

**STOSUNEK PODŁOŻA
DO FLISZU KARPAT ZEWNĘTRZNYCH
POMIĘDZY WADOWICAMI A BABIĄ GÓRĄ
W ŚWIETLE REFLEKSYJNYCH BADAŃ SEJSMICZNYCH**

**Relationship of the basement to the flysh
of the Outer Carpathians between Wadowice and Babia Góra
in the light of reflection seismic survey**

Kaja PIETSCH, Jan GOLONKA & Paweł MARZEC

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

e-mail: pietsch@agh.edu.pl, jan_golonka@yahoo.com, marzec@geol.agh.edu.pl

Treść: Zinterpretowane sejsmiczne przekroje czasowe w powiązaniu z dostępnymi danymi otworowymi oraz szeroką literaturą dotyczącą budowy geologicznej tej części Karpat, były podstawą do opracowania geodynamicznego modelu rozwoju orogenu karpackiego w rejonie Wadowice – Babia Góra.

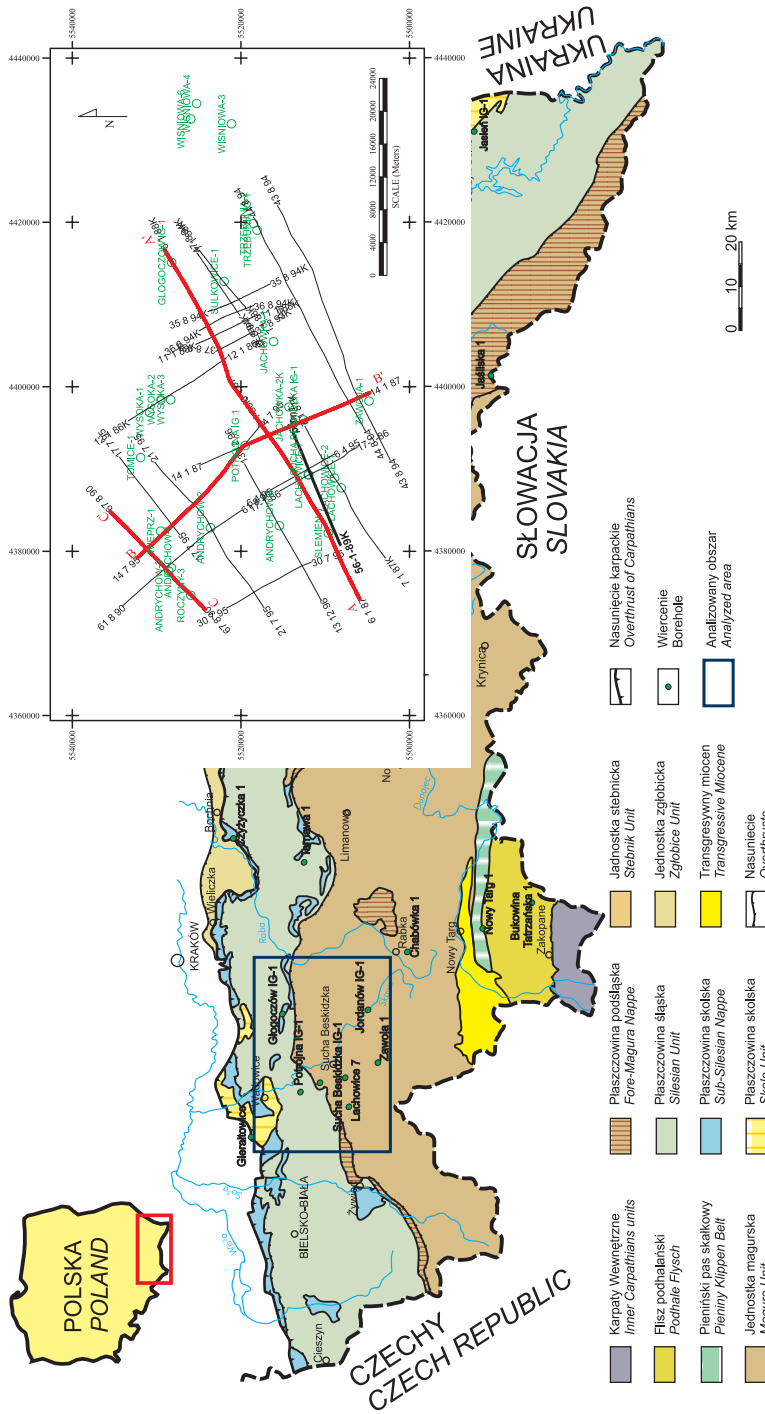
Geologiczną identyfikację granic sejsmicznych oraz ich korelację na przekrojach sejsmicznych wykonano w systemie GeoGraphix (*Landmark Graphics Co.*). Dowiązano i skorelowano granice w obrębie fliszu i w platformowym podłożu. Zidentyfikowano uskoki powstałe w czasie orogenezy hercyńskiej w karbonie i wczesnym permie (Fig. 4), uskoki przesuwcze o kierunku N-S, powstałe w trakcie orogenezy alpejskiej (Fig. 5) oraz normalne uskoki o kierunku E-W, które powstały podczas ostatniego nasunięcia Karpat do położenia zajmowanego obecnie (Fig. 3).

Słowa kluczowe: Karpaty zewnętrzne, platforma północnoeuropejska, paleozoik, flisz, tektonika, strukturalna interpretacja refleksyjnych profili sejsmicznych

Abstract: Interpreted seismic time sections in relation to available borehole data and extensive literature on geological structure of this part of the Carpathians, have served as the basis for developing geodynamic model of the Carpathian orogeny development in the area Wadowice – Babia Góra.

Geological identification of seismic boundaries and their correlation on seismic sections were performed in the GeoGraphix system (*Landmark Graphics Co.*) Boundaries within the flysch and in the platform basement have been tied and correlated. Faults formed during the Hercynian Orogeny in the Carboniferous and the early Permian (Fig. 4), strike-slip faults of N-S orientation, formed during the Alpine orogeny (Fig. 5) and normal faults of E-W orientation, which had formed during the last thrust of the Carpathians to their position (Fig. 3) have been identified.

Key words: Outer Carpathians, North European Platform, Paleozoic, flysch, tectonics, structural interpretation of seismic profiles



Mapa polskich Karpatów zewnętrznych z lokalizacją analizowanego terenu (wg Żytko *et al.* 1989, uproszczona)
 Map of the Polish Outer Carpatians with the locality of the analyzed area (after Żytko *et al.* 1989, simplified)

WSTĘP

Poszukiwania naftowe na obszarze Karpat zewnętrznych koncentrują się zarówno na strukturach fliszowych, jak i południowym przedłużeniu miocenu autochtonicznego oraz platformowych utworów karbonu i dewonu. W Karpatach Zachodnich, koło Suchej Beskidzkiej, z otworu Lachowice 2 uzyskano gaz ziemny z węglanowych utworów dewonu górnego na głębokości około 4000 m. W otworze Zawoja 1 uzyskano objawy ropy i gazu w piaskowcach karbonu górnego, a w utworach węglanowych środkowego i górnego dewonu odkryto złożę Lachowice (otwór produktywny Lachowice 7) (Baran *et al.* 1995, Pietsch *et al.* 1997).

Istotną rolę w poszukiwaniu złóż ropy i gazu w Karpatach odgrywają badania sejsmiczne, których wyniki są niezbędne nie tylko do przestrzennej lokalizacji pułapek złożowych, ale również do określenia uwarunkowań regionalnych, które wpływają na kształtowanie się systemu naftowego, warunki sedymentacji skał zbiornikowych, drogi migracji węglowodorów oraz powstawanie pułapek. Historia geodynamiczna obszaru badań odgrywała bowiem istotną rolę w powstawaniu okna naftowego i generowaniu węglowodorów.

