

**WGŁĘBNA BUDOWA KARPAT
W STREFIE SIGMOIDY PRZEMYSKIEJ:
INTERPRETACJA PROFILI SEJSMICZNYCH
I OCENA PROGNOZ NAFTOWYCH**

**Subsurface structure of the Carpathians
in the zone of the Przemyśl Sigmoid: interpretation of seismic sections
and assessment of hydrocarbon prospects**

Jan KUŚMIEREK¹ & Urszula BARAN²

¹*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Surowców Energetycznych; al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: kusm@geolog.geol.agh.edu.pl*

²*Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo S.A., Departament Poszukiwania Złóż;
ul. Kasprzaka 2, 01-224 Warszawa; e-mail: urszula.baran@neostrada.pl*

Tręść: Autorzy eksponują kilka nowych aspektów interpretacji wgłębną tektoniki pokryw fliszowo-molasowych i ich autochtonicznego podłoża w powiązaniu z oceną perspektywiczności odkrycia złóż węglowodorów w strefie sigmoidy przemyskiej (SP). Oparte są one na wynikach wierceń i geologicznych interpretacji profili sejsmicznych, poddanych reprocessingowi, którego metoda przedstawiona jest w odrębnej publikacji. Wyniki interpretacji skłaniają do poglądu, że północny zasięg sedymentacji osadów fliszowych był ukośny w stosunku do nasunięć pokryw jednostek grupy brzeżnej. W tym kontekście uznać można, że przed sedymentacją molas budujących płaszczowinę stebnicką utwory fliszowe wypełniały podłużne przegłębienia skłonu platformy, a pozostałe po erozji płyty zostały odkłute i nasunięte łącznie z osadami miocenu. Przyjęcie tego rozwiązania koresponduje z poglądami o wyklinowywaniu fałdów wgłębnych jednostki borysławsko-pokuckiej wzdłuż SP. W świetle tych wyników i znikomego stopnia przeobrażenia termicznego materii organicznej, perspektywy odkrycia złóż węglowodorów w NE części Karpat polskich nie są optymistyczne. Potencjalne pułapki strukturalne zachowały się jedynie w autochtonicznej serii miocenijskiej, pod uszczelniającym nakładem pokryw allochtonicznych. Odkrycie nowych złóż gazowych w ich obrębie uzależnione jest przede wszystkim od korzystnych cech zbiornikowych, szczególnie w strefach wyklinowywania się horyzontów piaszczystych autochtonu na wyniesieniach podłoża lub ich ekranowania powierzchniami nasunięć.

Słowa kluczowe: Karpaty Zewnętrzne, struktury wgłębne, pokrywy molasowo-fliszowe, tektonika podłoża, identyfikacja pułapek złożowych

Abstract: The authors expose some new aspects of interpretation of the subsurface tectonics of flysch and molasse covers and their autochthonous basement in connection with assessment of prospects for hydrocarbon discoveries in the zone of the Przemyśl Sigmoid (PS). They are based on drilling results and geological interpretation of seismic sections which were reprocessed with application of a methodology presented in another publication. Interpretation results incline towards an opinion that the northern depositional extent of flysch sediments was oblique to overthrusts of the Marginal Group units. In this context, it can be accepted that before the deposition of the molasses that build up the Stebnik Nappe the flysch deposits had filled longitudinal depressions of the platform slope and the post-erosional patches had been detached and thrust together with Miocene sediments. Such a solution corresponds with views on pinching-out of deep-seated folds of the Boryslav-Pokutya Unit along PS. In the light of these results and insignificant thermal transformation of organic matter, prospects for hydrocarbon discoveries in the NE Polish Carpathians are not optimistic. Potential structural traps were preserved only in the autochthonous Miocene series overlain by the sealing overburden of the allochthonous covers. Discovery of new gas fields in the traps will depend mostly on favourable reservoir properties, particularly in zones of pinching-out of sandy horizons of the autochthonous series against the basement highs or in zones of their screening by thrust planes.

Key words: Outer Carpathians, subsurface structures, flysch and molasse covers, basement tectonics, identification of reservoir traps

WSTĘP

Polsko-ukraińska współpraca w zakresie realizacji projektu badawczego DWM/1818-1/2N 2005 obejmuje szerokie spektrum problemów zmierzających do wypracowania nowych koncepcji poszukiwawczych, poprzez wielopoziomą integrację dotychczasowego stanu rozpoznania geologiczno-naftowego transgranicznej strefy Karpat Zewnętrznych z wynikami modelowań wydzielonych podsystemów naftowych (Capik *et al.* 2006). Podstawowe znaczenie dla zrekonstruowania modeli systemów naftowych karpaccich jednostek strukturalno-facjalnych ma interpretacja ich głębokiej budowy geologicznej. Stan jej rozpoznania w międzyrzeczu Sanu i Stryja, tj. w obszarze objętym projektem badawczym, jest bardzo nierównomierny. Najpełniej udokumentowana profilami wierceń i badaniami sejsmicznymi jest strefa sigmoidy przemyskiej (SP), co wiąże się z poszukiwaniami produktywnych horyzontów mioceńskich pod nasunięciem tektogenu karpacciego w trakcie rozwiercania pola gazowego Jaksmanice – Przemysł (m.in. Głowacki *et al.* 1966, Cisek & Czernicki 1988, Karnkowski 1993), a następnie poszukiwaniami zachodniego przedłużenia fałdów głębokich roponośnej jednostki borysławsko-pokuckiej, rozwiniętej w Karpatach ukraińskich (Żytko 1965, Wdowiarz & Jucha 1969, 1981, Karnkowski 1991, 1995).

Pomimo dobrego rozpoznania omawianej strefy istnieją nadal sporne poglądy odnoszące się do: strukturalnej identyfikacji płatów fliszowych nawierconych pod nasunięciem płaszczowiny skolskiej, m.in. w aspekcie problemu kontynuacji jednostki borysławsko-pokuckiej w Karpatach polskich, tektogenezy SP, a także oceny prognoz naftowych w tej strefie, co było również geologicznym zadaniem przewidzianym do rozwiązania za pomocą odwierconego w 2006 r. otworu badawczo-poszukiwawczego Hwniki-1 (do głębokości 5014 m).

