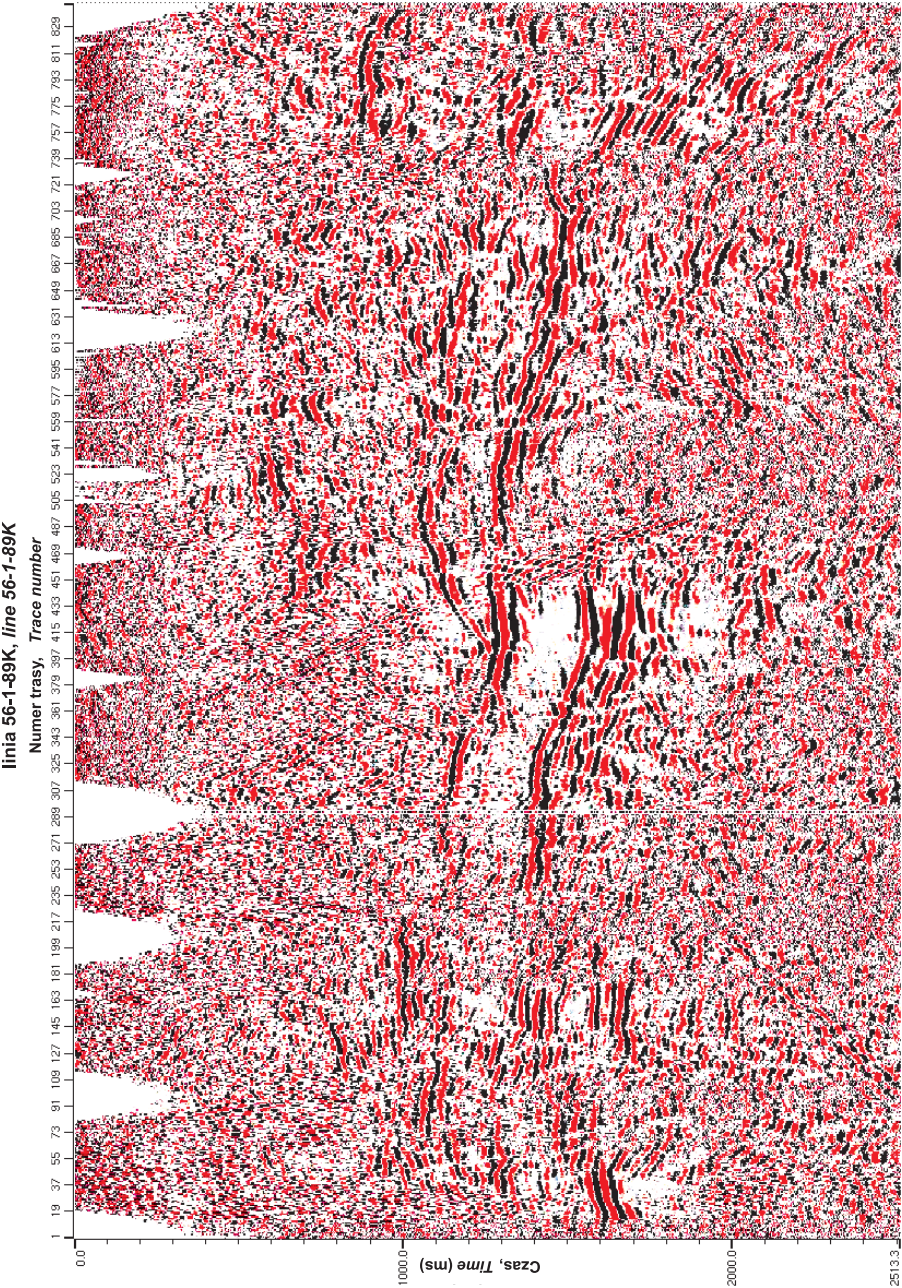


Fig. 8. Sekcja sejsmiczna – wstępna suma bez użycia funkcji FXCNS

Fig. 8. Seismic section – brute stack without FXCNS application

