

## Budowa frontalnej strefy Karpat zewnętrznych na przykładzie mioceńskiej jednostki Zgłobice w rejonie Brzeska–Wojnicz — nowe dane, nowe modele, nowe pytania

Piotr Krzywiec\*, Paweł Aleksandrowski\*\*, Radosław Florek\*\*\*, Janusz Siupik\*\*\*

**The structure of the Outer Carpathian orogenic front: an example of the Miocene Zgłobice Unit between Brzesko and Wojnicz (SE Poland)— new data, new models, new questions.** *Prz. Geol.*, 52: 1051–1059.

*S u m m a r y.* Pilot interpretation of selected new seismic profiles located within the Miocene Zgłobice Unit (Polish Outer Carpathians, Brzesko–Wojnicz area) allowed us to set up a new tectonic model of the Carpathian front in this area, in many respects different from the previously proposed ones. The central part of the Zgłobice Unit is interpreted as a passive-roof duplex defining a Miocene triangle zone. Above the duplex, in the roof of the triangle zone, major synclinal folds are recognised in the Miocene deposits and attributed to shortening in the hanging wall of the frontal roof backthrust of the duplex. Some of the inferred tectonic structures are classified as syn-depositional, coeval with sedimentation of the upper portion of the post-evaporitic siliciclastic foredeep succession (Grabowiec Beds). Three main types of hydrocarbon traps are identified within the Zgłobice Unit and within the sedimentary infill of deep palaeovalleys developed within the Mesozoic basement. Because of pilot character of the interpretation here discussed, some of the solutions proposed in this paper should be regarded as working hypotheses, requiring further, more detailed studies. The latter should include detailed stratigraphic investigations in the key structural elements of the Zgłobice Unit, applying advanced techniques of seismic data processing (pre-stack depth migration, structural seismic modelling) and acquisition of shallow high-resolution seismic images. In order to better understand the geometry and kinematics of the interpreted linked thrust system, application of quantitative balancing techniques will be necessary.

**Key words:** Miocene, Outer Carpathians, Carpathian Foredeep, Zgłobice Unit, reflection seismics, dipmeter data interpretation, thrust tectonics, triangle zone, passive-roof duplex, hydrocarbon prospecton

Problematyka genezy i budowy specyficznych struktur tektonicznych — stref trójkątnych (ang. *triangle zones*) oraz dupleksów o pasywnym stropie (ang. *passive-roof duplexes*), rozwijających się często na frontach orogenicznych w strefie przejściowej między brzeżnymi pasmami fałdowo-nasuwczymi a osadami zapadlisk przedgórskich, została przedstawiona w poprzednim numerze Przeglądu Geologicznego (Krzywiec & Aleksandrowski, 2004). Celem tej publikacji było wprowadzenie czytelnika w zagadnienia związane z nową interpretacją budowy frontu Karpat pomiędzy Brzeskiem i Wojniczem. Interpretacja ta jest przedmiotem niniejszego artykułu, który dokumentuje wyniki pierwszego etapu prac badawczych poświęconych analizie budowy geologicznej i ewolucji strukturalnej strefy frontalnej polskiego segmentu orogenu karpacciego i jej podłoża, w oparciu o najnowsze dane sejsmiczne uzyskanych w trakcie poszukiwań naftowych. W obszarze tym intensywne prace poszukiwawcze prowadzone już od wielu lat, uwieńczono zostały licznymi odkryciami złóż gazu ziemnego i ropy naftowej (Karnkowski, 1993, 1994, 2001). Przedstawiane wyniki prac interpretacyjnych oparte są na analizie dwóch profili sejsmicznych (2–02–02K i 3–02–02K), wchodzących w skład zdjęcia sejsmicznego „Brzesko–Wojnicz”, zrealizowanego w 2002 r. przez Geofizykę Kraków Sp. z o.o. na zlecenie PGNiG S.A. (Borowska & Fuks-Kopiejko, 2002). Celem tego etapu prac było dokonanie pilotażowej, zintegrowanej interpretacji geofizyczno–geologicznej wybranych profili, przy uwzględnieniu współczesnego stanu wiedzy dotyczącej

tektoniki nasuwczej, oraz opracowanie wstępnego modelu ideowego różnego rodzaju pułapek dla węglowodorów występujących w obrębie allochtonicznych i autochtonicznych utworów mioceenu zapadliska przedkarpacciego, a także w obrębie podłoża frontalnej części orogenu karpacciego (Krzywiec i in., 2003). Oprócz interpretacji danych sejsmicznych, wykonano również strukturalną interpretację danych upadomierza oraz prace terenowe.

Uzyskane wyniki, poza opracowaniem nowego modelu tektonicznego frontu orogenu karpacciego w rejonie Brzeska–Wojnicz, pozwoliły też na sformułowanie nowych pytań i zgadnień, a także wniosków dotyczących planowania przyszłych badań geofizyczno–geologicznych oraz poszukiwań naftowych na tym obszarze.

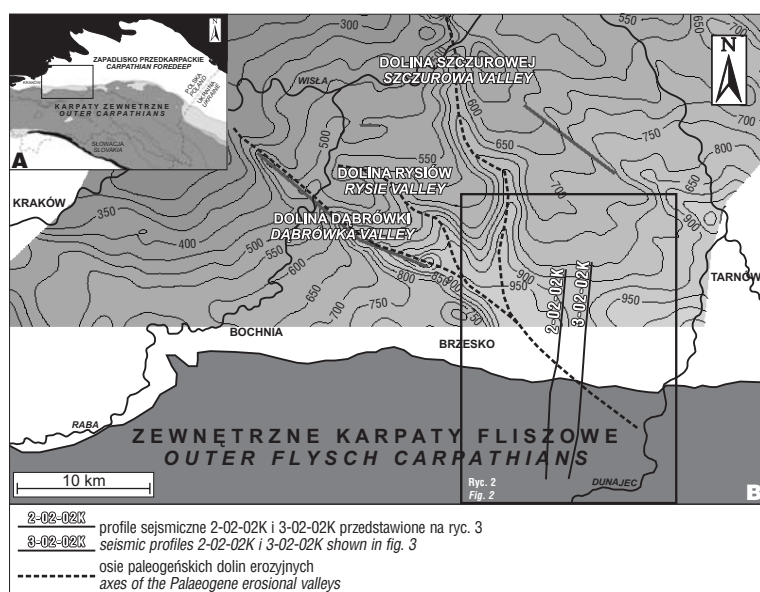
### Jednostka Zgłobice i jej bezpośrednie podłoże — ogólna charakterystyka

Obszar badań ulokowany jest na styku dwóch regionalnych jednostek tektonicznych: Karpat zewnętrznych i zapadliska przedkarpacciego (ryc. 1). Podłoże centralnej części zapadliska jest zbudowane z osadów mezozoicznych będących bezpośrednim przedłużeniem utworów niecki niżańskiej (Jawor, 1970). Strop podłoża tej części zapadliska przedkarpacciego, odwzorowany przez ukształtowanie badeńskich ewaporatów (ryc. 1), charakteryzuje się występowaniem znacznych deniwelacji morfologicznych. Deniwelacje te tworzą charakterystyczny system paleodolin (Dąbrówki, Rysiów i Szczurowej), łączących się na wschód od Brzeska w jedną formę morfologiczną zanurzającą się pod Karpaty. Paleodoliny te rozpoznano już w latach 60. ubiegłego wieku (Karpała & Łapinkiewicz, 1962; Połtowicz, 1964), wykorzystując dane sejsmiczne. Ich genezę wiązano z paleogeńską erozją (np. Karnkowski, 1978; Oszczytko & Tomasz, 1976; Połtowicz, 1964, 1997a), bądź z mioceńską ekstensją plat-

\*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; piotr.krzywiec@pgi.gov.pl

\*\*Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, ul. Cybulskiego 30, 50-205 Wrocław; palex@ing.uni.wroc.pl