W publikacji przedstawiono nowe aspekty interpretacji budowy głębokiej SP, oparte na przeprowadzonej przez autorów geologicznej reinterpretacji archiwalnych profili sejsmicznych, wykonanych przez Geofizykę Kraków Sp. z o.o., powiązanej z profilami głębokich wierceń przemysłu naftowego, oraz najnowszą edycją mapy geologicznej Karpat (Janowski *et al.* 2005). Podstawowym materiałem interpretacyjnym były wyniki zmodyfikowanej procedury przetwarzania danych sejsmicznych systemem ProMAX – opisaney w odrębnej publikacji (Marecik *et al.* 2008, w tym zeszycie). Reprocessingowi poddano kilkanaście profili sejsmicznych z lat 1994–1996, dzięki czemu uzyskano zdecydowaną poprawę jakości sekcji sejsmicznych pod względem ich dynamiki i rozdzielczości. Pierwszoplanowymi obiektami interpretacji były morfologia podłoża prekambryjskiego i geometria nasunięć płaszczowinowych oraz uskoków je dyslokujących, a w dalszej kolejności konturowanie granic litologicznych, w tym płatów fliszowych w spągu nasunięcia płaszczowiny stebnickiej, oraz przestrzenna lokalizacja potencjalnych pułapek złożowych.

SPECYFIKA REGIONALNEJ BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Na tle owalnego układu geostrukturalnego allochtonicznych jednostek Karpat Zewnętrznych SP wyróżnia się dyskrepanтным, południkowym skretem fliszowych fałdów i nasunięć (Fig. 1 na wklejce).

Sigmoidalne skrety zaznaczają się także wzdłuż rozciągłości bardziej wewnętrznych elementów geostrukturalnych w strefie połączenia północnego (polsko-słowackiego) i północno-wschodniego (ukraińskiego) segmentu łuku karpackiego (Świdziński 1971). Jest to również strefa znacznych zmian miąższości i litologii osadów fliszowych, mających niewątpliwie wpływ na zróżnicowanie stylu tektonicznego wzdłuż rozciągłości poszczególnych jednostek strukturalno-facjalnych, co implikuje problem ich korelacji m.in. tzw. brzeżnej grupy jednostek allochtonicznych (Nowak 1927). Grupę tę, rozwiniętą w północno-wschodnim segmencie Karpat, geolodzy ukraińscy przyporządkowują do wewnętrznej (sfałdowanej) strefy zapadliska przedkarpackiego (m.in. Gluško 1968), jako jednostki zaanektowane w końcowym stadium formowania się tektogenu karpackiego przez fleksuralny skłon platformy o mobilnej subsydencji.

W obrębie Karpat ukraińskich wydziela się dwie pokrywy tektoniczne: borysławsko-pokucką i samborską (= stebnicką). Są one nasunięte na grubą serię autochtonicznych molas miocenijskich zewnętrznej strefy zapadliska przedkarpackiego (wieku karpat – starszy sarmat), wycieniających się na skłonie platformy. Molasy te zalegają niezgodnie (transgresywnie) na różnowiekowych formacjach osadowych skłonu skonsolidowanej platformy: od górnego proterozoiku do eocenu – starszego miocenu w facji epikontynentalnej, tych ostatnich zachowanych lokalnie w Karpatach pokuckich w formie płatów (Kolodij *et al.* 2004). Budują one kilka przedneogeńskich pięter strukturalnych podłoża o zróżnicowanym stylu budowy geologicznej, zdyslokowanych systemami uskoków, najczęściej o kierunkach SE-NW i SW-NE, wyodrębniających bloki zanurzające się pod nasunięty tektogen.

W strefie SP molasy neogeńskie zalegają bezpośrednio na proterozoicznym podłożu zbudowanym ze słabo zmetamorfizowanych argilitów wendu, zapadających pod kątem od kilku do kilkudziesięciu stopni, lokalnie zdyslokowanych uskokami o charakterze nasunięć.

Pokrywą osadową jednostki borysławsko-pokuckiej buduje sekwencja osadów fliszowych kredy młodszej – paleogenu i najstarszych molas neogeńskich (eger – karpat), charakteryzująca się w zachodniej części Karpat ukraińskich rozbudowaną miąższością paleogeńskich sedymentów fliszowych, reprezentujących brzeżne litofacje serii skolskiej i najstarszych molas miocenijskich z przykarpacką formacją solonośną w spągu, zalegających w ciągłości sedymentacyjnej (Fig. 2B, C). Jej tektonikę cechuje obecność asymetrycznych fałdów, obalonych ku NE i rozciętych przez nasunięcia. We wschodniej części Karpat ukraińskich autochtoniczne podłoża wewnętrznej strefy zapadliska przedkarpackiego (tj. jego pograżonej części) budują kompleksy fliszu kredowo-paleogeńskiego, a częściowo dolnomiocenijskiego – wydzielane jako jednostka deliatyńska – o rozwiniętej miąższości w obrębie nasuniętej pokrywy borysławsko-pokuckiej (Kolodij *et al.* 2004).

Zewnętrzna pokrywa allochtoniczna (tj. stebnicką) budują wyłącznie (w konwencjonalnym ujęciu) molasy wieku ottnang – starszy baden, reprezentowane w obszarze Karpat polskich przez warstwy stebnickie, balickie i przemyskie, według polskiej nomenklatury litostratygraficznej (Fig. 2D). Ich miąższość redukuje się drastycznie w strefie SP, na NW od której zachowały się jedynie fragmenty pokrywy stebnickiej u czoła i w spągu nasunięcia płaszczowiny skolskiej. W przekroju przebiegającym wzdłuż granicy polsko-ukraińskiej, po jej wschodniej stronie, jednostka borysławsko-pokucka odsłania się tylko w pasie o szerokości rzędu 2 km, ograniczonym od południa nasuniętą płaszczowiną skolską (Gluško *et al.* 1984).