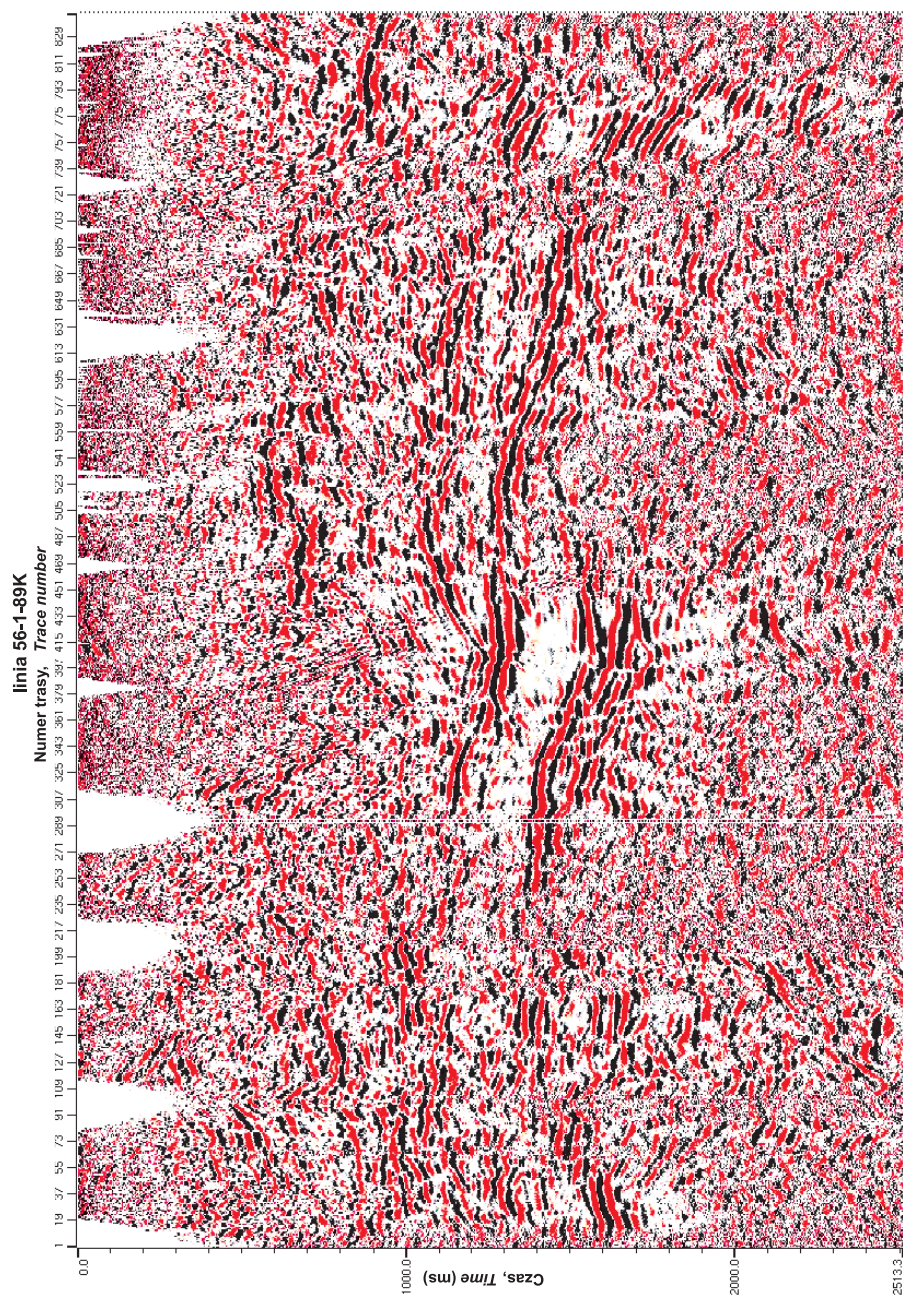


Fig. 9. Sekcja sejsmiczna – wstępna suma z zastosowaniem funkcji FXCNS

Fig. 9. Seismic section – brute