\*\*\*PGNiG S.A., Departament Poszukiwania Złóż, Ośrodek Południe, Lubicz 25, 31-503 Kraków; radekf@geonafta.krakow.pl; jsupik@geonafta.krakow.pl



**Ryc. 1. A** — Lokalizacja obszaru badań (prostokąt) na tle uproszczonej mapy geologicznej Karpat zewnętrznych i ich przedpola (wg Żyto i in., 1988, 1989, zmodyfikowane); **B** — Czasowa mapa strukturalna stropu autochtonicznych ewaporatów miocenijskich i (w miejscach ich braku) stropu mezozoicznego podłoża (z Krzywiec, 1997, 1998, 2001). Zasięg mapy na południe i wschód zdeterminowany jest dostępnością wykorzystanych do jej konstrukcji danych sejsmicznych. W związku z na ogół niewielką miąższością utworów podewaporatowych, mapa ta może być traktowana jako bliska aproksymacja mapy stropu podłoża mezozoicznego

**Fig. 1. A** — Location of the study area (rectangle) at the background of the simplified geological map of the Outer Carpathians and their foreland (after Żyto et al., 1988, 1989, modified). **B** — Time structural map of the top of the Miocene autochthonous evaporites and (for areas without the evaporites) top of the Mesozoic basement (from Krzywiec, 1997, 1998, 2001). Map extent towards south and east is determined by availability of seismic data used for its construction. Because of usually small thickness of the sub-evaporitic deposits, this map can be regarded as a close approximation of map of the top of the Mesozoic basement

formowego przedpola Karpat (Oszczypko & Ślęczka, 1985).

W przeciągu kilku ostatnich dziesięcioleci opublikowano ogromną liczbę prac poświęconych różnym aspektom stratygrafii miocenijskich osadów zapadliska przedkarpackiego. Detaliczne omówienie zagadnień biostratygrafii i litostratygrafii zapadliska przedkarpackiego w nawiązaniu do innych rejonów Polski i krajów otaczających znaleźć można w pracy Malinowskiej i Piwockiego (1996). W obrębie osadów miocenijskich zapadliska przedkarpackiego wyróżniono szereg formalnych i nieformalnych jednostek litostratygraficznych (por. Oszczypko, 1996, 1997; Piwocki i in., 1996), których wzajemne relacje stratygraficzne nadal nie są jednak jednoznacznie określone. W obszarze badań znajdują się utwory miocenijskie tradycyjnie zaliczane do badenu i sarmatu. We wczesnym badaniu powstał tzw. basen zewnętrzny zapadliska przedkarpackiego (Ney i in., 1974), w którego południowej części osadziły się, sięgające 1000 m miąższości, ilasto-piaszczyste osady formacji skawińskiej (Oszczypko, 1996, 1998). W północno-wschodniej części zapadliska (obszar przed obecnym czołem Karpat i na wschód od Krakowa) początek sedymentacji związanej z rozwojem zapadliska przedkarpackiego jest reprezentowany przez tzw. warstwy baranowskie. Są to osady ilasto-piaszczyste, miejscami ze zlepieńcami transgresywnymi w spagu, o

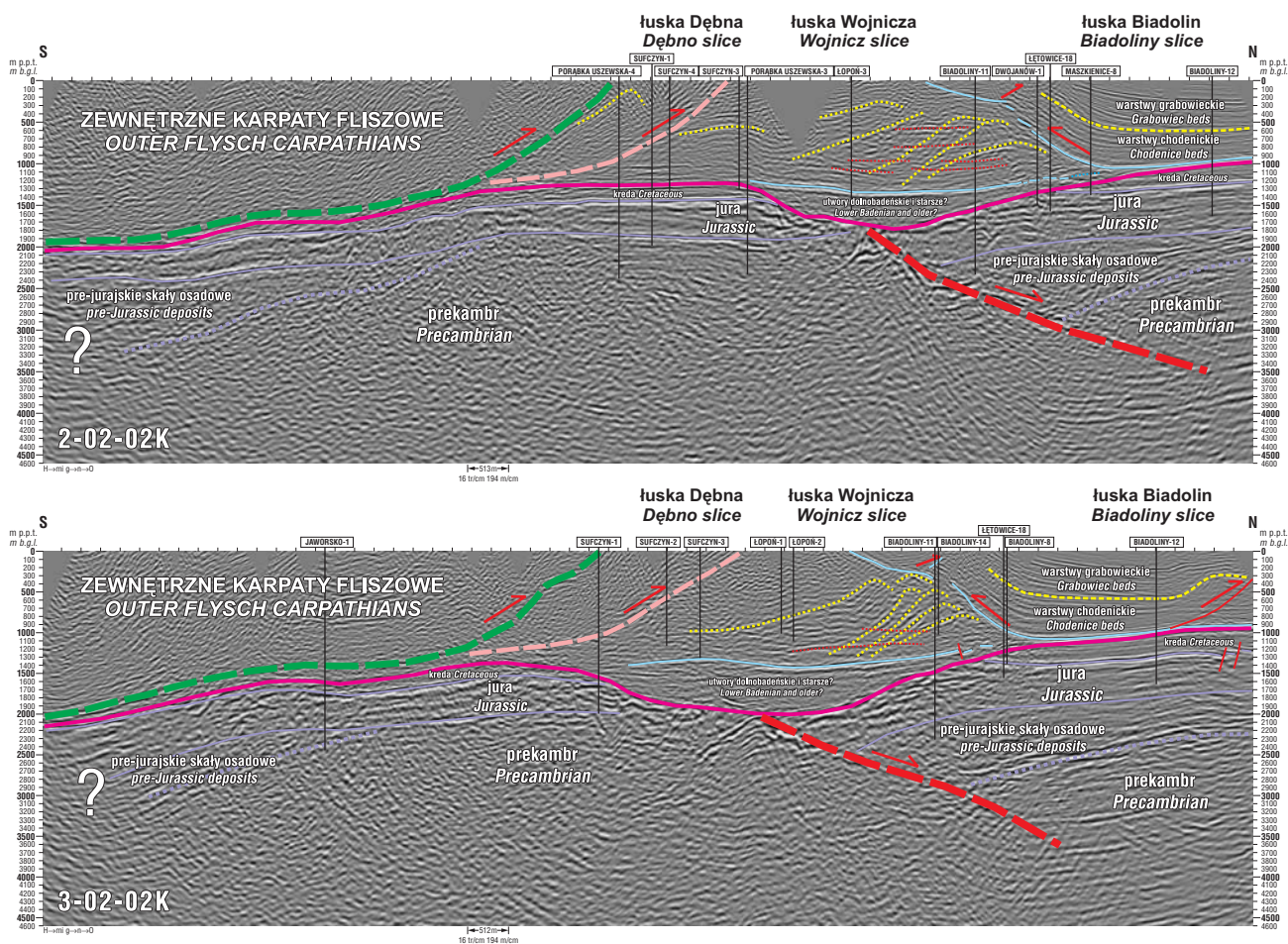
miąższości od kilku do ok. 90 m (Jawor, 1983; Ney i in., 1974). W późnym badaniu postępująca izolacja zapadliska przedkarpackiego od pozostałych części Paratetydy, połączona z wzrastającym zasoleniem wód doprowadziła do depozycji szeroko rozprzestrzenionych osadów ewaporatowych (Ney i in., 1974; Andreyeva-Grigorovich i in., 2003). Najpóźniejszy baden i sarmat to okres odtworzenia warunków otwartego morza w polskiej części zapadliska przedkarpackiego (Oszczypko & Ślęczka, 1989). Osady występujące ponad poziomem ewaporatów obejmują warstwy chodenickie, warstwy grabowieckie, ily spirialisowe oraz piaski bogucickie.