Niestety, pomimo dynamicznego rozwoju sejsmiki pełna jednoznaczność i czytelność przekrojów sejsmicznych rejestrowanych w Karpatach pozostawia nadal sporo do życzenia. Mimo tego sejsmiczny obraz zachodnich Karpat fliszowych i jego podłoża umożliwia śledzenie nasunięcia sfałdowanego fliszu, spągu miocenu autochtonicznego, a także refleksów pochodzących od utworów paleozoicznych oraz stropu skonsolidowanego podłoża (Nowotarski 1987, Nowotarski & Przybyło 1989, Pietsch 1992, Pietsch *et al.* 1997).

Tło geologiczne obszaru badań, omówienie szczegółowej stratygrafii (Golonka & Waśkowska-Oliwa 2007) a także tektoniki utworów sfałdowanego fliszu (Golonka 2007), czytelnik znajdzie w innych rozdziałach niniejszego numeru. Znajduje się tam również obszerna i wyczerpująca literatura dotycząca historii badań geologicznych tego obszaru. W przedstawionej pracy autorzy skupili się na interpretacji profili sejsmicznych, nieco więcej uwagi poświęcając tym zagadnieniom genezy zaobserwowanych stref uskokowych, które stanowią nowatorskie i ważne, szczególnie z punktu widzenia poszukiwań węglowodorów, uzupełnienie i poprawienie dotychczasowych poglądów (wg Golonka *et al.* 2005, Golonka *et al.* 2006, Oszczytko *et al.* 2006).

INTERPRETACJA DANYCH SEJSMICZNYCH

Ocenę przebiegu sejsmicznych granic fliszowych i granic z jego podłoża wykonano na podstawie interpretacji czasowych refleksyjnych przekrojów sejsmicznych w wersji sum końcowych po migracji (Geofizyka Kraków Sp. z o.o.): 43-8-94K, 44-8-94K, 6-4-95K – temat: Lachowice–Myślenice, 14-8-87K – temat: Szczurowa–Tarnobrzeg, 12-1-86K, 35-8-94K, 36-8-94K, 37-8-93K, 47-8-94K, 6-1-88K, 7-1-88K, 11-1-88K – temat: Tomice–Dobczyce, 17-1-86K, 17-1-89K, 56-1-89K, 7-1-87K – temat: Zawoja–Sucha Beskidzka, 13-12-96K, 14-1-87K, 14-7-95K, 17-7-95K, 21-7-95K, 30-7-95, 6-1-87, 61-8-90, 67-8-90 – temat: Żywiec–Wadowice (Fig.1), w dowiązaniu do danych otworowych z odwiertów: Andrychów 1, 2, 3 i 6, Głogoczów IG1, Jachówka 1 i 2k, Lachowice 1, 2, 3 i 7, Potrójna IG1, Roczyny 3, Sucha Beskidzka 1, Ślemień 1, Sułkowice 1, Tomice 1, Trzebnia 1 i 2, Wysoka 1, 2 i 3, Wieprz 1, Zawoja 1 (Fig.1).

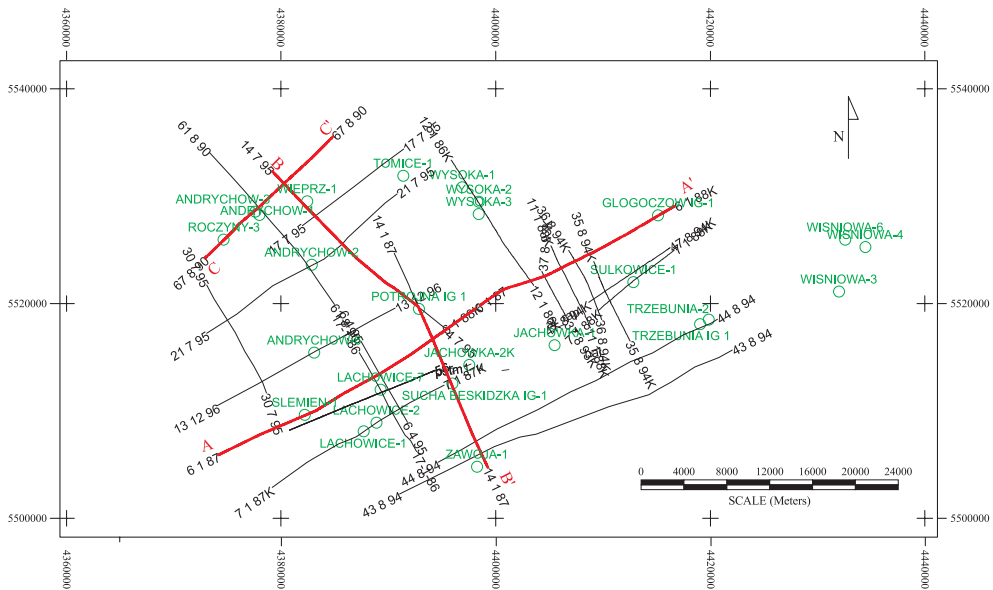


Fig. 1. Lokalizacja profili sejsmicznych i otworów wiertniczych w obszarze badań

Fig. 1. Seismic profiles and wells localization map

Pierwszy etap interpretacji danych sejsmicznych stanowi geologiczna identyfikacja śledzonych granic sejsmicznych. Wykonano ją wykorzystując:

- litostratygaficzną interpretację danych otworowych w połączeniu z informacjami o budowie geologicznej Karpat Zachodnich (Ślącza 1976a, 1976b; Ślącza *et al.* 2006; Oszczytko *et al.* 2006, Golonka *et al.* 2005, Cieszkowski *et al.* 2006 oraz Golonka & Waśkowska-Oliwa 2007, Zacharski *et al.* 2006).
- pomiary geofizyki otworowej: profilowania gamma naturalne (GR) – do wydzielenia kompleksów litologicznych i określenia ich miąższości oraz profilowania akustyczne prędkości (DT) (Bała & Witek 2007) i pomiary prędkości średnich – do wyznaczenia prędkości warstwowych i konwersji czas – głębokość, czyli połączenia czasowych danych sejsmicznych z głębokościowymi danymi otworowymi

Geologiczną identyfikację śledzonych refleksów przeprowadzono na bazie sejsmogramów syntetycznych (modelowania sejsmiczne 1D) obliczonych jako splot współczynników odbicia, które opisują model sejsmogeologiczny (będący funkcją zmienności prędkości i gęstości w kontaktujących ze sobą warstwach) z sygnałem źródła. Zestawienie modelu sejsmogeologicznego z obliczonym sejsmogramem syntetycznym (SS) pozwala na określenie roli poszczególnych granic geologicznych w formowaniu pola falowego, a dzięki temu na powiązanie granic geologicznych z horyzontami sejsmicznymi. Porównanie z kolei SS z rejestrowanym w pobliżu otworu polem falowym jest podstawą do geologicznego dowiązania horyzontów w rejestrowanym zapisie sejsmicznym.

Sejsmogramy syntetyczne obliczono programem LogM w systemie GeoGraphix (*Landmark Graphics Co.*) dla wszystkich otworów, w których wykonano pomiary PA. Na figurze 2

pokazany jest przykładowo sejsmogram syntetyczny obliczony dla odwiertu Roczyny 3, w zestawieniu z krzywą GR i krzywą prędkości.

Bardzo duża zmienność parametrów petrofizycznych warstw, przede wszystkim w utworach fliszu oraz brak pomiarów prędkości lub wykonanie ich w ograniczonym interwale głębokości w wielu otworach na obszarze badań spowodowały, że dowiązanie to nie zawsze jest jednoznaczne. Wykorzystując wszystkie obliczone w rejonie badań sejsmogramy syntetyczne udało się zidentyfikować w zapisie sejsmicznym następujące granice: **JMsp** – spąg jednostki magurskiej, **JSsp** – spąg jednostki śląskiej, **Flsp** – spąg fliszu, który w wielu przypadkach jest tożsamy ze spągiem jednostki podśląskiej oraz stropem miocenu, **PALstr** – strop nierozdzielonych utworów paleozoicznych (głównie dewonu i karbonu) wyklinowujących się do powierzchni podmiocenijskiej, **C1str** – strop dolnego karbonu, **D2str** – strop węglanowych utworów środkowego dewonu, **Cm+D1str** – strop ilasto-piaskowcowych utworów dewonu dolnego i starszego paleozoiku (kambru) oraz **Pr** – strop skonsolidowanego podłoża, głównie prekambriu. Najbardziej widoczną i jednoznaczną granicą w całym zapisie sejsmicznym jest granica pomiędzy węglanowymi utworami górnego i środkowego dewonu, a ilasto-piaskowcowym kompleksem dewonu dolnego i kambru (**Cm+D1**) – silny refleks ujemny. Geologiczne dowiązanie refleksów sejsmicznych jest w miarę pewne w strefach dobrej korelacji granic sejsmicznych.