stack with FXCNS application

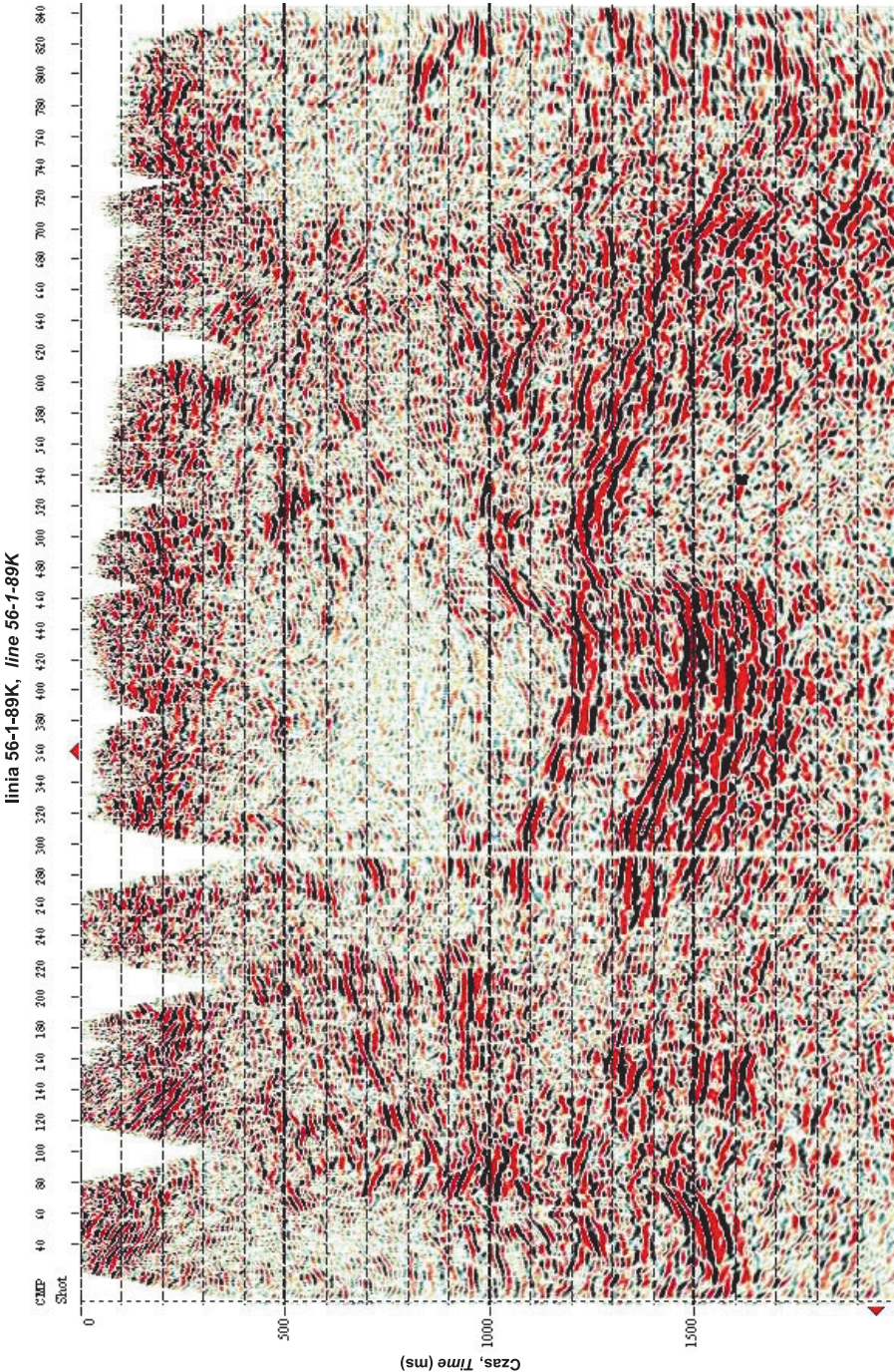


Fig. 10. Archiwalny przekrój sejsmiczny 56-1-89K po migracji

Fig. 10. Archival seismic