Badania poświęcone tektonice frontalnej strefy orogenu karpackiego prowadzone są na terenie Polski od wielu lat (np. Książkiewicz, 1972, 1977; Tołwiński, 1956; Unrug, 1984; Karnkowski, 1986; Kirchner & Połtowicz, 1974; Kotlarczyk, 1985; Koszarski, 1985; Ney, 1968; Oszczypko i Tomasz, 1985; Oszczypko i Ślęczka, 1989; Połtowicz, 1991a, b, 1994, 1997a, b; Wdowiarz, 1976). Badania geologiczne sfałdowanych osadów miocenijskich zapadliska przedkarpackiego występujących przed czołem polskich Karpat w rejonie między Krakowem a Tarnowem, w dużej części związane były z rozpoznaniem złóż soli kamiennej występujących od Wieliczki po Bochnię (m.in. Friedberg, 1929; Garlicki, 1960, 1970, 1971; Niedzwiedzki 1883; Poborski i Skoczylas-Ciszewska, 1963; Połtowicz, 1977; Szybiś & Tobała, 1995). Oceny wieku poszczególnych etapów nasuwania orogenu karpackiego dokonywano na podstawie relacji stratygraficznych i tektonicznych pomiędzy płaszczowinami fliszowymi a miocenijskimi osadami zapadliska, występującymi bądź to w pozycji autochtonicznej (pod nasunięciem karpackim lub na północ od niego), bądź też allochtonicznej (bezpośrednio przed czołem fliszu), albo też parautochtonicznej (ponad nasuniętym fliszem karpackim).

W centralnej części polskiego fragmentu zapadliska przedkarpackiego dla strefy zdeformowanych utworów miocenijskich używano rozmaitych nazw, takich jak „fałdy bocheńskie” (Książkiewicz, 1972), „płaszczowina bocheńska” (Olewicz, 1973a, 1973b) czy też „jednostka wojnicka” (J. Wojniczka; Koszarski, 1985). Obecnie szeroko akceptowanym terminem, wprowadzonym przez Kotlarczyka (1985), jest jednostka Zgłobiec. Informacje na temat jej budowy oraz stratygrafii pochodzą w przeważającej mierze z otworów wiertniczych (np. Kirchner & Moryc, 1966; Kirchner & Połtowicz, 1974), a tylko w niewielkim stopniu z badań w nielicznych tu odsonięciach (Kozikowski & Morawska, 1957).

Obiektem przedstawionej poniżej analizy tektonicznej jest obszar znajdujący się między Brzeskiem a Wojniczem (ryc. 2). Autorzy podstawowej pracy dotyczącej tektoniki jednostki Zgłobiec w tym obszarze (Kirchner & Połtowicz, 1974) przyjmują istnienie trzech łusek: tektonicznie najwyższej, najbardziej południowej łuski Dębna, środkowej





**Ryc. 3.** Zinterpretowane głębokościowe profile sejsmiczne 2–02–02K i 3–02–02K. Niebieski horyzont–ewaporaty. Łuska Dębna, łuska Wojnicz i łuska Białodol stanowią podstawowe elementy tektoniczne wyróżnione w obrębie jednostki Zgłobice przez Kirchnera i Połtowicza (1974). Większość otworów była rzutowana ze stosunkowo dużej odległości (por. ryc. 2) i w związku z tym otwory pokazane na obu profilach mogą się znajdować w odmiennej pozycji strukturalnej. Lokalizacja–patrz ryc. 1 i 2. Pozostałe opisy w tekście

**Fig. 3.** Interpreted depth seismic sections 2–02–02K and 3–02–02K. Blue horizon–evaporites. The Dębno, Wojnicz and Białodol thrust slices are main tectonic elements distinguished by Kirchner and Połtowicz (1974) within the Zgłobice unit. Most of wells have been projected from relatively large distance (comp. ryc. 2) hence wells shown on both seismic profiles could be located in different structural position. Location shown in fig 1 and 2. See text for further explanations

horyzonty nachylone związane — jak tu przyjęto — z łuskami dupleksu. Taki krzyżowy układ horyzontów sejsmicznych jest, oczywiście, z punktu widzenia poprawności interpretacji geologiczno-strukturalnej, wewnętrznie sprzeczny. W trakcie interpretacji przyjęto założenie, że poziome horyzonty są artefaktami sejsmicznymi, najprawdopodobniej nie w pełni usuniętymi falami wielokrotnymi, a horyzonty nachylone odzwierciedlają rzeczywistą budowę geologiczną omawianej strefy utworów miocenijskich. Pogląd ten mógłby zostać zweryfikowany poprzez zaawansowane przetwarzanie danych sejsmicznych, np. z wykorzystaniem migracji głębokościowej przed składaniem, opartej na szczegółowym modelu prędkościowym zgodnym ze skomplikowanym modelem strukturalnym (por. Lines i in., 2000) oraz poprzez strukturalne modelowania sejsmiczne (por. Fagin, 1998). Od południa miocenijska strefa trójkątna i związany z nią dupleks o pasywnym stropie, odpowiadające elementowi Wojnicz w nomenklaturze Kirchnera i Połtowicza (1974), ograniczone są frontálním nasunięciem elementu Dębna, który ma wyraźnie odmienną strukturę. Wydaje się, że ma on — strukturalnie — dużo więcej wspólnego ze strefą nasuwczą

zdeformowanego fliszu, niż z leżącymi bardziej na północ allochtonicznymi elementami miocenijskimi.

Poniżej strefy trójkątnej wyinterpretowano ciągle horyzont sejsmiczny, wiążąc go z autochtonicznymi ewaporatami. Taka interpretacja jest analogiczna do innych interpretacji tego horyzontu, w których wskazywana jest korelacja tego horyzontu z ewaporatami nawierconymi w otworze Dwojanów–1 (por. Borowska & Fuks-Kopiejko, 2002). Horyzont ten przewiercony został m.in. przez otwór Białodoliny–11 (ryc. 3; por. Kirchner & Połtowicz, 1974). Ponad frontálním nasunięciem wstęcznym strefy trójkątnej występuje charakterystyczna struktura, w której spagu zaznacza się silny horyzont sejsmiczny, zbliżony do horyzontu związanego z poziomem ewaporatowym, co potwierdzone jest m.in. w otworze Zakrzów–5. Szczegóły budowy i genezy tej płytkiej struktury omówione są niżej.

Pod jednostką Zgłobice, w obrębie podłoża mezozoicznego występuje wydatte obniżenie morfologiczne. Jest ono bezpośrednią kontynuacją systemu dolin erozyjnych znanych z przedpola Karpat (doliny Dąbrówki, Rysiów i Szczurowej; por. ryc. 1). W bardziej północnej części tego systemu dolin erozyjnych, ewaporaty spoczywają na bardzo cienkiej warstwie dolnobadeńskich klastyków, „oble-

kając” podłoże (z wyjątkiem miejsc, gdzie lokalnie ewaporaty nie występują — głównie na zboczach dolin). Pod jednostką Zgłobic, poniżej poziomu ewaporatowego, występują utwory o dość znacznej miąższości maksymalnie rzędu 500 m, wypełniające obniżenie erozyjne. Otwarta kwestią pozostaje wiek tych utworów (por. niżej).