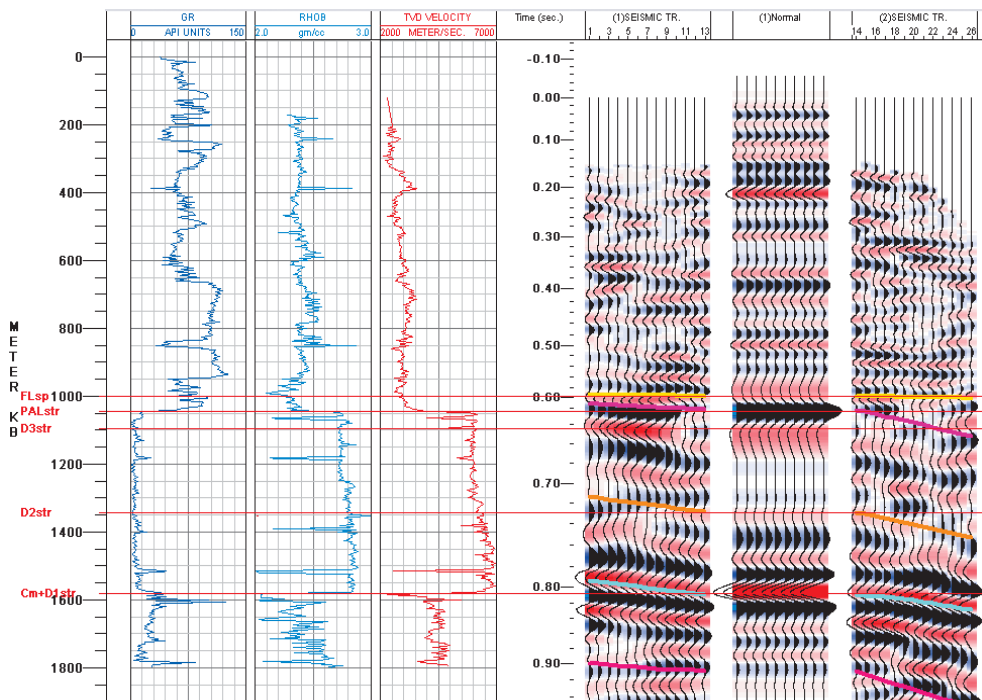


Fig. 2. Dowiązanie danych otworowych do danych sejsmicznych przy pomocy sejsmogramu syntetycznego w otworze Roczyny-3

Fig. 2. Well to seismic data tying with use of synthetic seismogram for Roczyny-3 well

W drugim etapie interpretacji przeprowadzono wzdłuż profili sejsmicznych korelacje horyzontów sejsmicznych, dowiązanych do danych otworowych. Wykonano ją w programie Seis Vision systemu GeoGraphix. W celu sprawdzenia poprawności wykonanej korelacji interpretację prowadzono na zamkniętych poligonach, wiążąc ze sobą nawet odległe profile, ale dowiązane geologicznie w oparciu o sejsmogramy syntetyczne.

Widoczny na przekrojach sejsmicznych, z obszaru pomiędzy Wadowicami a Babią Górą, obraz falowy jest typowy dla Karpat. Przekroje sejsmiczne (Fig. 3, 4 i 5) charakteryzują się brakiem ciągłości korelacji granic sejsmicznych na dłuższych odcinkach oraz różnym ich układem w kompleksie górnym i dolnym. Kompleks górny o bardzo zmiennym układzie granic sejsmicznych odpowiada sfałdowanym utworom fliszu, natomiast kompleks dolny, o spokojniejszym ułożeniu refleksów i mniejszych kątach upadu, to sejsmiczny obraz platformowych utworów miocenu, mezozoiku i paleozoiku.

Nienajlepsza jakość zarejestrowanych profili sejsmicznych z jednej strony, z drugiej zaś brak wystarczającej ilości danych geofizyki otworowej spowodowały, że szczególnie trudnym zadaniem była identyfikacja stref uskokowych powstałych przy różnym reżimie naprężeń (uskoki normalne, odwrócone, inwersyjne, przesuwcze), o bardzo różnym zasięgu głębokościowym (uskoki przecinające wyłącznie skonsolidowane podłoże i pokrywę paleozoiczną – na przekrojach sejsmicznych kolor czarny; przecinające skonsolidowane podłoże, pokrywę paleozoiczno-mezozoiczną i utwory neogeńskie – kolor fioletowy; oraz uskoki przecinające skonsolidowane podłoże, pokrywę paleozoiczno-mioceną i wchodzące w utwory alochtoniczne, fliszowe – kolor czerwony) oraz różnych kierunkach (uskoki o największym pionowym zasięgu czasowym to uskoki o kierunkach zbliżonych do N-S oraz W-E, uskoki o mniejszym zasięgu wykazują kierunki NW-SE i SW-NE). Pomocne przy lokalizacji uskoków były liczne fale dyfrakcyjne, śledzone w zapisie sejsmicznym, które z jednej strony utrudniały korelację fazową granic sejsmicznych, z drugiej zaś, jako związane z uskokami, pomagały jednak w ich identyfikacji (Fig. 3, 4 i 5).

Zinterpretowane sejsmiczne przekroje czasowe w powiązaniu z dostępnymi danymi otworowymi oraz szeroką literaturą dotyczącą budowy geologicznej tej części Karpat, były podstawą do opracowania geodynamicznego modelu rozwoju orogenu karpackiego w rejonie Wadowice – Babia Góra.

PLATFORMA PÓŁNOCNOEUROPEJSKA

Platforma północnoeuropejska jest to wielka płyta kontynentalna, której amalgamacja nastąpiła w prekambrze i paleozoiku. W jej sfałdowanym i zmetamorfizowanym podłożu można wyróżnić fragmenty proterozoiczne, wendyjskie (kadomskie) oraz wczesnopaleozoiczne (kaledońskie). Na obszarze badań, pod allochtonicznymi skałami jurajsko-neogenskimi Karpat zewnętrznych, pokrywa sedymentacyjna platformy składa się z sekwencji paleozoicznych, mezozoicznych i neogeńskich. Allochtoniczne skały, głównie fliszowe, zostały odkorzenione i nasunięte na południową część platformy północnoeuropejskiej, na odległość przynajmniej 60–100 km (Książkiewicz 1977a, b, Oszczytko *et al.* 2006, Ślącza *et al.* 2006). Na profilach sejsmicznych 14-7-95K – 14-1-87K przechodzących przez odwierty Wieprz 1, Potrójna IG 1, Sucha Beskidzka IG 1 oraz Zawoja 1 (Fig. 3 – trawers B-B') granica Flsp – spąg utwo-