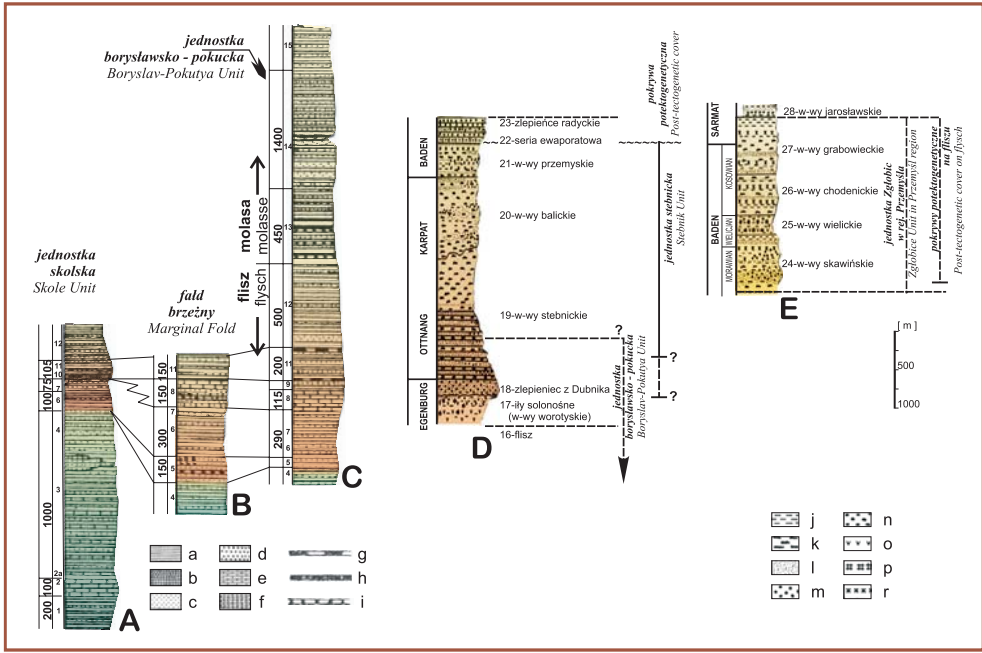


Fig. 2. Syntetyczne profile litostratygraficzne fliszu i molasy przykarpackiej: A, B, C – wg Wdowiarz & Juchy (1981) dla rejonu między Samborem i Boryslawiem; D, E – wg Ney (1968); nieco zmodyfikowany przez Kotlarczyk (1988). Stratygrafia dla A, B, C: 1 – kreda dolna – łupki spaskie; kreda górna: 2 – margle krzemionkowe, 2a – łupki pstre, 3 – warstwy inoceramowe dolne, 4 – warstwy inoceramowe górne, 5 – paleocen – piaskowce jamneńskie; eocen: 6 – łupki pstre, 7 – warstwy hieroglify, 8 – warstwy popielskie, 9 – piaskowce boryslawskie; oligocen: 10 – rogowce, 11 – łupki menilitowe, 12 – warstwy polanickie; miocen: 13 – perykarpacka formacja solonośna, 14 – warstwy stebnickie, 15 – osady badenu. Litologia dla A, B, C: a – łupki, b – piaskowce cienko- i średnioławicowe, c – piaskowce gruboławicowe, d – zlepienie, e – margle, f – mułowce, g – rogowce, h – anhydryty, gipsy, i – sole. Litologia dla D, E: j – iły i łupki, k – mułowce i margle piaszczyste, l – piaski i piaskowce, m – zlepienie z przewagą materiału karpackiego, n – zlepienie z przewagą materiału przedkarpackiego, o – gipsy i anhydryty, p – sole kamienne, r – tufity

Fig. 2. Synthetic lithostratigraphic profiles of the flysch and near-Carpathian molasse: A, B, C – after Wdowiarz & Jucha (1981) for the area between Sambor and Boryslav; D, E – after Ney (1968), slightly modified by Kotlarczyk (1988). Stratigraphy for A, B, C: 1 – Early Cretaceous – Spas Shales; Late Cretaceous: 2 – Siliceous Marls, 2a – Variegated Shales, 3 – Lower Inoceraman Beds, 4 – Upper Inoceraman Beds, 5 – Paleocene – Jamno Sandstones; Eocene: 6 – Variegated Shales, 7 – Hieroglyphic Beds, 8 – Popeli Beds, 9 – Boryslav Sandstones; Oligocene: 10 – hornstones, 11 – Menilite Beds, 12 – Polianica Beds; Miocene: Peri-Carpathian Salt-bearing Formation, 14 – Stebnik Beds, 15 – Badenian sediments; for D, E: 16– Flysch, 17 – Salt-bearing Clays (Vorotyshhe Beds), 18 – Dubnik Conglomerates, 19 – Stebnik Beds, 20 – Balice Beds, 21 –Przemysl Beds, 22 – Evaporite Series, 23 – Radycz Conglomerates, 24 – Skawina Beds, 25 – Wieliczka Beds, 26 – Chodzenie Beds, 27 – Grabowiec Beds, 28 – Jaroslavl Beds. Lithology for A, B, C: a – shale, b – thin- and medium-bedded sandstones, c – thick-bedded sandstones, d – conglomerate, e – marl, f – siltstone, g – hornstone, h – anhydrite, gypsum, i – salt. Lithology for D, E: j – clay and shale, k – siltstone and sandy marl, l – sand and sandstone, m – conglomerate with predominant Carpathian material, n – conglomerate with predominant pre-Carpathian material, o – gypsum and anhydrite, p – salt, r – tuffite

Płaszczowina ta składa się z elementów tektonicznych typu skib, zbudowanych z kompleksów warstw stryjskich (inoceramowych = formacja z Ropianki, Kotlarczyk 1978) wieku senon – paleocen, zalegających na ogniwie warstw spaskich (barrem – alb) z zachowanymi w synklinach utworami młodszego fliszu – paleogeńskiego. Przed czołem nasunięcia stebnickiego wydziela się ponadto najmłodszą serię sfałdowanych i złuskowanych molas badenu – starszego sarmatu pod nazwą jednostki Zgłobic (Kotlarczyk 1988, Fig. 2E).