section 56-1-89K after migration

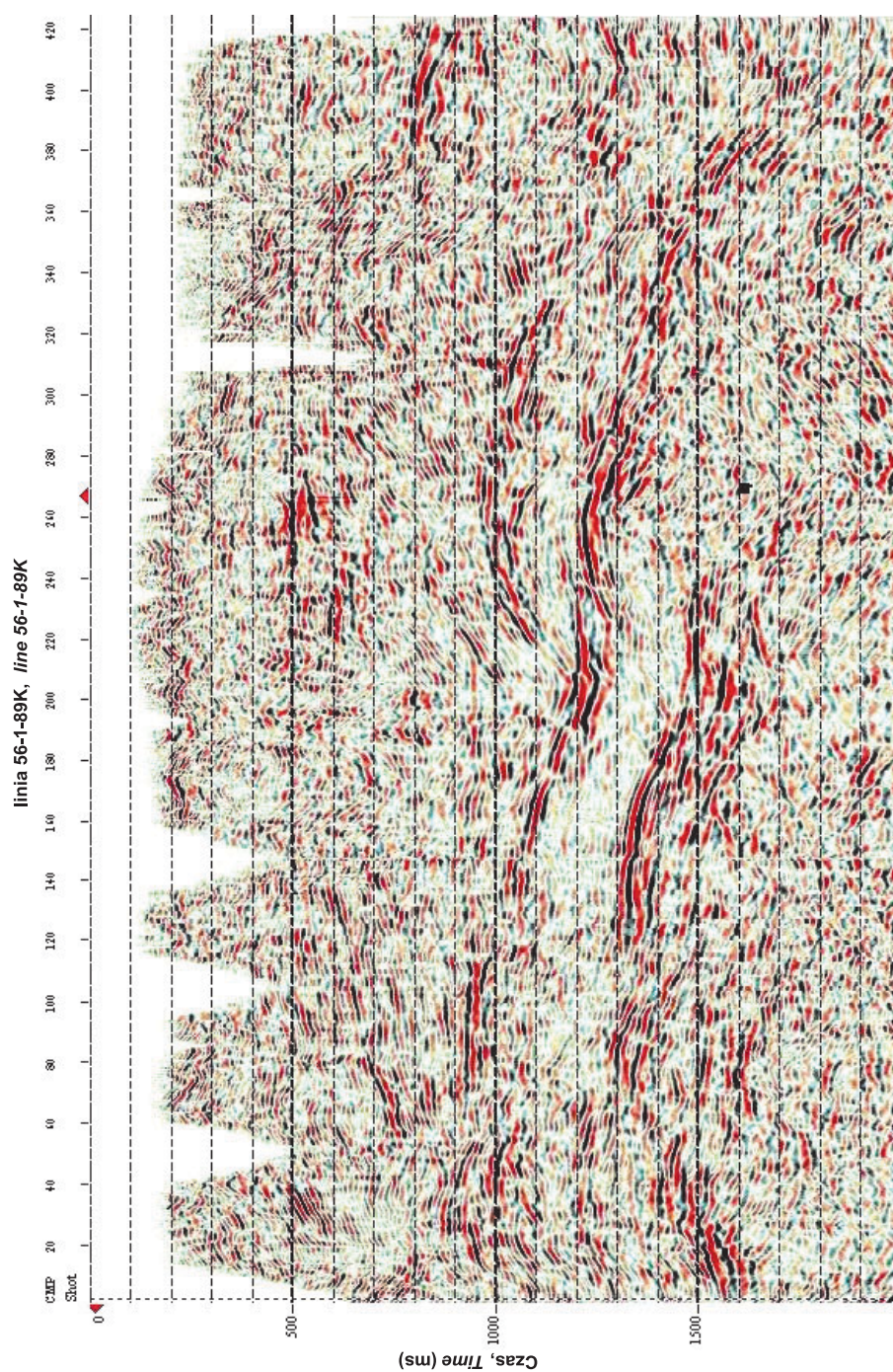


Fig. 11. Przekrój sejsmiczny 56-1-89K po migracji FX; z zastosowaną funkcją FXCNS