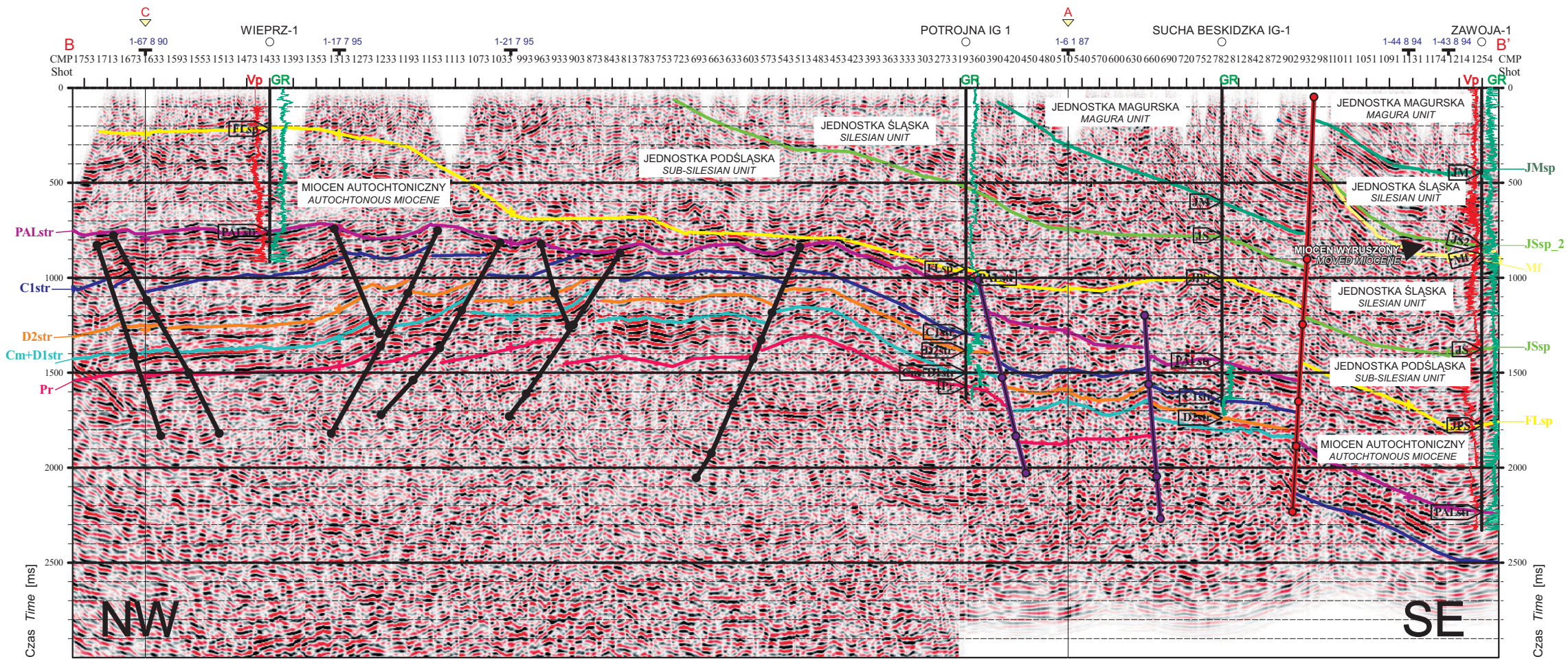


Fig. 3. Przekrój sejsmiczny 14-7-95K i 14-1-87K (trawers B-B' na Fig. 1)

Fig. 3. 14-7-95K and 14-1-87K seismic profiles (B-B' traverse on Fig. 1)

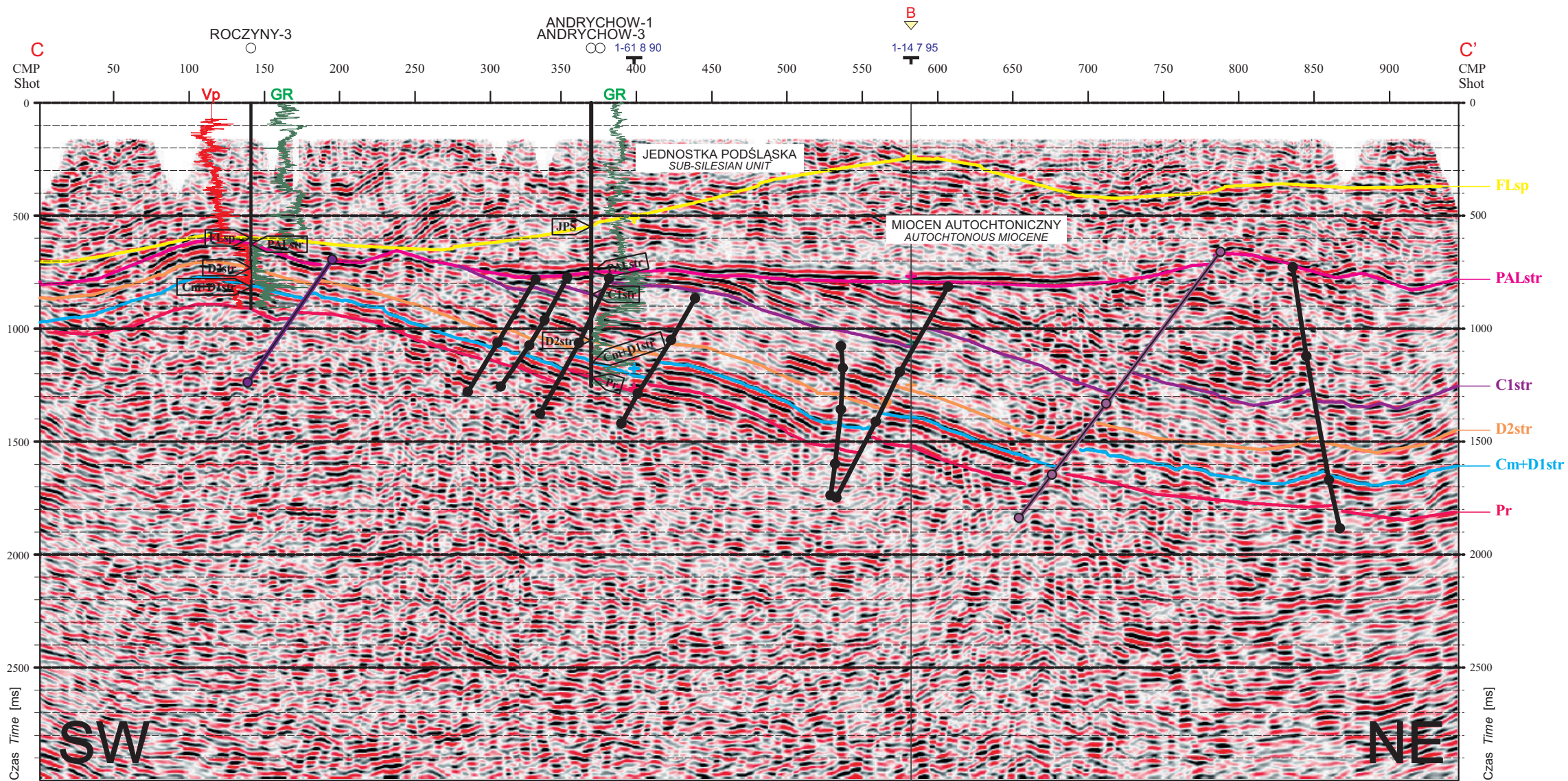


Fig. 4. Przekrój sejsmiczny 67-8-90K (trawers C-C' na Fig. 1)
 Fig. 4. 67-8-90K seismic profile (C-C' traverse on Fig. 1)