W trakcie rozwiercania pola gazowego Jaksmanice – Przemyśl w profilach kilkunastu wierceń stwierdzono osady fliszowe pod nasunięciem płaszczowiny skolskiej, w formie mniej lub bardziej ciągłych płatów o miąższościach od kilkunastu do kilkuset metrów. Zalegają one najczęściej w spagu nasunięcia stebnickiego, sporadycznie bezpośrednio pod nasunięciem płaszczowiny skolskiej, tj. na sfałdowanych molasach mioceńskich, np. w profilach odwiertów Przemyśl-10 i Leszczyny-1. Profile płatów fliszowych w obszarze SP reprezentowane są przez litostratygraficznie zbliżone sekwencje osadów młodszego eocenu (łupki pstre i warstwy hieroglifowe) – oligocenu (łupki menilitowe), a niekiedy warstwy polanickie (= krośnieńskie górne w Karpatach polskich – wczesny miocen). Płaty fliszowe stwierdzono też w wielu innych profilach odwiertów wzdłuż brzegu Karpat na zachód od SP, gdzie zachowały się głównie warstwy inoceramowe serii skolskiej (Fig. 3).

GEOLOGICZNO-SEJSMICZNE MODELE BUDOWY STRUKTUR WGLĘBNYCH

Przedmiotem szczegółowej interpretacji geologicznej było dwanaście przekrojów sejsmicznych, przecinających się wzajemnie, w tym: sześć poprzecznych o kierunku SW-NE i sześć podłużnych, tj. o kierunku SE-NW. Ich orientacja strukturalna w strefie SP jest w istocie ukośna względem rozciągłości fałdów i nasunięć, odwzorowując bardziej płaską geometrię granic geologicznych, tzn. w projekcji kątów upadu i miąższości pozornych. Do interpretacji wybrano w pierwszej kolejności przekroje sejsmiczne przebiegające przez głębokie otwory wiertnicze, w tym przez odwiert Huwniki-1, posiadający najpełniejszą dokumentację geologiczno-geofizyczną profilu litostratygraficznego. W fazie tej przeprowadzono wstępną interpretację geologiczną przekrojów sejsmicznych w domenie czasu, pod kątem interpolacji modeli prędkości interwałowych w obrębie osnowy litologiczno-strukturalnej. Na podstawie skonstruowanych modeli prędkości przeprowadzono migrację głębokościową danych sejsmicznych przed składaniem i po składaniu oraz ich konwersję czasowo-głębokościową (Marecik *et al.* 2008).

Interpretację geologiczną wykonano najpierw dla szerszego zbioru przekrojów sejsmicznych w wersji po składaniu, a następnie powtórnie dla dwunastu przekrojów (wyżej wspomnianych) przetworzonych w wersji migracji głębokościowej przed składaniem (PSDM), która generuje lepsze jakościowo odwzorowanie sejsmiczne struktur wgłębnych o skomplikowanej tektonice. W celu litostratygraficznej identyfikacji w zapisie sejsmicznym kompleksów warstw budujących pokrywy fliszowe i ich autochtoniczne podłoże skonstruowano sejsmogramy syntetyczne dla profili odwiertów zlokalizowanych w obszarze badań: Huwniki-1 (Fig. 4A) i Leszczyny-1 (Fig. 4B) oraz Cisowa IG-1 i Przemyśl-130, posiadających niezbędny zakres pomiarów geofizycznych. Niestety, poza Huwnikami-1 nie posiadał go żaden z odwiertów przewiercających płaty fliszowe pod spagiem płaszczowiny skolskiej.