Fig. 11. Seismic section 56-1-89K after FX migration with FXCNS module application

Przekrój sejsmiczny 56-1-89K przetworzony zgodnie z opracowaną sekwencją (Tab. 1) pozwala na bardziej wiarygodną interpretację strukturalną, dzięki czemu został wykorzystany do konstrukcji modeli sejsmogeologicznych aproksymujących budowę górotworu w strefie struktury Stryszawa – odwiert Lachowice 7 (Pietsch *et al.* 2007b).

Sejsmiczny obraz górotworu zachodniej części Karpat fliszowych widoczny na profilu 56-1-89K jest typowy dla tej części Karpat (patrz Pietsch *et al.* 2007a). W związku z powyższym użycie opracowanej sekwencji przetwarzania do reprocessingu innych profili rejestrowanych w tym obszarze powinno doprowadzić do podobnej poprawy rozdzielczości danych sejsmicznych.

Tabela (Table) 1

Sekwencja przetwarzania

Processing sequence

Lp.	Procedura <i>Procedure</i>	Parametry / Uwagi <i>Parameters / Comments</i>
1	wprowadzenie geometrii do nagłówków tras <i>geometry application to trace headers</i>	
2	kontrola danych + edycja tras <i>data controlling + trace editing</i>	
3	kompensacja dywergencji sferycznej <i>spherical divergence compensation</i>	pole prędkości na podstawie jednej, wspólnej dla całego tematu, krzywej prędkości <i>velocity field based on the only one, common for the whole survey, velocity curve</i>
4	tłumienie zakłóceń koherentnych <i>coherent noise suppression</i>	funkcja FXCNS <i>FXCNS function</i>
5	tłumienie zakłóceń przypadkowych <i>random noise suppression</i>	program ZAP <i>ZAP program</i>
6	dekonwolucja <i>deconvolution</i>	predykcyjna, długość operatora – 162 ms, krok predykcji – 2 ms, 3 bramki <i>predicional, operator lenght – 162 ms, pred. lag – 2 ms, 3 gates</i>
7	normalizacja amplitud <i>amplitude normalization</i>	program SCAC <i>SCAC program</i>
8	analiza prędkości (AV) <i>velocity analysis (VA)</i>	3 analizy na profil <i>3 points of the analysis per profile</i>
9	wyliczenie statyki pierwszego rzędu <i>first order statics correction calculation</i>	porównywano metody: tomograficzną – EGRM – statykę połową <i>comparison of statics calculation methods: tomographic with EGRM</i>
10	analiza prędkości (AV) <i>velocity analysis (AV)</i>	3 analizy w tych samych miejscach, co w kroku 6 <i>3 points of the analysis in the same positions with the 8th step</i>
11	2 iteracje statyki rezydualnej + AV <i>residual statics (2 iterations) + VA</i>	program REFLECTION MISER, po 2 iteracjach, 6 analiz AV na profil <i>REFLECTION MISER program, after 2 iterations, 6 point VA analysis per profile</i>

Tabela (Table) 1 cd.

Lp.	Procedura <i>Procedure</i>	Parametry / Uwagi <i>Parameters / Comments</i>
12	iteracja statyki rezydualnej + AV <i>residual statics iteration + VA</i>	program DIRECT REFLECTION STATICS <i>DIRECT REFLECTION STATICS program</i>
13	tłumienie zakłóceń w domenie TAU-PI <i>coherent noise attenuation in TAU-PI domain</i>	okno 300 ms, analiza w zakresie +/- 10 ms na CMP <i>300 ms window, analysis within +/- 10 ms range per CMP</i>
14	składanie koherentne <i>coherent stacking</i>	w 6 bramkach , max przesunięcie 6 ms <i>in 6 gates, max deviation 6 ms</i>
15	wyrównywanie tras <i>trace balancing</i>	program TRACE BALANCE dla danych bez zachowanych relacji amplitud <i>TRACE BALANCE program for data without amplitude relations preserved</i>
16	składanie <i>stacking</i>	
17	tłumienie zakłóceń przypadkowych (RNA) <i>random noise attenuation</i>	długość okna = 300 ms, szer. 30, szerokość operatora 7, , aplikowane 50% tłumienie <i>window lenght 300 ms, width 30, operator width 7, 50% attenuation applied</i>
18	filtracja FK <i>FK filtering</i>	tłumienie zakłóceń o prędkości pozornej poniżej 2500 m/s <i>attenuation of noise with apparent velocity below 2500 m/s</i>
19	migracja FX <i>FX migration</i>	90 proc pola prędkości, zakres częstotliwości do 75 Hz <i>90% of stacking velocity field, frequency range up to 75 Hz</i>