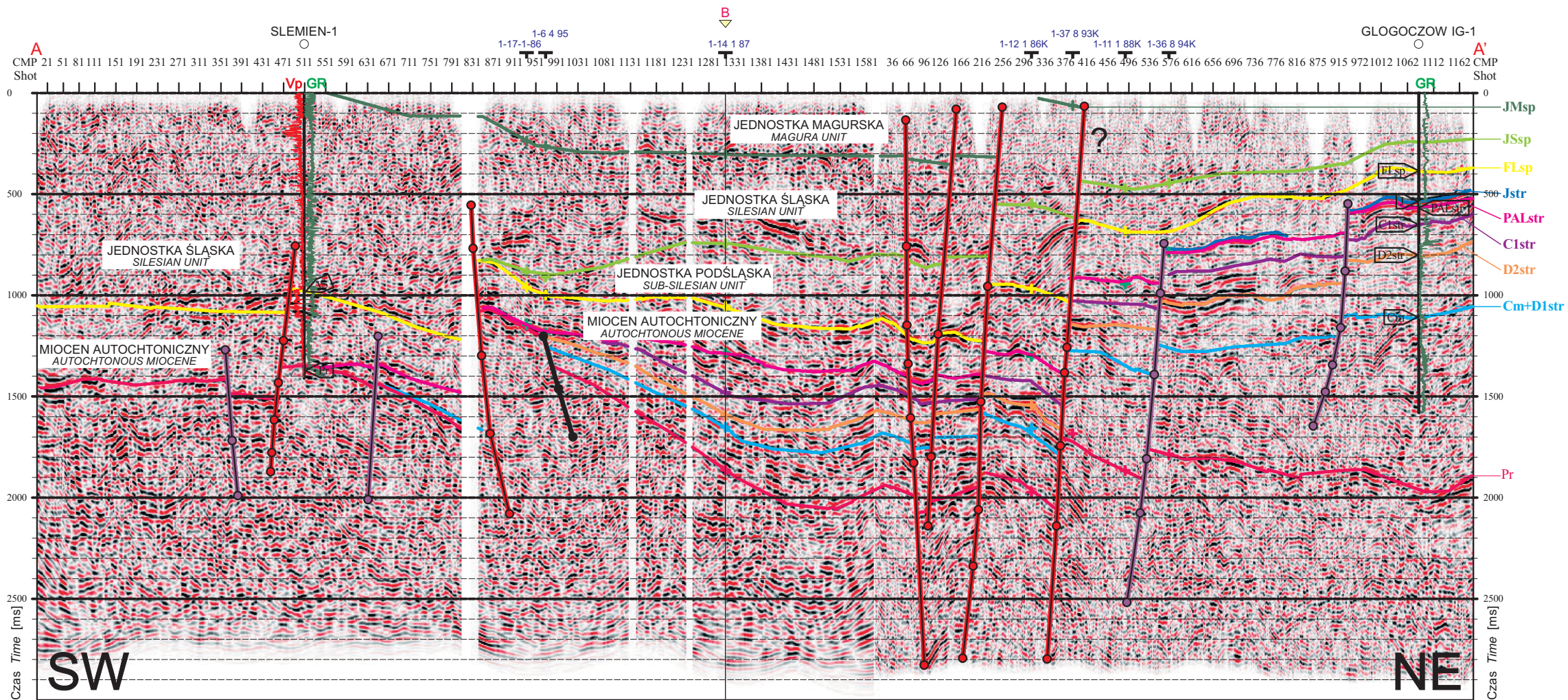


Fig. 5. Przekrój sejsmiczny 6-1-88K i 6-1-87K (trawers A-A' na Fig. 1)

Fig. 5. 6-1-88K and 6-1-87K seismic profiles (A-A' traverse on Fig. 1)

rów fliszowych zalega na czasie od 170 ms w północnej części obszaru badań do 1780 ms w części południowej, co odpowiada zwiększeniu głębokości, idąc od północy, od około 60 m p.p.m. do ponad 3300 m p.p.m., na dystansie ok. 35 km. Utwory fliszowe tworzą zespół płaszczowin i nasunięć ułożonych w szereg jednostek tektonicznych. W Polsce te allochtoniczne, głównie fliszowe, jednostki są nazywane Karpatami zewnętrznymi. Szczegółowe opracowanie tektoniki utworów fliszowych jest przedmiotem odrębnej pracy w niniejszym numerze (Golonka 2007). Czytelnik znajdzie tam również obszerną literaturę dotyczącą tektoniki jednostek allochtonicznych.

Głównym elementem skonsolidowanego podłoża są silnie sfałdowane prekambryjskie skały metamorficzne należące do teranu Bruno-Vistulicum (Golonka *et al.* 2005). Teran ten został skonsolidowany w czasie orogenezy kadomskiej w wendzie. Sejsmiczna granica Pr – strop skonsolidowanego podłoża – zidentyfikowana została w sposób jednoznaczny w północnej i środkowej części obszaru badań, na profilach 14-1-87K i 14-7-95K (otwór Potrójna 3) (Fig. 3 – trawers B-B'), 61-8-90K (otwór Andrychów 3) (Fig. 4 – trawers C-C'), 12-1-86K (otwór Wysoka 3), 67-8-90K (otwór Andrychów 3 i Roczyny 3), 6-1-87K (otwór Ślemień 1) (Fig. 5 – trawers A-A'), 7-1-87K (otwór Lachowice 2), 17-1-86K (otwór Lachowice 7) i 56-1-89K (otwory Ślemień 1 i Lachowice 7). Na pozostałych profilach jej przebieg został wyinterpretowany w oparciu o przecinające się profile. Charakterystyczny obraz tej granicy to zręby i rowy, o generalnym kierunku NW-SE skracającym na W-E. W obszarach zrębów, gdzie granica Pr dowiązana została do odwiertów, najpłycej zlega na profilach 13-12-96K – czas 960 ms, głębokość ok. 1750 m p.p.m., 67-8-90K w rejonie otworu Roczyny 3 – czas 920 ms, głębokość ok. 1500 m p.p.m., w rejonie odwiertu Wysoka 2, profil 12-1-86K – czas 970 ms, głębokość ok. 1750 m p.p.m. oraz w rejonie odwiertu Ślemień, profil 6-1-87K – czas 1350 ms, głębokość ok. 2700 m p.p.m. W rowach, gdzie w większości przypadków przebieg granicy Pr został wyinterpretowany w oparciu o charakter refleksu, zalega ona np. na profilu 7-1-87K (na SW od otworu Lachowice 1) na czasie 1890 ms, na głębokości ok. 3900 m p.p.m., a na profilu 6-1-88K na czasie powyżej 2000 ms, głębokości powyżej 4200 m p.p.m. (centralna część obszaru badań). Utwory podłoża pokryte są dyskordantnie przez utwory dewonu i wyższego paleozoiku. Utwory dewonu zostały nawiercone na północ od Babiej Góry, ich południowy zasięg nie jest znany. W obszarze badań utwory dewonu nawiercone zostały w prawie wszystkich otworach (Fig. 3, 4 i 5). Wyjątkiem są prekambryjskie zręby: w rejonie odwiertu Trzebnia 2 – profil 44-8-94, odwiertu Andrychów 6 – 13-12-96 oraz odwiertu Ślemień 1 – 6-1-87K (Fig. 5). Devon przykryty jest przez utwory dolnego i górnego karbonu, podobne do występujących na przedgórzu Karpat i w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (Ślaczka 1975a, b, Moryc 2005, Cieszkowski *et al.* 2006). Utwory mezozoiczne zostały nawiercone jedynie we wschodniej części obszaru badań, m.in. w odwiertach Trzebnia 2 – profil 44-8-94K, Sułkowice 1 profil – 7-1-88K i Głogoczów IG1 – profil 6-1-88K. Ich miąższość jest niewielka, a charakterystycznie zaznaczają się jedynie na profilu 6-1-88K (Fig. 5) w rejonie otworu Głogoczów IG1. Miąższość utworów mezozoicznych rośnie wyraźnie ku wschodowi (Moryc 2005). Paleogen autochtoniczny, wieku eocen–oligocen (Oszczypko *et al.* 2006 i literatura tamże) reprezentują utwory klastyczne, głównie zlepieńce formacji z Zawojskiej (otwór Zawoja 1). Utwory miocenu zalegają niezgodnie na różnych utworach paleozoiku i mezozoiku, a także na wspomnianym wyżej paleogenie autochtonicznym. Morskie osady akwitana–burdygału znane są z wiercenia Andrychów 6 (Oszczypko *et al.* 2006 i literatura tamże).

W rejonie Zawoja – Sucha Beskidzka znajduje się olistoplaka redeponowanych utworów fliszowych, znanych jako formacja suska, przykryta przez 650 m miąższości utwory formacji stryszawskie, należące do burdygału (otnang–karpat) oraz przez dolnobadeńskie utwory formacji skawińskiej i młodsze utwory badenu i sarmatu (Oszczypko *et al.* 2006 i literatura tamże).