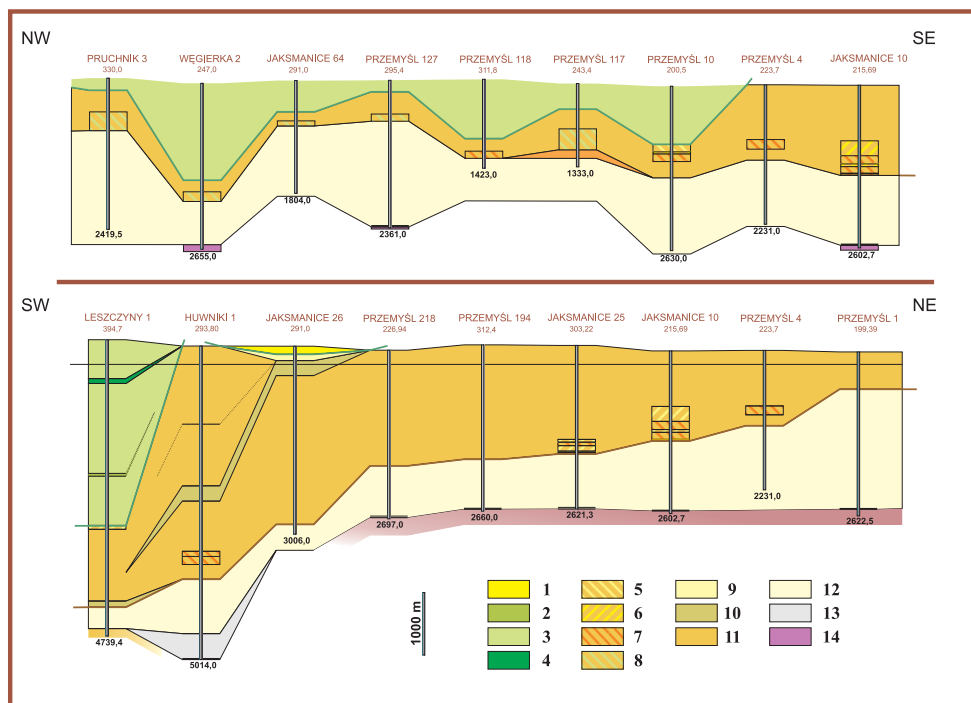


Fig. 3. Lokalizacja płatów fliszowych w profilu jednostki stebnickiej (zestawienie korelacyjne). Utwory fliszu karpackiego: 1 – oligocen, warstwy menilitowe; 2 – kreda późna, łupki pstre; 3 – kreda późna – paleocen, warstwy inoceramowe; 4 – kreda wczesna. Utwory fliszu karpackiego wśród miocenu sfałdowanego: 5 – miocen, warstwy polaniczkie; 6 – oligocen, warstwy menilitowe; 7 – eocen, łupki pstre, warstwy hieroglifyowe (J-10, J-25), warstwy popielskie (J-10); 8 – kreda późna – paleocen, warstwy inoceramowi. Utwory jednostki stebnickiej: 9 – miocen, ropy solne; 10 – miocen, zlepienie; 11 – miocen warstwy balickie, stebnickie i przemyskie. Utwory autochtoniczne: 12 – miocen, wczesny sarmat + baden; 13 – miocen, karpac; 14 – prekambry

Fig. 3. Location of flysch patches in the section of the Stebnik Unit (correlation). Carpathian flysch deposits: 1 – Oligocene, Menilite Beds; 2 – Late Cretaceous, Variegated Shales; 3 – Late Cretaceous – Paleocene, Inoceraman Beds; 4 – Early Cretaceous. Carpathian flysch deposits within folded Miocene: 5 – Miocene, Polianica Beds; 6 – Oligocene, Menilite Beds; 7 – Eocene, Variegated Shales, Hieroglyphic Beds (J-10, J-25), Popeli Beds (J-10); 8 – Late Cretaceous – Paleocene, Inoceraman Beds. Stebnik Unit deposits: 9 – Miocene, saliferous clay; 10 – Miocene, conglomerate; 11 – Miocene, Balice, Stebnik and Przemyśl Beds. Autochthonous deposits: 12 – Miocene, Early Sarmatian + Badenian; 13 – Miocene, Karpac; 14 – Precambrian

W obrazach sejsmogramów syntetycznych najwyższe amplitudy sygnałów zaznaczają się w profilu molas autochtonicznych podścielających brzezną strefę tektogenu karpackiego, zanikając stopniowo pod narastającą miąższością sfałdowanych formacji fliszowych.

W profilach pokrywy fliszowej relatywnie największe amplitudy przypisać można gruboławicowym piaskowcom inoceramowym i kompleksowi margli krzemionkowych, korelujące się z rejestrowanym zapisem sejsmicznym w sytuacjach połogiego ich zalegania.

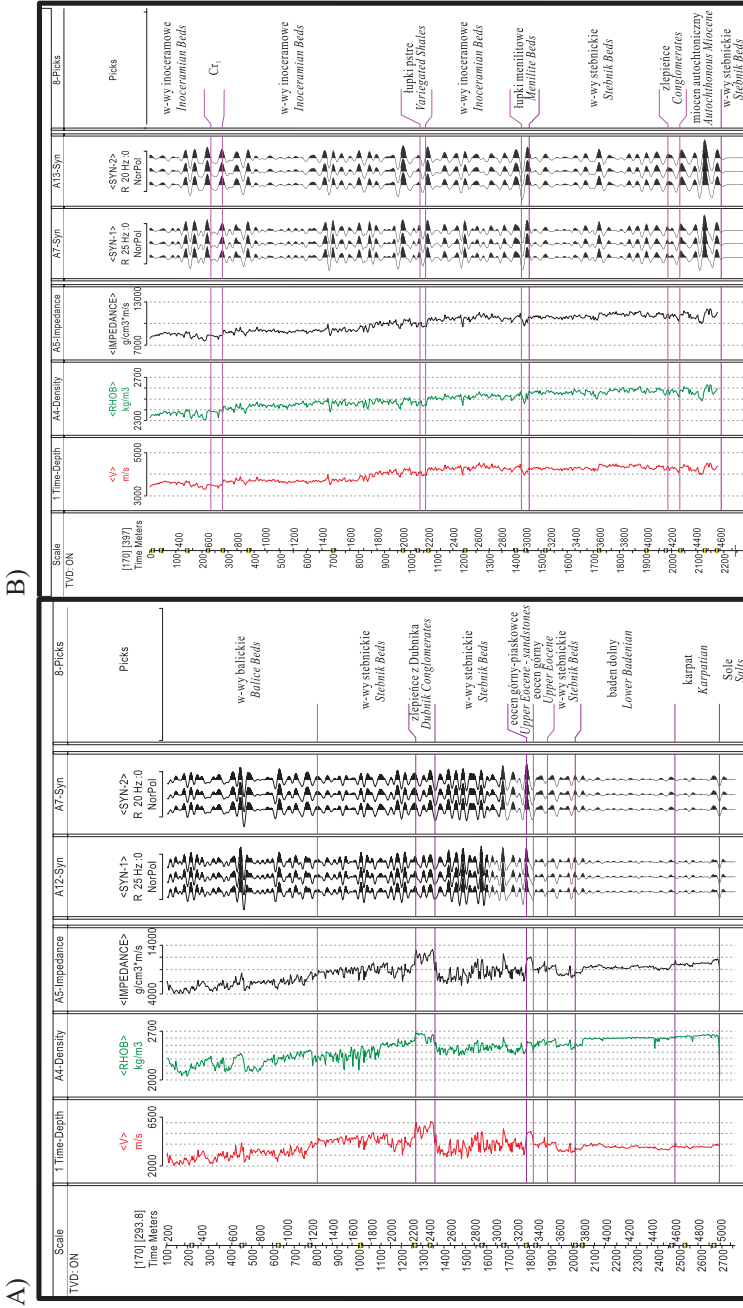
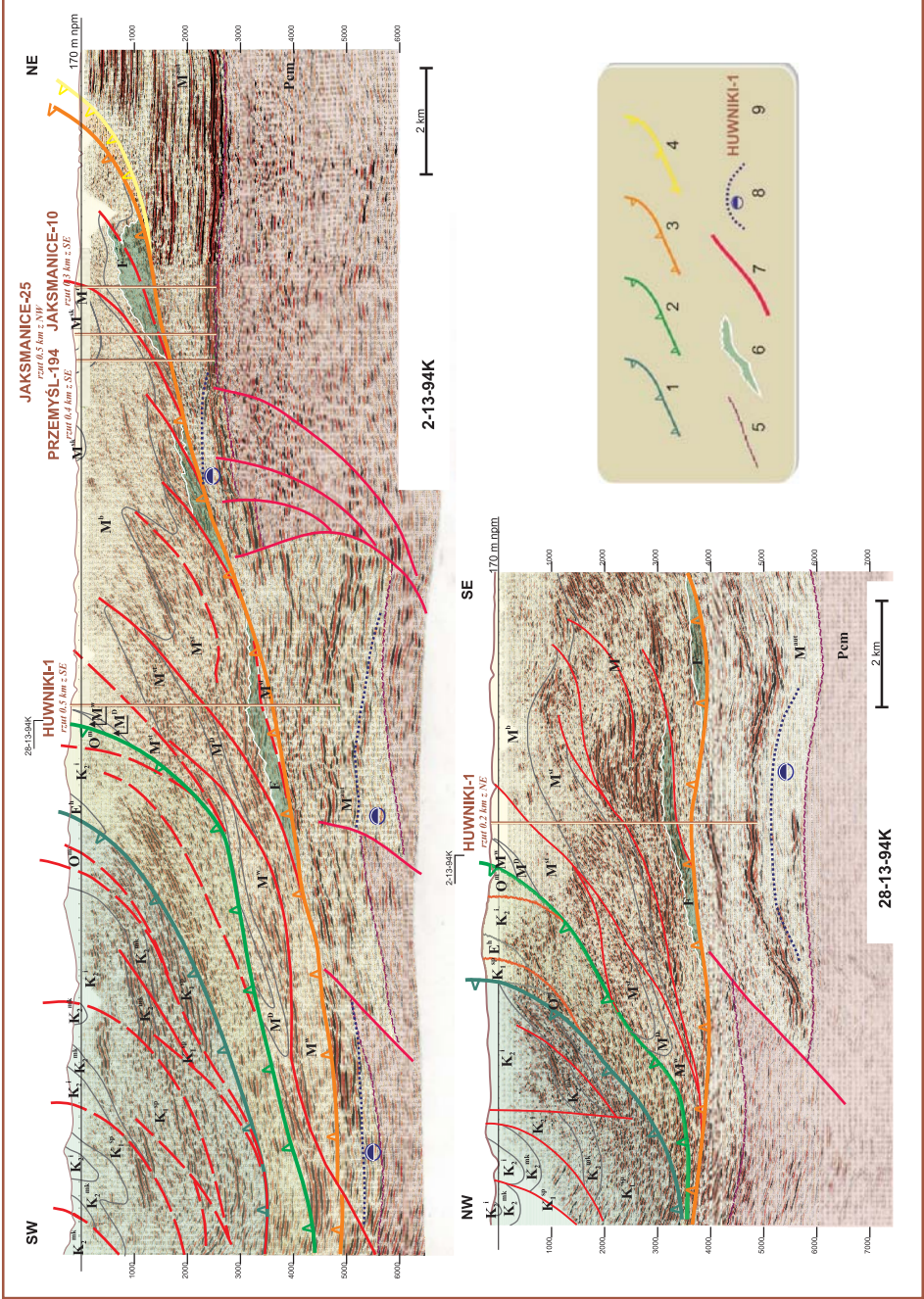