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

- Hilderbrand S.T., 1982. Two representations of the fan filter. *Geophysics*, 47, 957–959.
- Pietsch K., Golonka J., Marzec P., 2007a. Stosunek podłoża do fliszu Karpat Zewnętrznych pomiędzy Wadowicami a Babią Górą w świetle refleksyjnych badań sejsmicznych. *Kwartalnik AGH Geologia*, 33, 4/1, 197–210.
- Pietsch K., Kobylarski M., Urban A., 2007b. Modelowania sejsmiczne – narzędzie wspomagające strukturalną interpretację danych sejsmicznych z rejonu Karpat Zewnętrznych pomiędzy Babią Górą a Wadowicami. *Kwartalnik AGH Geologia*, 33, 4/1, 183–196.
- Seeman B. & Horowicz L. 1983. Vertical seismic profiling: Separation of upgoing and downgoing acoustic waves in a stratified medium. *Geophysics*, 48, 555–568.
- HELP systemu Omega.

Żytko K., Zając R., Gucik S., Ryłko W., Oszczytko N., Garlicka I., Nemčok J., Eliáš M., Menčík E. & Stráňík Z., 1989. Map of the tectonic elements of the Western Outer Carpathians and their foreland. In: *Geological Atlas of the Western Outer Carpathians and their Foreland* (eds. Poprawa D. & Nemčok J.). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa / GUDES Bratislava / Uge Praha.

Summary

To effectively use seismic reflection surveys for identification of the structure of the western part of the Outer Carpathians it is necessary to improve survey resolution. This enables to reliably correlate seismic boundaries of high dips, characteristic for a flysch formation, as well as reconstruction of complex tectonic structure of platform Paleozoic-Precambrian formations.

This paper presents operation and results of application of the FXCNS procedure at an early stage of reprocessing. This procedure operates in the Omega system and its task is coherent noise suppression. Application of the procedure is presented with an example of the seismic line 56-1-89K (*Geofizyka Kraków Sp. z o.o.*), which is tied to two deep boreholes Ślemień 1 and Lachowice 7, reaching the Precambrian. Analysis of field records registered on this line shows the presence of strong coherent noises related to the surface wave (Fig. 1).

In order to get the best results of the FXCNS module operation a series of tests of the most important parameters of this procedure was performed. The following were tested subsequently: the frequency filter range, within which noise is estimated and removed (Figs 2–4); the velocity range (Fig. 5) and the number of iterations (Fig. 6). Comparison of records before and after application of the FXCNS procedure with the selected parameters (Fig. 7) shows effectiveness of this procedure.

Application of the FXCNS procedure at an early stage of processing (Table 1) improved estimation of a wavelet during deconvolution (increasing of vertical resolution) and mutual coherence of records, (Figs 8, 9) as well as distinctly improved horizontal resolution, which is shown by comparison of sections poststack time migration without application of the FXCNS module (Fig. 10 – archive section) and after its application (Fig. 11).

The seismic image of the orogenic belt of the western part of the Flysch Carpathians visible on the 56-1-89 line is typical for this part of Carpathians (see Pietsch *et al.* 2007a). In this connection, application of the developed processing sequence for reprocessing of other lines registered in this area should lead to similar improvement of seismic data resolution.