GENEZA USKOKÓW

Uskoki przecinające wyłącznie skonsolidowane podłoże i pokrywę paleozoiczną powstały w czasie orogenezy hercyńskiej w karbonie i wczesnym permie. Orogeneza hercyńska w Europie była wynikiem kolizji szeregu oddzielnych bloków z krawędzią Laurosji, po czym nastąpiła kolizja Gondwany z Laurosją (Golonka 2000, 2004). Orogeniczne deformacje były szeroko rozprzestrzenione. Występowały one w centralnej i zachodniej Europie (Golonka 2000). Zostało utworzone centralne pasmo górskie Pangei, rozciągające się od Meksyku po Polskę. Późnokarbońskie wydarzenia były również odnotowane na wschód i południe od centralnego pasma, między innymi w Alpach i w Karpatach (Vozárová & Vozár 1992, Dallmeyer *et al.* 1996, Rakús *et al.* 1998, Gawęda *et al.* 1998, Golonka *et al.* 2006). Podłoże większości płyt, które odgrywały znaczącą rolę w mezozoiczno-kenozoicznej ewolucji obszaru wokółkarpackiego uformowało się w okresie późnopaleozoicznych wydarzeń kolizyjnych. Starsze, kadmowskie i paleozoiczne podłoże, zostało przekształcone tektonicznie i termalnie w okresie hercyńskim. Wschodnie Alpy, Karpaty wewnętrzne, Cisa (Tisa) i terany przyległe zostały przyłączone do laurazjatyckiego ramienia Pangei. Obszar badań, czyli obecna południowa część platformy północnoeuropejskiej, stanowił, podobnie jak Górnośląskie Zagłębie Węglowe, przedgórze orogenu karpackiego. Utwory paleozoiczne, zdeformowane i zmetamorfizowane znajdują się na południe od pienińskiego pasa skałkowego, wyznaczającego strefę szwu pomiędzy platformą północnoeuropejską a teranem wewnątrzkarpackim. Na przedgórzu orogenu rozwijały się w późnym paleozoiku uskoki ekstensywne, związane z powstawaniem zapadliska przedgórskiego. W analizowanym obszarze deformacje te widoczne są najlepiej na profilu 67-8-90K (Fig. 4). Są to w większości przypadków uskoki normalne, dochodzące do powierzchni podmiocenińskiej, część z nich nosi ślady późniejszej, neogeńskiej reaktywacji. Mają one kierunki NE-SW, skręcające w części północnej na zachód.

Dalsze deformacje ekstensyjne miały miejsce w okresie jurajskim i kredowym, kiedy to w wyniku rozpadu Pangei powstała Tetyda alpejska, stanowiąca przedłużenie systemu centralnego Atlantyku (np. Golonka *et al.* 2006). Tetyda alpejska, w skład której wchodził między innymi basen magurski, którego osady znajdują się na omawianym obszarze, oddzielała platformę północnoeuropejską od teranu wewnątrzkarpackiego. Zorientowana była SW-NE i taki jest kierunek, związanych z jej powstaniem, ekstensyjnych uskoków mezozoicznych. Z Tetydą alpejską wiąże się też powstanie ryftu Karpat zewnętrznych (basen seweryńsko-mołodawidzki, z którego powstał później basen śląski) wypełnionego górnourajskimi – dolnokredowymi osadami fliszowymi.

Karpaty zewnętrzne zostały nasunięte w paleogenie i neogenie, jako rezultat kolizji teranu Karpat wewnętrznych i platformy północnoeuropejskiej (Golonka *et al.* 2006 i literatura tamże). W paleocenie – eocenie trwało zamykanie Tetydy przez orogenezy alpejską i himalajską. Płyty Adria (Apulia), Alp Wschodnich (austroalpejska) i blok Karpat wewnętrznych nie-

ustannie przesuwały się ku północy. Ich kolizja z płytą europejską zaczęła się w Alpach około 47 milionów lat temu (Decker & Peresson 1996). Na obszarze Karpat zewnętrznych powstała pryzma akrecyjna przesuwaną się stopniowo ku północy. Szat – burdygał (egger – wczesny karpat) był okresem głównej fazy orogenezy alpejskiej, formowania się gór w obszarze alpejsko-karpackim, śródziemnomorskim, himalajskim i Azji Centralnej. Kolizje trwały pomiędzy Afryką i Eurazją. Ruch Korsyki i Sardynii spowodował nacisk płyt w przyszłości ku wschodowi, co w efekcie dało deformacje systemu alpejsko-karpackiego. Deformacje te sięgały aż po Karpaty Rumuńskie (Royden 1988, Ellouz & Roca 1994) i trwały poprzez cały neogen. Apulia i terany alpejsko-karpackie posuwały się ku północy, będąc w kolizji z płytą europejską aż do około 17 milionów lat temu (Decker & Peresson 1996). Terany pomiędzy Apulią i stabilną płytą Europy uległy skróceniu i podniesieniu. Ruch ku wschodowi, spowodowany naciskiem Sardynii i Korsyki, nałożył się na proces wschodniej lateralnej ekstruzji. Ta, tak zwana tektonika ucieczki w stronę wolnych przestrzeni była kontrolowana przez uskoki przesuwcze działające jako uskoki ograniczające pryzmy skorupowe przesuwaną się ku wschodowi. Gęsta, regularna sieć uskoków jest cechą charakterystyczną dla Karpat. Szybyne uskoki, głównie przesuwcze, kombinowane z innymi dynamicznymi granicami tektonicznymi, pozwoliły na wchodzenie indywidualnych oderwanych bloków w przyszły obszar karpaccki. Przy uskokach przesuwczych (Marko *et al.* 1991) powstały długie bruzdy o kierunku wschód – zachód, przekształcone następnie w baseny wypełnione przez osady eggenburgu – wczesnego karpatu. Kolizja teranów alpejsko-karpackich z płytą europejską spowodowała przesuwanie się przedgórza ku północy. Skośna kolizja pomiędzy płytą północnoeuropejską i najeżdżającymi na nią teranami Karpat Zachodnich doprowadziła do rozwoju zewnętrznej pryzmy akrecyjnej, uformowania się szeregu płaszczowin fliszowych i utworzenia zapadliska przedgórskiego (Kováč *et al.* 1993, 1998, Ślącza 1996a, b, Ślącza *et al.* 2006). Płaszczowiny były odkłute od swojego pierwotnego podłoża i nasunięte na paleozoiczno-mezozoiczne osady platformy północnoeuropejskiej i pokryte częściowo przez utwory trzeciorzędowe.

Główna faza formowania się nasunięć Karpat Zachodnich została zakończona w burdygale (Kováč *et al.* 1993, 1998, Ślącza 1996a, b, Ślącza *et al.* 2006, Oszczypko 1997, Oszczypko *et al.* 2006). W znacznej mierze już uformowane nasunięcia karpacckie przesuwały się w dalszym ciągu w kierunku platformy eurazjatyckiej, powodując powstanie depresji fleksuralnej – peryferycznego basenu przedgórskiego związanego z przesuwaną się brzegiem Karpat (np. Oszczypko 1998). Przesuwanie się Karpat ku północy jest związane z rozwojem dekstralnych uskoków przesuwczych o kierunku N-S. Tego typu strefa uskokowa widoczna jest na linii łączącej otwory Potrójna IG 1 oraz Jachówka 2K, na trawersie A-A' złożonym z profili 6-1-88K i 6-1-87K (Fig. 5) oraz na profilu 12-1-86K. Strefę tę ograniczają od zachodu i wschodu uskoki normalne, których układ zbliżony jest do niesymetrycznej struktury kwiatowej. Uskoki od strony zachodniej mają niewielki zrzut. Natomiast uskoki od strony wschodniej są znacznie większe, o czym świadczy wyraźna różnica pomiędzy zachodnią i wschodnią stroną strefy uskokowej – po stronie zachodniej granica Flsp zalega ok. 400 m niżej, co odpowiada różnicy wysokości ok. 1000 m. Przebieg tej strefy pokrywa się mniej więcej z powierzchniowym przebiegiem uskoku Skawy. Istniejące uprzednio miocenijskie bruzdy związane z uskokami przesuwczymi uległy rozczłonkowaniu a ich oddzielne fragmenty były rotowane około 30°–40° w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara (Kováč & Tunyi 1995, Golonka *et al.* 2005, 2006).