### Interpretacja strukturalna danych upadomierza

W bezpośrednim otoczeniu zanalizowanych profili sejsmicznych znajduje się pięć otworów, w których wykonano pomiary upadomierzem: Łętowice-1, Łętowice-18, Dwojanów-1, Łopoń-3 i Maszkienice-8. Pomiary te pochodzą z różnych okresów czasu, od lat 1960-tych do 90-tych, i wykonane zostały różnego typu sprzętem —

upadomierzem 3-ramiennym *UTRP* lub *UTB* (Łętowice-1, Dwojanów-1, Łopoń-3, Maszkienice-8), względnie nowoczesną 6-ramienną sondą *SED* Halliburtona (Łętowice-18, Dwojanów-1 — dolna część profilu). Związana jest z tym zróżnicowana jakość uzyskanych danych pomiarowych. Do celów analizy geologiczno-strukturalnej udało się pomyślnie wykorzystać przetworzone cyfrowo przez Geofizykę Kraków dane pomiarowe z otworów Dwojanów-1, Łętowice-1 i Łętowice-18. Uzyskane rezultaty analizy danych upadomierza pozwoliły na pozytywną weryfikację danych sejsmiki refleksyjnej, w pełni potwierdzając widoczne w zapisie sejsmicznym orientacje warstw miocenu i jego podłoża, które posłużyły do interpretacji budowy strefy brzeżnej zapadliska przedkarpackiego i strefy frontalnej orogenu karpackiego. W otworze Dwojanów-1 północne upady utworów miocenu w górnej części profilu (do głębokości ok. 1000 m) odpowiadają frontalnej monoklinie rozwiniętej w obrębie nadkładu strefy trójkątnej (por. Krzywiec & Aleksandrowski, 2004) oraz najwyższej partii wnętrza strefy trójkątnej (ryc. 4). Zaburzenia tektoniczne odcinka pomiędzy ok. 1000 i 1250 m zlokalizowane są w obrębie prawdopodobnych wygięć czołowych łusek budujących centrum strefy trójkątnej, zaś połogie upady warstw poniżej ok. 1300 m odzwierciedlają spokojne zaleganie autochtonicznego miocenu podanhydrytowego i jego podłoża. Podobnie w profilu upadomierza z otworu Łętowice-18 obserwuje się od góry do głębokości ok. 1050 m stałe północne upady warstw, świadczące o udziale przewierconych tym otworem utworów w nadkładzie strefy trójkątnej (ryc. 4). Następnie, do ok. 1200 m, otwór przebija strefę tektonicznie zaburzoną, zlokalizowaną w północnym „klinowym zamknięciu“ wnętrza strefy trójkątnej, zaś poziomo zalegające warstwy poniżej 1400 m należą do niezaburzonej podanhydrytowej części sukcesji miocenijskiej i do podłoża mezozoicznego. Stałe, północne upady warstw stwierdzone w profilu upadomierza z otworu Łętowice-1, sięgające od góry do głębokości ok. 1200 m, odzwierciedlają położenie przewierconych warstw miocenu w wychylnym ku N nadkładzie północnego skrzydła strefy trójkątnej.

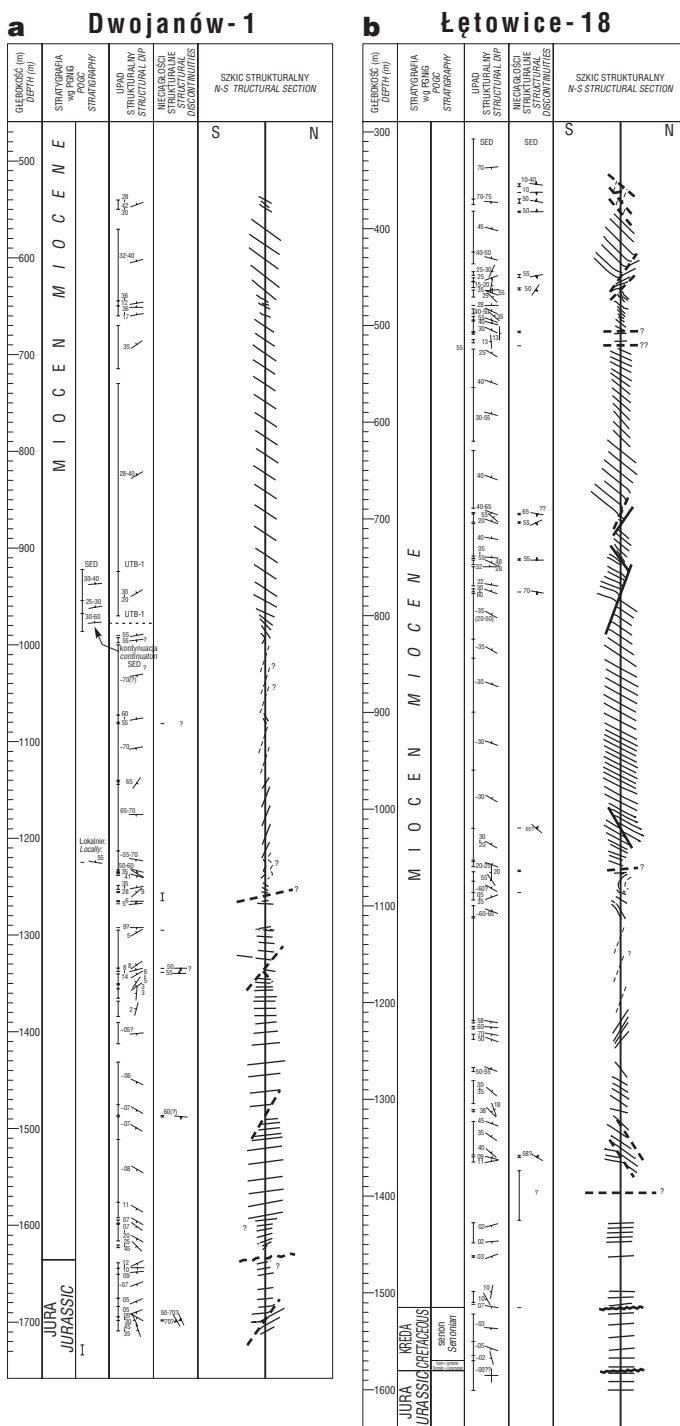
### Budowa i miocenijska ewolucja tektoniczna jednostki Zgłobic i jej podłoża w rejonie Brzeska-Wojnicza — dyskusja

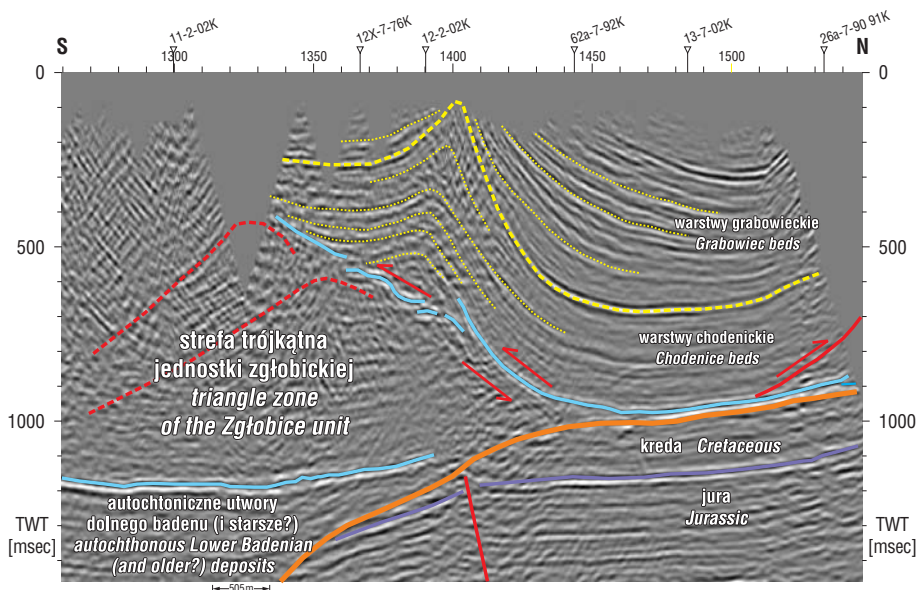
Opisany w niniejszej publikacji model budowy geologicznej jednostki Zgłobic w rejonie Brzeska-Wojnicza zakłada występowanie w obrębie tzw.