Fig. 4. Sejsmogramy syntetyczne dla otworów: A) Huwniki-1; B) Leszczyny-1 (oprac. A. Zajac): V – predkosć fali podłużnej, RHOB – gęstość, IMPEDANCE – impedancja akustyczna, SYN-1 – sejsmogram syntetyczny obliczony na podstawie zerofazowego sygnału elementarnego Rickera o częstotliwości dominującej 25 Hz, SYN-2 – sejsmogram syntetyczny obliczony na podstawie zerofazowego sygnału elementarnego Rickera o częstotliwości dominującej 20 Hz

Fig. 4. Synthetic seismograms for the Huwniki-1 (A) and Leszczyny-1 (B) boreholes (A. Zajac): V – longitudinal-wave velocity, RHOB – density, IMPEDANCE – acoustic impedance, SYN-1 – synthetic seismogram based on Ricker zero-phase wavelet with predominant frequency 25 Hz, SYN-2 – synthetic seismogram based on Ricker zero-phase wavelet with predominant frequency 20 Hz



Kroki geologicznej interpretacji przekrojów sejsmicznych (Fig. 5) obejmowały:

1. czytywanie morfologii przekrojów, na którą odrzutowywano ślady intersekcyjne wychodni kompleksów i dyslokacji tektonicznych, profili wierceń (rzutowanych wzdłuż rozciągłości struktur) oraz przekrojów sejsmicznych;
2. wykreślanie w profilach wierceń pozornych kątów upadu warstw, wyliczanych z upadów pomierzonych (rzeczywistych) dla określonych azymutów profili sejsmicznych;
3. wyznaczanie wgłębnych śladów uskoków – traktowanych jako najmłodszy element tektoniki – dyslokujących ciągłość granic odbijających i zaburzających ich układ geometryczny;
4. wyznaczenie śladów regionalnych nasunięć tektonicznych i nieciągłości stratygraficznych w podłożu tektogenu, ujawniających się – niezależnie od kryteriów wymienionych (nasunięcia niższej rangi) – zróżnicowanym charakterem obrazu sejsmicznego;
5. konturowanie granic litostratygraficznych, wydzielonych w profilach wierceń, w tym elementów fliszowych pod nasunięciem płaszczowyńskiej;
6. korygowanie głębokości wyznaczonych granic geologicznych wzdłuż krawędzi przecinania się przekrojów sejsmicznych, mając na uwadze świadomość ich rozbieżnego zalegania w profilach wierceń rzutowanych na płaszczyznę przekroju;
7. konstruowanie map i szkiców strukturalnych elementów wgłębnej tektoniki SP;
8. konturowanie potencjalnych pułapek złożowych.