Kolejnym etapem były ostatnie nasunięcia Karpat w kierunku położenia zajmowanego obecnie (Oszczypko 1998). Karpackie bloki litosferyczne przesunęły się ku wschodowi, kolidując z platformą wschodnioeuropejską około 9 mln lat temu. Wynikiem tej kolizji było wydarzenie kompresyjne o kierunku E-W (Decker & Peresson 1996), które objęło swoim zasięgiem nawet odległe tereny Karpat Zachodnich. Normalne uskoki o kierunku E-W odnowiły się w czasie tego okresu naprężeń i kontrolowały tworzenie się morfostruktur – zrębów i depresji o kierunku E-W. Tego typu uskok widoczny jest doskonale na profilu 14-1-87 (Fig. 3, trawers B-B') oraz profilu 17-1-86. Ma on przebieg NEE-SWW. Ten potężny uskok przecina utwory od podłoża paleozoicznego po allochton fliszowy, pomiędzy otworami Zawoja 1 od strony południowej, a Sucha Beskidzka 1 i Lachowice 7 od północnej. Wzdłuż tego uskoku następuje przemieszczenie płaszczowin nasunięcia karpackiego i diapirowe wyciśnięcie plastycznych utworów jednostki podśląskiej. Podobne uskoki, obserwowane poza obszarem badań, przyczyniają się do powstawania okien tektonicznych.

Uskoki normalne przecinające utwory neogenu wiążą się z powstawaniem zapadliska w trakcie przesuwania się płaszczowin Karpat zewnętrznych ku północy. Ciężar nasuwających się Karpat spowodował uginanie się płyty północnoeuropejskiej i jej pękanie. Modelowanie ugięcia litosfery w rejonie karpackim (Krzywiec & Jochym 1997) sugeruje również inne czynniki odpowiedzialne za powstawanie deformacji w obrębie płyty północnoeuropejskiej, takie jak subdukcja płyty oceanicznej Tetydy alpejskiej i kolizyjne rozrywanie płyty (*slab detachment*). Utwory allochtoniczne fliszowe wykazują odrębny system spękań i uskóków powstały w okresie przesuwania się płaszczowin. Niektóre wielkie systemy uskokowe, które powstały w ostatnim okresie przecinają zarówno podłoże, jego pokryw osadową, jak i nasunięty allochton. Mogą mieć one charakter przesuwczy lub ekstensyjny.

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".

Autorzy pragną podziękować PGNiG S.A. oraz Geofizyce Kraków Sp. z o.o. za udostępnienie niezbędnych do pracy materiałów geofizycznych.

LITERATURA

- Bała M. & Witek K., 2007. Model prędkościowy fal P i S oraz gęstości objętościowych dla wybranych otworów w rejonie Karpat Zachodnich. *Kwartalnik AGH Geologia*, 33, 4/1, 59–80.
- Baran U., Jawor E. & Jawor W., 1995. Geological recognition and direction for exploration for oil and gas in the Miocene sequence and Mezo-Palaeozoic basement in the western part of the Polish Carpathians and Carpathian Foredeep. *Oil and Gas News from Poland. POGC Information Bulletin*, 5, 105–128.
- Cieszkowski M., Golonka J., Waškowska-Oliwa A. & Chrustek M., 2006. Budowa geologiczna rejonu Sucha Beskidzka – Świnna Poręba (polskie Karpaty fliszowe). Geological structure of the Sucha Beskidzka region – Świnna Poręba (Polish Flysch Carpathians). *Kwartalnik AGH Geologia*, 32, 2, 155–201.

- Decker H. & Peresson H., 1996. Tertiary kinematics in the Alpine-Carpathian-Pannonian system: links between thrusting, transform faulting and crustal extension. In: Wessely G. & Liebl W. (eds), *Oil and gas in Alpidic thrustbelts and basins of Central and Eastern Europe, Special Publications of the European Association of Geoscientists and Engineer 5*. Geological Society, London, 17–21.
- Ellouz N. & Roca E., 1994. Palinspastic reconstruction of the Carpathians and adjacent areas since the Cretaceous: a quantitative approach. In: Roure F. (ed.), *Peri-Tethyan Platform*. Technip, Paris, 51–77.
- Gawęda A., Kozłowski K. & Piotrowska K., 1998. Tectonic development of the crystalline basement of the Polish part of the Western Tatra Mts. *Acta Universitatis Carolinae – Geologica*, 42, 252–253.
- Golonka J., 2000. *Cambrian-Neogene Plate Tectonic Maps*. Wydawnictwa Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 125.
- Golonka J., 2004. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. *Tectonophysics*, 381, 235–273.
- Golonka J., 2007. Tektonika polskich Karpat fliszowych pomiędzy Bielskiem-Białą a Nowym Targiem. *Kwartalnik AGH Geologia*, 33, 4/1, 29–38.
- Golonka J. & Waškowska-Oliwa A., 2007. Stratygrafia polskich Karpat fliszowych pomiędzy Bielskiem-Białą a Nowym Targiem. *Kwartalnik AGH Geologia*, 33, 4/1, 5–28.
- Golonka J., Aleksandrowski P., Aubrecht M., Chowaniec J., Chrustek M., Cieszkowski M., Florek R., Gawęda A., Jarosiński M., Kępińska B., Krobicki M., Lefeld J., Lewandowski M., Marko F., Michalik M., Oszczytko N., Picha F., Potfaj M., Słaby E., Ślaczka A., Stefaniuk M., Uchman A. & Żelaźniewicz A., 2005. Orava Deep Drilling Project and the Post Paleogene tectonics of the Carpathians. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 75, 211–248.
- Golonka J., Gahagan L., Krobicki M., Marko F., Oszczytko N. & Ślaczka A., 2006. Plate Tectonic Evolution and Paleogeography of the Circum-Carpathian Region. In: Golonka J. & Picha F. (eds.) *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources: American Association of Petroleum Geologists*, Memoir 84, 11–46.
- Kováč M., & Tunyi I., 1995. Interpretácia paleomagnetických údajov zo západnej časti Centrálnych Západných Karpát. *Mineralia Slovaca*, 27, 213–220.
- Kováč M., Nagymarosy A., Soták J. & Šutovská K., 1993. Late Tertiary paleogeographic evolution of the Western Carpathians. *Tectonophysics*, 226, 401–415.
- Kováč M., Nagymarosy A., Oszczytko N., Ślaczka A., Csontos L., Marunteanu M., Matenco L. & Marton M., 1998. Palinspastic reconstruction of the Carpathian-Pannonian region during the Miocene. In: Rakus M. (ed.), *Geodynamic development of the Western Carpathians*. Geological Survey of Slovak Republic, Bratislava, 189–217.
- Krzywiec P. & Jochym P., 1997. Charakterystyka miocenijskiej strefy subdukcji Karpat Polskich na podstawie wyników modelowań ugięcia litosfery. *Przegląd Geologiczny*, 45, 8, 785–792.
- Książkiewicz M., 1977a. Hypothesis of plate tectonics and the origin of the Carpathians. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 47, 329–353.
- Książkiewicz M., 1977b. Tectonics of the Carpathians. In: Pożaryski W. (ed.), *Geology of Poland. Vol. IV. Tectonics*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 476–604.