**Ryc. 4.** Interpretacja strukturalna profilu otworów Dwojanów-1 (a) oraz Łętowice-18 (b) na podstawie danych upadomierza. SED — dane upadomierza 6-ramiennego; UTB1 — dane upadomierza 3-ramiennego

**Fig. 4.** Structural interpretation of wells Dwojanów-1 (a) and Łętowice-18 (b) based on dipmeter data. SED—6-arm dipmeter data; UTB1 — 3-arm dipmeter





**Ryc. 5.** Zinterpretowany czasowy profil 7-02-02K (fragment) pokazujący występowanie fałdu rozwiniętego ponad głównym, frontalnym nasunięciem wstecznym związanym ze strefą trójkątną jednostki zgłobickiej. Niebieski horyzont — ewaporaty. W obrębie warstw grabowieckich zaznaczono redukcję miąższości w kierunku fałdu (cienkie przerywane żółte linie), wskazującą na ich synkinematyczny charakter. Lokalizacja — patrz ryc. 2

**Fig. 5.** Interpreted time seismic section 7-02-02K (fragment) showing fold developed above the frontal roof backthrust of the Zgłobice triangle zone. Blue horizon—evaporites. The thickness reduction occurring in Grabowiec beds towards this fold (thin dashed yellow lines) suggests their synkinematic deposition. Location — see ryc. 2

elementu Wojnicz (sensu Kirchner & Połtowicz, 1974) strefy trójkątnej wypełnionej dupleksem o pasywnym stropie. Wybrane zagadnienia związane z tzw. tektoniką klinową oraz rozwojem stref trójkątnych i związanych z nimi dupleksów omówione są w pracy Krzywca i Aleksandrowskiego (2004). Powstanie mioceńskiej strefy trójkątnej było w znacznym stopniu kontrolowane przez występujące w tym obszarze ewaporaty. Elementy łuskowe dupleksu są najprawdopodobniej zakorzenione w horyzoncie ewaporatowym bądź też bezpośrednio ponad nim; również główne nasunięcie wsteczne, wyznaczające północną granicę strefy trójkątnej, związane jest z tym poziomem. Nukleacja antyklinalnie wygiętych łusek w obrębie dupleksu strefy trójkątnej (na ogół — w sekwencji młodniejszej ku tyłowi pryzmy orogenicznej) następuje w sytuacji, kiedy dochodzi do lokalnego zablokowania ruchów nasuwczych po bazalnej powierzchni odklucia (Morley, 1986; por. Krzywiec i Aleksandrowski, 2004 i ich ryc. 5). W przypadku obszaru Brzesko-Wojnicz łatwo wskazać potencjalną przyczynę takiego zjawiska: wyhamowanie ruchów nasuwczych i lokalne skoncentrowanie naprężeń kompresyjnych spowodowane mogło być morfologią podłoża, tj. występowaniem jego lokalnych deniwelacji związanych z dolinami opisanymi powyżej. Dodatkowo, istotne znaczenie dla rozwoju powierzchni odklucia mogły mieć zmiany facjalne w obrębie utworów ewaporatowych. Powierzchnie odspojeń powstawać mogły w miejscach, w których sole zazębiały się z anhydrytami, gdyż utwory te charakteryzują się odmiennymi właściwościami mechanicznymi.

Przyjęcie modelu strefy trójkątnej z dupleksem o pasywnym stropie dla opisywanego fragmentu jednostki Zgłobice ma istotne znaczenie dla datowania ostatnich faz mioceńskich ruchów nasuwczych na tym obszarze. W trakcie wzrostu takiego dupleksu poprzez rozwój i nasuwanie na siebie kolejnych jego elementów (antyklinalnie wygiętych łusek), dochodzi do rozwoju frontalnego nasunięcia wstecznego i znacznego uniesienia pokrywy osadowej (często wchodzącej już w skład wypełnienia osadowego zapadliśka przedgórskiego; por. Krzywiec & Aleksandrowski, 2004). W przypadku wykorzystywania danych sejsmicznych o niskiej jakości i niedostatku odsłoneń dokumentujących rzeczywiste relacje pomiędzy utworami dupleksu i jego nadkładu na ogół zakłada się, że osady nadkładu przykrywają niezgodnie — z kątową niezgodnością sedymentacyjną — starsze, zdeformowane

utwory, co oznacza, że ostatnie ruchy nasuwcze miały miejsce przed sedymentacją utworów nadkładu. W przypadku modelu strefy trójkątnej mamy do czynienia z odmiennym scenariuszem — ruchy nasuwcze miały miejsce (z ew. przerwami) w trakcie i/lub po sedymentacji utworów nadkładu, spoczywających ponad dupleksem z niezgodnością tektoniczną. Jak widać, odmienne warianty interpretacji tektonicznej implikują w istotny sposób odmienne scenariusze ewolucji partii brzeżnej orogenu, co z kolei może mieć duże znaczenie np. dla datowania migracji węglowodorów w kontekście określenia czasu powstawania pułapek strukturalnych. W przypadku obszaru Brzesko-Wojnicz ostatnie fazy ruchów nasuwczych związanych z propagacją karpackiej pryzmy orogenicznej ku północy miałyby w związku z tym miejsce najwcześniej w trakcie sedymentacji warstw grabowieckich bądź też jeszcze później. Przyjmując, że kompleks nadległych utworów klastycznych (warstwy chodenickie i grabowieckie) to utwory najwyższego badenu i sarmatu (por. Andreyeva-Grigorovich i in., 2003), można stwierdzić, że ostatnie ruchy nasuwcze w obrębie tej części frontu orogenu karpackiego nastąpiły w sarmacie, i to raczej w jego późniejszej części.

Warto podkreślić, że pewne cechy budowy strukturalnej frontu orogenu karpackiego związane z tektoniką klinową pokazywane były na przekrojach geologicznych już wiele lat temu. W publikacji Tołwińskiego (1954 — ryc. 3 i 11 oraz tablica III) znajdują się przekroje geologiczne przez „Salidy” rejonu Wieliczki i Bochni klarownie obrazujące tak klinowy typ frontu orogenu, jak i uniesienie

utworów miocenijskich ponad frontem nasuwczym, czyli strukturę frontalnej monokliny. Porównanie tych przekrojów geologicznych z modelami tektoniki klinowej (Krzywiec & Aleksandrowski, 2004) oraz ze zinterpretowanymi profilami sejsmicznymi z rejonu Brzeska–Wojnicz (ryc. 3) pokazuje, że również na zachód od strefy Brzesko–Wojnicz model tektoniki klinowej jest najprawdopodobniej do zastosowania. Być może z analogiczną sytuacją mamy do czynienia również w rejonie Rzeszowa, gdzie w tzw. zatoce rzeszowskiej utwory miocenijskie występują ponad fliszem karpackim. Nie wykluczając *a priori* możliwości miocenijskiej transgresji na sfałdowany flisz warto jednak — biorąc pod uwagę wyniki interpretacji danych sejsmicznych przedstawione powyżej — rozważyć możliwość występowania tych utworów przynajmniej częściowo z niezgodnością tektoniczną a nie sedymentacyjną. Teza taka musiała by zostać oczywiście zweryfikowana interpretacją danych sejsmicznych wysokiej jakości oraz pracami terenowymi.