Zinterpretowane przekroje geologiczno-sejsmiczne prezentują bardziej szczegółowy i skomplikowany obraz budowy wgłębnej SP w stosunku do dotychczas opublikowanych modeli budowy geologicznej tej strefy (m.in. Głowacki 1964, Ney 1968, Wdowiarz & Jucha 1981, Kotlarczyk 1988). Niemniej stopień wiarygodności interpretacji poszczególnych elementów strukturalnych jest zróżnicowany, co wiąże się m.in. z uwarunkowaniami metody sejsmicznej.

Fig. 5. Przekroje sejsmiczne w wersji głębokościowej. Nasunięcia: 1 – jednostki skolskiej, 2 – jednostki borysławsko-pokuckiej, 3 – jednostki stebnickiej, 4 – jednostki zgłobickiej, 5 – strop podłoża platformowego (prekambru), 6 – elementy fliszowe w jednostce stebnickiej, 7 – uskoki, 8 – formy potencjalnych pułapek złożowych, 9 – otwory rzutowane na linię przekroju. Karpaty (jednostka skolska i borysławsko-pokucka): K1sp – warstwy spaskie, K2mk – margle krzemionkowe, K2i – warstwy inoceramowe, Eh – warstwy hieroglifyowe, Om – warstwy menilitowe. Jednostka stebnicka: Mw – warstwy worotyżczańskie, MD – zlepienie z Dubnika, Mst – warstwy stebnickie, Mb – warstwy balickie, M1sk – warstwy skawińskie, M1r – zlepienie radyckie, F – elementy fliszowe (płaty). Zapadlisko przedkarpackie Maut – miocen autochtoniczny (karpat, baden, sarmat wczesny). Podłoże platformowe: Pcm – prekambr

Fig. 5. Seismic depth sections. Overthrusts: 1 – Skole Unit, 2 – Boryslav-Pokutya Unit, 3 – Stebnik Unit, 4 – Zgłobice Unit, 5 – top of platform basement (Precambrian); 6 – flysh elements within the Stebnik Unit; 7 – faults; 8 – forms of potential reservoir traps; 9 – boreholes projected onto the section line. Carpathians (Skole Unit and Boryslav-Pokutya Unit): K1sp – Spas Beds, K2mk – Siliceous Marls, K2i – Inoceranian Beds, Eh – Hieroglyphic Beds, Om – Menilite Beds. Stebnik Unit: Mw – Vorotyshche Beds, MD – Dubnik Conglomerate; Mst – Stebnik Beds, Mb – Balice Beds, M1sk – Skawina Beds, M1r – Radycz Conglomerate, F – flysh elements (“patches”). Carpathian Foredeep: Maut – Autochthonous Miocene (Carpathian, Badenian, Early Sarmatian). Platform basement: Pcm – Precambrian

W obrębie nasuniętych pokryw allochtonicznych w zasadzie wszystkie ślady intersekcyjne uskoków i nasunięć (różnego rzędu), występujące na odkrytej mapie geologicznej (Jankowski *et al.* 2005), znajdują swoje odwzorowanie w obrazie sejsmicznym. Ponadto prześlędzono w nim liczne dyslokacje tektoniczne nieujawniające się w obrazie intersekcyjnym mapy geologicznej, przeważnie typu drugorzędnych złuskowań pokryw allochtonicznych oraz liczne systemy uskoków dyslokujących prekambryjskie podłoże, najczęściej „wygasających” w pokrywie autochtonicznych molas mioceńskich, ale niekiedy przemieszczające zarówno podłoże, jak i nasunięte pokrywy płaszczowinowe, zwykle w strefach o małej miąższości molas mioceńskich je podścielających.

Wykrycie i prześlędzenie geometrii dyslokacji tektonicznych w obrębie struktur wgłębnych rozpoznanych wierceniami umożliwiło kompleksową ich interpretację poprzez bardziej spójne powiązanie, np. w odwiercie Huwniki-1 udokumentowanego profilu litostratygraficznego z odwzorowaniem sejsmicznym i powierzchniowym obrazem kartograficznym budowy geologicznej. Regionalne nasunięcia o dużej amplitudzie (typu sekwencyjnego), niezależnie od ww. kryteriów, ujawniały się także zmianą charakteru zapisu sejsmicznego.

Wyplaszczanie się kątów zapadania nasunięć w zapleczu SP drastycznie redukuje miąższość wyodrębnionych przez nie pokryw tektonicznych jednostek grupy brzeżnej, szczególnie w kierunku północno-zachodnim (Fig. 5 – przekrój 28-13-94K). Wgłębne, najczęściej krzywoliniowe ślady dyslokacji tektonicznych (opisanych typów) przybliżano geometrią łuków, mając świadomość, że ich rzeczywisty kształt jest bardziej skomplikowany.

Wyższy stopień trudności wiązał się z konturowaniem elementów fliszowych płaszczowiny stebnickiej (typu płatów), wydzielonych w profilach wierceń m.in. otworu Huwniki-1. Ich strop według autorów wyznacza większa lub mniejsza wczesnobadeńska luka sedimentacyjna bądź powierzchnia rozmycia brzeżnych osadów karpackiej formacji fliszowej, natomiast spąg – płaszczyna nasunięcia stebnickiego lub lokalne złuskowania niższego rzędu np. w profilu odwiertu Huwniki-1 (Fig. 5). Zasięg płatów fliszowych jest lepiej czytelny w płytszych interwałach głębokościowych profili sejsmicznych – jako brak ciągłości granic odbijających, m.in. w pobliżu odwiertów Jaksmanice-10 i Jaksmanice-25 (Fig. 5 – przekrój 2-13-94K). Natomiast w głębszych interwałach interpretowany był na podstawie zróżnicowania dynamiki zapisu sejsmicznego i niezgodności kątowych, nie zawsze w sposób jednoznaczny.