- Marko F., Fodor L. & Kováč M., 1991. Miocene strike-slip faulting and block rotation in Brezovské Karpaty Mts. (Western Carpathians). *Mineralia Slovaca*, 23, 189–200.
- Moryc W., 2005. Rozwój utworów miocenu w Karpatach Zachodnich na obszarze Bielsko-Kraków. *Kwartalnik AGH Geologia*, 31, 1, 5–73.
- Nowotarski C., 1987. Geological effects of geophysical investigations realized by Cracow Geophysical Enterprise and their importance for oil prospecting. *Nafta*, 3, 66–71.
- Nowotarski C. & Przybyło S., 1989. Najnowsze wyniki badań sejsmicznych w zapadlisku przedkarpackim i Karpatach. Sesja naukowa *Tektonika Karpat i Przedgórze w świetle badań geofizycznych i geologicznych*. Kraków. Wydawnictwo Geofizyka Kraków, 22–38.
- Oszczypko N., 1997. The early-middle Miocene Carpathian peripheral foreland basin (Western Carpathians, Poland). In: Krobicki M. & Zuchiewicz W. (eds), Dynamics of the Pannonian-Carpathian-Dinaride system, PANCARDI 97. *Przegląd Geologiczny*, 45, 1054–1063.
- Oszczypko N., 1998. The Western Carpathian Foredeep – development of the foreland basin in front of the accretionary wedge and its burial history (Poland). *Geologica Carpathica*, 49, 415–431.
- Oszczypko N., Krzywiec P., Popadyuk I. & Peryt T., 2006. Carpathian Foredeep Basin (Poland and Ukraine): Its sedimentary, structural, and geodynamic evolution. In: Golonka J. & Picha F. (eds.) The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources. *American Association of Petroleum Geologists*, Memoir 84, 261–318.
- Pietsch K., 1992. Czy badania sejsmiczne umożliwiają rozpoznanie budowy Karpat? *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 8, 1, Kraków, 83–97.
- Pietsch K., Strzetelski W., Jarzyna J. & Górecki W., 1997. The geological and geophysical interpretation of the sub-Carpathian autochthonous gas-bearing Devonian structures of Lachowice–Stryszawa. *Geological Quarterly*, 42, 2, 169–184.
- Rakús M., Potfaj M. & Vozárová A., 1998. Basic paleogeographic and paleotectonic units of the Western Carpathians. In: Rakús M. (ed.), Geodynamic development of the Western Carpathians. *Geological Survey of Slovak Republic*, Bratislava, 5–26.
- Royden L., 1988. Late Cenozoic tectonics of the Pannonian basin system. In: Royden L. & Horváth F. (eds), The Pannonian Basin: a study in basin evolution. *American Association of Petroleum Geologists*, Memoir, 45, 27–48.
- Ślęczka A., 1975. Wyniki geologiczne otworu Potrójna IG1. *Kwartalnik Geologiczny*, 19, 2, 487–488.
- Ślęczka A., 1976a. Profil geologiczny otworu wiertniczego Sucha IG1. *Kwartalnik Geologiczny*, 20, 4, 958–959.
- Ślęczka A., 1976b. New data on the structure of the basement of the Carpathians south of the Wadowice. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 46: 337–350.
- Ślęczka A., Kruglow S., Golonka J., Oszczypko N. & Popadyuk I., 2006. The General Geology of the Outer Carpathians, Poland, Slovakia, and Ukraine. W: Picha F. & Golonka J. (eds), The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources. *American Association of Petroleum Geologists*, Memoir, 84, 221–258.
- Vozárová A. & Vozár J., 1992. Variscan Terranes and evolution of the Late Paleozoic sedimentary basins (Western Carpathians). *International Geological Correlation Programme No 276, Special Volume GUDŠ Bratislava*, 147–154.

- Zacharski J., Nowak J. & Skucińska M., 2006. Prace interpretacyjne w wybranych otworach w rejonie Karpat Zachodnich. *Zlec. WGGiOŚ/zgf/158/2006. Archiwum Katedry Geofizyki WGGiOŚ AGH.*
- Žytko 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 / GUDS Bratislava / Uug Praha.

Summary

Seismic survey plays an important role in prospecting for oil and gas deposits in the Carpathians. Seismic data are helpful for determination of regional determinants influencing development of the petroleum system, sedimentation conditions of reservoir rocks, hydrocarbons migration routes and formation of traps.

Methodology of seismic profile interpretation

The orientation of seismic flysch boundaries and boundaries of its basement was estimated on the basis of interpretation of reflection sections migrated seismic (Geofizyka Kraków Sp. z o.o.) tied to geophysical and geological borehole data (Fig. 1).

Geological identification of seismic reflections was made on the basis of synthetic seismograms (seismic modelling 1D), computed with the LogM program in the GeoGraphix (*Landmark Graphics Co.*) system for all boreholes where SONIC measurements were made (Fig. 2). Correlation of seismic horizons was performed in the SeisVision program of the GeoGraphix system. The following boundaries were identified: **JMsp** – the Magura unit base, **JSsp** – the Silesian unit base, the flysch base – **Flsp**, **PALstr** – the top of various Paleozoic formations pinching out to the Sub-Miocene surface, **C1str** – the top of the Lower Carboniferous, **D2str** – the top of carbonate formations of the Middle Devonian, **Cm+D1str** – the top of shaly-sandstone formations of the Lower Devonian and the Earlier Paleozoic (Cambrian) and **Pr** – the top of consolidate basement, mainly Precambrian.

Poor quality of recorded seismic profiles and insufficient amount of well log data caused that it was extremely difficult to identify fault zones formed at various stress regimes, of various depth ranges and various directions.

Seismic time sections interpreted in relation to available borehole data and extensive literature on geological structure of this part of the Carpathians, have served as the basis for developing geodynamic model of the Carpathian orogene development in the Wadowice–Babia Góra area.

North European Platform

The North European Platform is a great continental plate, which was amalgamated in the Precambrian and Paleozoic. In the survey area, under allochthonic Jurassic-Neogene rocks of the Outer Carpathians, sedimentation cover of the platform consists of Paleozoic, Mesozoic and Neogene sequences. Strongly folded Precambrian metamorphic rocks belonging to the

Bruno-Vistulicum terrane (Golonka *et al.* 2005) are the main component of the consolidated basement. The seismic boundary Pr was identified explicitly in the northern and central part of the survey area, in profiles 14-7-95K (Fig. 3), 61-8-90K, 12-1-87, 67-8-90K, 6-1-87K, 7-1-87K, 17-1-86K. The characteristic features of this boundary are horsts and troughs of general direction NW-SE turning W-E. The formations of the basement are covered discordantly by Devonian and Upper Paleozoic formations.

Genesis of the faults

Faults cutting only the consolidated basement and the Paleozoic cover were formed during the Hercynian Orogeny in the Carboniferous and the Early Permian. The survey area that is actual southern part of the North European Platform constituted the Carpathian orogenic belt foreland, where extensive faults had developed, related to formation of the foredeep. The deformations in the analyzed area – these are normal faults generally of NE-SW orientation, best seen on the profile 67-8-90K (Fig. 4).

An oblique collision between the North European Plate and the West Carpathians terranes invading it, leads to development of outer accretion prism, formation of a range of flysch nappes and formation of a foredeep (Kováč *et al.* 1993, 1998; Ślącza 1996a, b; Ślącza *et al.* 2006). Displacement of the Carpathians northwards is related to development of dextral strike-slip faults of N-S direction. A fault zone of this type is visible in profiles 6-1-88K i 6-1-87K (Fig. 5) and 12-1-86K. It is limited on the west and on the east by normal faults configuration of which is similar to an asymmetrical flower structure. At the western side the Flsp boundary lies about 400 ms lower which corresponds to the altitude difference of about 1000 m. The orientation of this zone more or less coincides with the surface course of the Skawa fault.

The next stage were the last thrusts of the Carpathians towards their present position (Oszczypko 1998). Normal faults of E-W orientations renewed during this stress period and they controlled formation of morphostructures – horsts and depressions of E-W orientation. A fault of this type is perfectly visible in the profiles 14-1-87 (Fig. 3) and 17-1-86. It has the NEE-SWW orientation. This huge fault cuts formations from the Paleozoic basement through the flysch allochthon between the boreholes Zawoja 1, from the south, and Sucha Beskidzka 1 and Lachowice 7, from the north. The displacement of nappes of the Carpathian overthrust and diapiric extrusion of plastic formation of the Sub-Silesian Unit occurred along this fault.