Model strefy trójkątnej zawiera element bardzo istotny w kontekście interpretacji danych z rejonu Brzesko–Wojnicz: w stropowej części nadkładu takiej strefy może dojść do sfałdowania utworów ponad nasunięciem wstecznym oraz do rozdzielenia głównego nasunięcia wstecznego na kilka elementów (Jones, 1996; por. Krzywiec & Aleksandrowski, 2004). Pomiędzy powstałymi w ten sposób wstecznie nasuniętymi łuskami występują pozostałości utworów osadowych nadkładu, które przy wrywkowych danych terenowych bądź/i danych sejsmicznych niskiej jakości, mogą być wzięte za utwory po- bądź późnoorogiczne. Jak pokazano wcześniej, w takiej właśnie pozycji, na niewielkich głębokościach występują utwory ewaporatowe (stanowiące preferowany poziom odkłucia, również dla nasunięcia wstecznego i związanych z nim struktur pochodnych), a ponad nimi znajdują się utwory osadowe o generalnie słabiej zaburzonej strukturze. Taką właśnie interpretację można zaproponować dla najpłytszych części strefy trójkątnej jednostki Zgłobiec i jej nadkładu. Na obu zinterpretowanych profilach obszar płytkiego występowania ewaporatów jest dość słabo widoczny i dlatego jego budowę omówiono na przykładzie profilu 7–02–02K, również pochodzącego ze zrealizowanego przez Geofizykę Kraków zdjęcia sejsmicznego „Brzesko–Wojnicz”. We wschodniej części strefy trójkątnej jednostki Zgłobiec zobrazonej na tym profilu, charakter nasunięcia wstecznego i związanych z nim deformacji pochodnych jest nieco mniej skomplikowany, a same deformacje położone są nieco głębiej, w związku z czym dane sejsmiczne dużo precyzyjniej pokazują ich budowę (ryc. 5). Mamy tu do czynienia z fałdem, który powstał ponad głównym nasunięciem wstecznym. Ku zachodowi struktura staje się bardziej skomplikowana, najprawdopodobniej w związku z powstaniem kolejnego pochodnego nasunięcia w obrębie strefy jądrowej fałdu.

W obrębie górnej części warstw grabowieckich obserwuje się wyraźną redukcję miąższości w kierunku opisanego fałdu. Oznacza to, że osady te były deponowane w trakcie wzrostu fałdu, tj. że są to utwory synkinematyczne (por. Hardy i in., 1996; Krzywiec & Aleksandrowski, 2004). W otworze Wojnicz–6 w obrębie tej płytko

położonej strefy tektonicznej zarejestrowano horyzont gazowy (por. Borowska & Fuks-Kopiejko, 2002). W związku z tym, oraz biorąc pod uwagę skomplikowaną budowę wewnętrzną i płytkie występowanie opisanego strefy deformacji miocenu, celowa wydaje się realizacja specjalnie zaprojektowanych płytkich badań sejsmicznych o podwyższonej rozdzielczości, które miałyby na celu precyzyjne zobrazowanie tej strefy. Płytkie, wysokorozdzielcze badania sejsmiczne wykorzystano ostatnio np. do szczegółowego rozpoznania bardzo skomplikowanej strefy kompresyjnych deformacji glacitektonicznych z rejonu Orłowa na Mazurach (Krzywiec i in., w druku). Uzyskano wyniki o bardzo wysokiej jakości, które przekonują, iż podobne badania sejsmiczne w obrębie jednostki Zgłobiec mogłyby również dostarczyć istotnych danych, niezbędnych dla konstrukcji precyzyjnego modelu budowy i ewolucji miocenijskiej tego fragmentu orogenu oraz dla zrozumienia jego potencjału złożowego.

Ważnym problemem, rozważanym w trakcie interpretacji danych sejsmicznych z rejonu Brzeska–Wojnicz, była kwestia wykształcenia i wieku osadów wypełniających obserwowane deniwelacje stropu podłoża premiocenijskiego. Jak już wyżej stwierdzono, obniżenie występujące w stropie utworów podłoża przedmiocenijskiego jest bezpośrednią kontynuacją systemu dolin erozyjnych znanych z przedpola Karpat (ryc. 1). W obszarze Brzeska–Wojnicz, ponad erozyjną doliną będącą bezpośrednim przedłużeniem doliny Dąbrówki, a zarazem poniżej jednostki Zgłobiec występuje mocny, ciągły horyzont sejsmiczny który skorelowano z autochtonicznymi ewaporatami. Ponieważ ponad wspomnianą doliną a poniżej jednostki Zgłobiec, pomiędzy ewaporatami a stropem podłoża miocenu, występują utwory o dość znacznej miąższości (ponad 500 m w części osiowej doliny), można postawić hipotezę, iż poniżej ewaporatów, oprócz utworów dolnego badenu formacji skawińskiej, niewykluczone jest też występowanie utworów starszych — dolnomiocenijskich bądź paleogeńskich. Fakt udokumentowania paleogeńskich utworów lądowych w osiowej części podobnej formy erozyjnej w rejonie Rzeszowa (Moryc, 1995) sugeruje, iż w bardziej południowych częściach paleodolin mogło się zachować ich paleogeńskie wypełnienie. Byłaby to sytuacja analogiczna do wciętych dolin znanych z Moraw (Picha, 1979, 1996). W swoich osiowych partiach wypełnione one są przytransportowanymi z północy osadami paleogeńskimi, przykrytymi następnie przez osady neogeńskie zapadliska przedkarpackiego pochodzące z erodowanych Karpat. Warty podkreślenia faktem jest występowanie w obrębie tego typu form kompletnego systemu naftowego — paleogeńskich skał macierzystych, skał zbiornikowych (wypełnienie osadowe dolin oraz porowate skały otaczające) oraz regionalnego uszczelnienia w postaci spagowego nasunięcia karpackiego (Picha, 1996). W przypadku paleodolin występujących w podłożu polskich Karpat, dodatkowym korzystnym czynnikiem może być pokrywa badeńskich ewaporatów, zapewniająca doskonałe uszczelnienie dla potencjalnych akumulacji węglowodorów.

Na podstawie wyników interpretacji danych sejsmicznych i wiertniczych z rejonu Brzesko–Wojnicz, zapropo-

nowano trzy zasadnicze grupy pułapek dla węglowodorów występujących w obrębie strefy trójkątnej miocenijskiej jednostki Zgłobiec i jej bezpośredniego podłoża:

1. Pułapki strukturalne związane z antyklinalnie wygiętymi elementami łuskowymi, budującymi dupleks wewnątrz strefy trójkątnej. W związku z możliwością występowania w obrębie takich elementów gruboklastycznych utworów syntektonicznych, możliwe jest tu występowanie pułapek strukturalno-stratygraficznych. Regionalnym uszczelnieniem dla tego typu pułapek mogą być ewaporaty występujące wzdłuż frontального nasunięcia wstecznego ograniczającego od góry strefę trójkątną.

2. Płytko występujące pułapki strukturalne związane z elementami antyklinalnymi powstałymi w związku z nasunięciem wstecznym ponad strefą trójkątną. W związku z możliwością występowania w obrębie takich elementów gruboklastycznych utworów synkinematycznych, możliwe jest występowanie w tym obszarze różnorakich pułapek strukturalno-stratygraficznych. Perspektywiczność tego poziomu strukturalnego potwierdzone jest przez wyniki otworowe (np. otwór Wojnicz-3).

3. Pułapki stratygraficzne związane z wyklinowaniami podewaporatowych (dolnobadeńskich bądź starszych) osadów gruboklastycznych potencjalnie występujących w strefach krawędziowych wypełnienia osadowego dolin erozyjnych. Efektywnym regionalnym uszczelnieniem dla tych pułapek mogą być zachowane pod jednostką Zgłobiec ewaporaty oraz regionalne nasunięcie spągowe orogenu karpackiego (por. Picha, 1996).

### Podsumowanie

Zaprezentowana w niniejszej pracy interpretacja budowy i ewolucji geologicznej miocenijskiej jednostki Zgłobiec od wieloma względami różni się od proponowanych do tej pory modeli tektonicznych charakteryzujących brzeg Karpat w rejonie Brzeska–Wojnicza. Wiele wątków zaprezentowanej interpretacji należy traktować jako wstępne. Dla pełnego zrozumienia mechanizmu powstawania opisanych deformacji kompresyjnych w obrębie utworów miocenijskich konieczne jest ich ilościowe zbilansowanie. Do takiego bilansowania niezbędne będą szczegółowe badania stratygraficzne, precyzyjnie datujące wybrane, kluczowe elementy tektoniczne opisanych struktur i oparte na możliwie komplementarnym wykorzystaniu różnego rodzaju niezależnych narzędzi stratygraficznych (nanoplankton, otwornice, dinocysty, palinologia, datowania radiometryczne, etc.) Celowe byłoby również wykonanie płytkich, wysokorozdzielczych badań sejsmicznych skoncentrowanych na płytkich (pierwsze kilkaset metrów) elementach tektonicznych jednostki Zgłobiec. Tektonikę głębszego podłoża w kontekście jego wpływu na miocenijską ewolucję strefy frontalnej Karpat, można by rozpoznać poprzez zintegrowanie interpretacji danych sejsmicznych z interpretacją i modelowaniami danych grawimetrycznych. Dla jeszcze bardziej precyzyjnego odwzorowania skomplikowanej miocenijskiej strefy trójkątnej wykorzystane powinny być zaawansowane procedury przetwarzania danych sejsmicznych (np. migracja głębokościowa przed składaniem) oraz strukturalne modelowania sejsmiczne.

Na podstawie uzyskanych wyników można też stwierdzić, że budowa frontu orogenu karpackiego w Polsce nadal daleka jest od szczegółowego rozpoznania. Dokonany w ostatnich latach postęp w technikach badań geofizycznych (głównie sejsmicznych) oraz w metodologii jakościowych i ilościowych interpretacji geologicznych pozwala mieć nadzieję, że integrując geofizyczne i geologiczne dane archiwalne z nowymi danymi uzyskanymi w trakcie poszukiwań naftowych, można będzie osiągnąć znaczny postęp w rozpoznaniu tej skomplikowanej strefy. Lepsze rozpoznanie wsparte ilościowymi (zbilansowanymi) modelami jej ewolucji powinno z kolei bezpośrednio przełożyć się na znacząco lepsze wyniki poszukiwań naftowych.

Artykuł oparty jest na wynikach pierwszego (pilotażowego) etapu badań zrealizowanych w Państwowym Instytucie Geologicznym na zlecenie PGNiG S.A., którego Dyrekcji autorzy dziękują za zgodę na publikację niniejszego tekstu. Swoje podziękowania kierujemy również do pracowników Francuskiego Instytutu Naftowego (prof. F. Roure, dr S. Rodriguez, dr A. Ehinger, dr A. Jardin) za dyskusje dotyczące przetwarzania i interpretacji danych sejsmicznych.

### Literatura

- ANDREYEVA-GRIGOROVICH A.S., OSZCZYPKO N., SAVITSKA N.A., ŚLĄCZKA A. & TROFIMOVICH N.A. 2003 — Correlation of Late Badenian salts of the Wieliczka, Bochnia and Kalush areas (Polish and Ukrainian Carpathian Foredeep). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 73: 67–89.
- BOROWSKA L. & FUKS-KOPIEJKO A. (red.) 2002 — Opracowanie wyników badań sejsmicznych temat: Brzesko–Wojnicz. PGNiG S.A. — Oddział Górnictwo Naftowe, niepublikowane.
- FAGIN S. 1998 — Model-Based Depth Imaging. *SEG Course Notes Series*, 10: 1–173.
- FRIEDBERG W. 1929 — Studya nad formacją miocenijską Polski. *Kosmos*, 53: 313–325.
- GARECKA M. & OLSZEWSKA B. 1997 — O stratygrafii jednostki stebnickiej w Polsce. *Prz. Geol.*, 45: 793–798.
- GARLICKI A. 1960 — Złoże soli kamiennej Łęzkowice–Siedlec w zatoce gdowskiej. *Prz. Geol.*, 8: 43–45.
- GARLICKI A. 1970 — Złoże soli kamiennej Moszczenica–Łapczyca na zachód od Bochni. *Kwart. Geol.*, 14: 350–360.
- GARLICKI A. 1971 — Złoże soli kamiennej w Łęzkowicach nad Rabą. *Kwart. Geol.*, 15: 930–946.
- HARDY S., POBLET J., MCCLAY K. & WALTHAM D. 1996 — Mathematical modelling of growth strata associated with fault-related structures. [W:] Buchanan P.G., Nieuwland D.A. (ed.) — *Modern Developments in Structural Interpretation, Validation and Modelling*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 99: 265–282.
- JAWOR E. 1983 — Utwory miocenu między Krakowem a Dębicą. *Prz. Geol.*, 31: 635–641.
- JONES P. 1996 — Triangle zone geometry, terminology and kinematics. *Bull. Canad. Petrol. Geol.*, 44: 139–152.
- JONES P. 1997 — The Carpathians of the Southern Poland: thrust tectonic or wedge tectonics? AAPG Int. Conf. And Exhibition. September 7–10, 1997 — Vienna. Abstracts: A27–A28.
- KARNKOWSKI P. 1978 — Paleodelta w miocenie Przedgórze Karpat. *Prz. Geol.*, 26: 625–629.
- KARNKOWSKI P. 1986 — O wieku ruchów nasuwczych Karpat fliuszowych. *Nafta*, 11: 293–295.
- KARNKOWSKI P. 1993 — Złoże gazu ziemnego i ropy naftowej w Polsce. t. II, Karpaty i zapadlisko przedkarpackie. *Towarzystwo Geosynoptyków GEOS (AGH)*: 1–256.
- KARNKOWSKI P. 1994 — Miocene deposits of the Carpathian Foredeep (according to results of oil and gas prospecting). *Geol. Quart.*, 38: 377–394.
- KARNKOWSKI P. 2001 — Geologia i ropogazoność Przedgórze Karpat. *Pr. Inst. Górn. Naft. i Gaz.*, 109: 1–79.



- KARPAŁA A. & ŁAPINKIEWICZ A. 1962 — Kilka uwag o interpretacji materiałów sejsmicznych w części środkowej i zachodniej przedgórze Karpat. *Geofizyka Poszukiwawcza i Wiertnicza*, 68–70: 3–16.
- KIRCHNER Z. & MORYC W. 1966 — Zarys budowy geologicznej okolic Tarnowa–Ładnej. *Geofizyka i Geologia Naftowa*, 115–116: 155–166.
- KIRCHNER Z. & POŁTOWICZ S. 1974 — Budowa geologiczna obszaru między Brzeskiem a Wojniczem. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 44: 293–320.
- KOSZARSKI L. 1985 — General outline of geology of central part of Carpathian foredeep and some essential data on the nappes of Polish Outer Carpathians. [W:] Koszarski L. (ed.) — *Geology of the Middle Carpathians and the Carpathian Foredeep. Guide to excursion 3 of the Carpatho–Balkan Geological Association XIII Congress*: 16–39.
- KOTLARCZYK J. 1985 — Evolution of the Carpathian tectogene in the Miocene. [W:] Kotlarczyk J. (ed.) — *Geotraverse Kraków–Baranów–Rzeszów–Przemyśl–Ustrzyki Dolne–Komańcza–Dukla. Guide to excursion 4 of the Carpatho–Balkan Geological Association XIII Congress*: 21–32.
- KOZIKOWSKI H. & MORAWSKA K. 1957 — Miocen ze Zgłobic koło Tarnowa w świetle badań geologicznych i mikropaleontologicznych. *Acta Geol. Pol.*, 7: 71–103.
- KRZYWIEC P. 1997 — Large-scale tectono-sedimentary Middle Miocene history of the central and eastern Polish Carpathian Foredeep Basin results of seismic data interpretation. *Prz. Geol.*, 45: 1039–1053.
- KRZYWIEC P. 1998 — Badańska ewolucja centralnej części zapadliska przedkarpackiego na podstawie danych sejsmicznych i jej geodynamiczne uwarunkowania. Niepublikowana praca doktorska, AGH, Kraków.
- KRZYWIEC P. 2001 — Contrasting tectonic and sedimentary history of the central and eastern parts of the Polish Carpathian Foredeep Basin — results of seismic data interpretation. [W:] S.Cloetingh, M. Nemcok, F. Neubauer, F. Horvath & P. Seifert, (ed.) — *The Hydrocarbon potential of the Carpathian–Pannonian Region. Marine & Petroleum Geology*, 18: 13–38.
- KRZYWIEC P., ALEKSANDROWSKI P. 2004 — Tektonika klinowa, strefy trójkątne. *Prz. Geol.*, 52: 985–989.
- KRZYWIEC P., MORAWSKI W., ZIENTARA P., JÓZWIĄK W. (w druku) — Badania metodą płytkiej sejsmiki refleksyjnej wysokiej rozdzielczości w rejonie Orłowa (południowo zachodnie Mazury). *Pr. Państw. Inst. Geol.*
- KRZYWIEC P., ŁUCZKOWSKA-SCHILLER E., SADOWSKA A. & ŚLĘZAK J. 1995 — Depositional model of the central part of the Carpathian Foredeep basin, S Poland — results of integrated bio- and seismostratigraphic study. *Spec. Publ. Geol. Soc. Greece*, 4: 1113–1118.
- KRZYWIEC P. (red.) 2003 — Analiza deformacji kompresyjnych (miocen wraz z podłożem) centralnej części zapadliska przedkarpackiego (zatoka gdowska–Dębica) pod kątem detekcji pułapek strukturalno-stratygraficznych — I etap. *Archiwum PGNiG S.A.* (niepublikowany raport).
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1972 — Budowa Geologiczna Polski, t. IV, Tektonika, cz. 3, Karpaty. *Wyd. Geol.*
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1977 — The Tectonics of the Carpathians. [W:] Pożaryski W. (ed.) — *Geology of Poland, t. IV, Tectonics*: 476–620.
- LINES L.R., GRAY S.H. & LAWTON D.C. (ed.) 2000 — *Depth Imaging of Foothills Seismic Data. Canadian Society of Exploration Geophysicists Sp. Publ.*
- MORLEY C.K. 1986 — A classification of thrust fronts. *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 70: 12–25.
- MORYC W. 1995 — Łądowe utwory paleogenu na obszarze przedgórze Karpat. *Nafta–Gaz*, 51: 181–195.
- NEY R. 1968 — Rola rygla krakowskiego w geologii zapadliska przedkarpackiego i rozmieszczeniu złóż ropy i gazu. *Pr. Geol. Kom. Nauk Geol., PAN, Oddz. w Krakowie*, 45: 1–86.
- NEY R., BURZEWSKI W., BACHLEDA T., GÓRECKI W., JAKÓBCZAK K. & SŁUPCZYŃSKI K. 1974 — Zarys paleogeografii i rozwoju litologiczno-facjalnego utworów miocenu zapadliska przedkarpackiego. *Pr. Geol. Kom. Nauk Geol., PAN, Oddz. Krakowie*, 82: 1–65.
- NIEDŹWIEDZKI J. 1883 — Stosunki geologiczne formacji solonośnej Wieliczki i Bochni. odbitka z „Kosmosu”: 1–81.
- OLEWICZ Z.R. 1973a — Geologia przedkarpackiego obszaru między Wieliczką a Bochnią. *Pr. Inst. Naft.*, 1–51.
- OLEWICZ Z.R. 1973b — Tektonika jednostki bocheńskiej i brzegu jednostki śląskiej między Rabą a Uswicą. *Acta Geol. Pol.*, 23: 701–761.
- OSZCZYPKO N. 1996 — Miocenna dynamika polskiej części zapadliska przedkarpackiego. *Prz. Geol.*, 44: 1007–1018.
- OSZCZYPKO N. 1997 — The Early – Middle Miocene Carpathian peripheral foreland basin (Western Carpathians, Poland). *Prz. Geol.*, 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). *Geol. Carpath.*, 49: 415–431.
- OSZCZYPKO N. & ŚLĄCZKA A. 1985 — An attempt to palinspastic reconstruction of Neogene basins in the Carpathian foredeep. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 55: 55–75.
- OSZCZYPKO N. & ŚLĄCZKA A. 1989 — The evolution of the Miocene basin in the Polish Outer Carpathians and their foreland. *Geol. Carpath.*, 40: 23–36.
- OSZCZYPKO N. & TOMAŚ A. 1976 — Przedtorfońska rzeźba Przedgórze Karpat między Krakowem a Dębicą oraz jej wpływ na sedymentację miocenu. *Roczn. Pol. Tow. Geol.*, 46: 503–521.
- OSZCZYPKO N. & TOMAŚ A. 1985 — Tectonic evolution of marginal part of the Polish Flysch Carpathians in the Middle Miocene. *Kwart. Geol.*, 29: 109–128.
- PICHA F. 1979 — Ancient Submarine Canyons of Tethyan Continental Margins, Czechoslovakia. *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 63: 67–86.
- PICHA F. 1996 — Exploring for hydrocarbons under thrust belts — a challenging new frontier in the Carpathians and elsewhere. *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 80: 1547–1564.
- PIWOCKI M., OLSZEWSKA B. & CZAPOWSKI G. 1996 — Korelacja litostratygraficzna neogenu Polski z innymi obszarami. [W:] Malinowska L. & Piwocki M. (ed.) — *Budowa Geologiczna Polski, Atlas skamieniałości przewodnich i charakterystycznych, t. II, cz. 3a, Kenozoik, Trzeciorzęd, Neogen*: 517–529. *Polska Agencja Ekologiczna.*
- POBORSKI J. & SKOCZYŁAS-CISZEWSKA K. 1963 — O miocenie w strefie nasunięcia karpacciego w okolicy Wieliczki i Bochni. *Roczn. Pol. Tow. Geol.*, 33: 339–348.
- POŁTOWICZ S. 1964 — Przedtorfońska dolina rzeczna między Rabą a Dunajcem. *Geofizyka i Geologia Naftowa*, 90–91: 176–181.
- POŁTOWICZ S. 1977 — Uwagi o rozwoju tektonicznym złóż soli kamiennej w Wieliczce i Baryczy. *Roczn. Pol. Tow. Geol.*, 47: 279–299.
- POŁTOWICZ S. 1991a — Miocen strefy karpacciej między Wieliczką a Dębicą. *Geologia, Kwart. AGH*, 17: 19–57.
- POŁTOWICZ S. 1991b — Miocen strefy karpacciej między Dębicą a Przemyślem. *Geologia, Kwart. AGH*, 17: 5–27.
- POŁTOWICZ S. 1994 — Znaczenie badańskiej formacji solonośnej w tektogenezie polskich Karpat brzeżnych. *Geologia, Kwart. AGH*, 20: 59–75.
- POŁTOWICZ S. 1997a — Pozornie przekraczające zaleganie badenu na sekcjach sejsmicznych. *Nafta–Gaz*, 53: 117–126.
- POŁTOWICZ S. 1997b — Grawitacyjna tektonika jednostki zgłobiczkiej między Brzeskiem a Wojniczem w świetle wyników badań sejsmicznych. *Geologia, Kwart. AGH*, 23: 307–329.
- SZYBIST A. & TOBOŁA T. 1995 — Budowa geologiczna złoża soli kamiennej Siedlec – Moszczenica w świetle nowych danych. *Prz. Geol.*, 43: 682–686.
- TOLIŃSKI K. 1956 — Główne elementy tektoniczne Karpat z uwzględnieniem górotworu Salidów. *Acta Geol. Pol.*, 4: 75–226.
- UNRUG R. 1984 — Geodynamic evolution of the Carpathians. *Roczn. Pol. Tow. Geologicznego*, 52: 39–66.
- WDOWIARZ S. 1976 — O stosunku Karpat do zapadliska przedkarpackiego w Polsce. *Prz. Geol.*, 24: 350–357.