Na podstawie wyników interpretacji dwunastu przekrojów sejsmicznych skonstruowano mapę strukturalną spągu nasunięcia stebnickiego (Fig. 6). Geometria tej powierzchni stopniowo komplikuje się na południe od strefy uskokowej Kniażyc – dyslokującej podłoże tektogenu – w postaci zarysowujących się elewacji i depresji, ukierunkowanych poprzecznie do jej rozciągłości. Na tle obrazu strukturalnego wrysowano zasięg okonturowanych płatów fliszowych i ich kontynuacje w kierunku NW na podstawie interpretacji danych z profili wierceń. Rozpościerają się one wzdłuż rozciągłości SP, sięgając płytkimi zatokami pod nasunięcie płaszczowiny skolskiej.

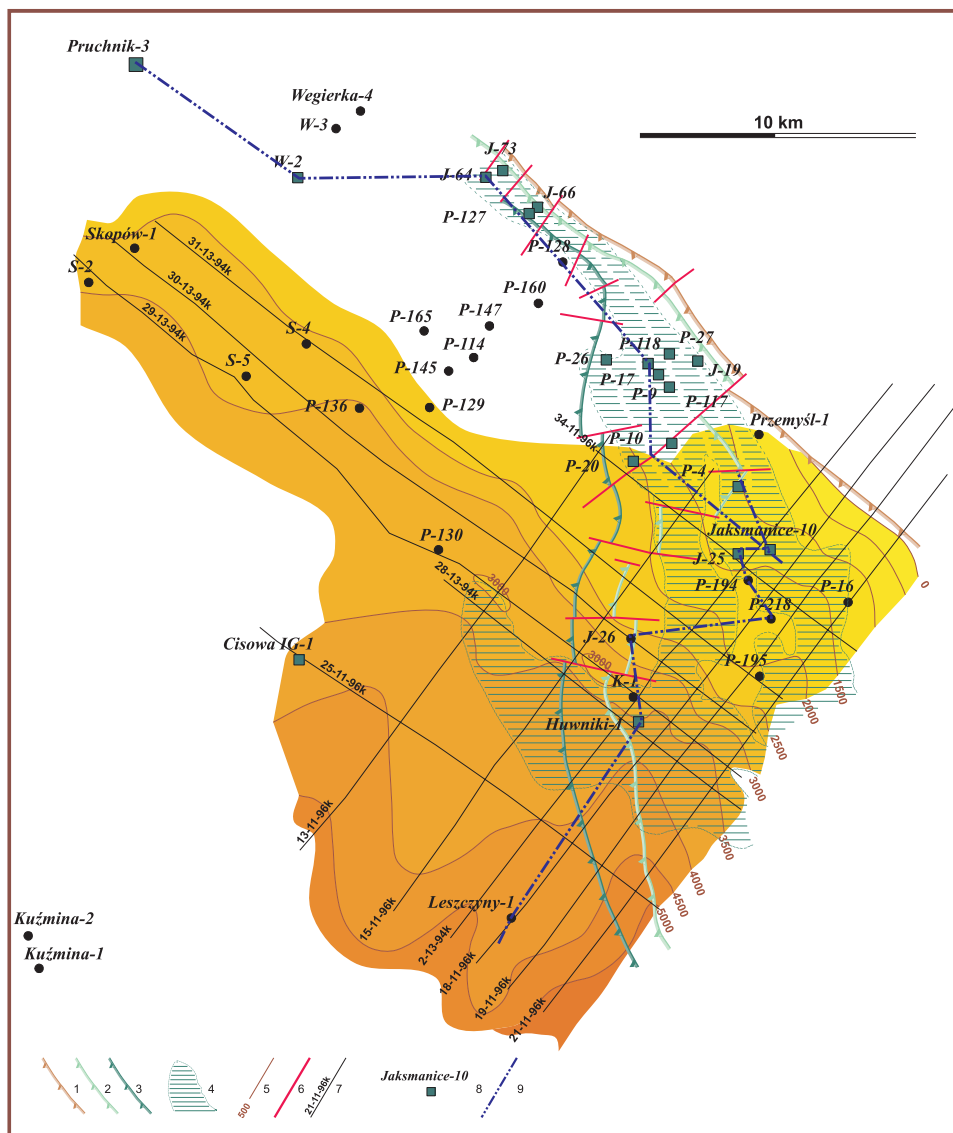


Fig. 6. Szkic sytuacyjny lokalizacji elementów fliszowych w obrębie jednostki stebnickiej na tle mapy strukturalnej jej spągu. Nasunięcia płaszczowin i jednostek: 1 – stebnickiej, 2 – borysławsko-pokuckiej, 3 – skolskiej, 4 – zasięg występowania elementów fliszowych w obrębie sfałdowanych utworów miocenijskich, 5 – izohipsy spągu jednostki stebnickiej, 6 – uskoki, 7 – przekroje sejsmiczne, 8 – odwierty, w których występowały elementy fliszowe, 9 – ślady profili korelacyjnych (Fig. 3)

Fig. 6. Sketch of location of flysch elements within the Stebnik Unit against the background of its bottom. Overthrusts of nappes and units: 1 – Stebnik, 2 – Boryslav-Pokutya, 3 – Skole, 4 – extent of occurrence of flysch elements within folded Miocene deposits, 5 – isohypses of bottom of the Stebnik Unit, 6 – faults, 7 – seismic sections, 8 – boreholes in which flysch elements were encountered, 9 – lines of correlation profiles (Fig. 3)

Na przedpolu nasuniętych pokryw allochtonicznych obraz sejsmiczny subhoryzontalny zalegających molas mioceńskich młodszego badenu – starszego sarmatu jest najlepiej czytelny. Jednoznacznie zidentyfikować można poziom ewaporatowy zalegający w ich spągu, jako bardzo wyraźną granicę odbijającą, przykrywającą powierzchnię erozyjną stropu podłoża prekambryjskiego, przeważnie o „wyciszonym” zapisie z lokalnie zaznaczających się grupami refleksów niższej wagi o zróżnicowanych kierunkach i kątach upadu.

W strefie skłonu platformy obraz ten staje się coraz mniej czytelny, wraz ze wzrostem miąższości nasuniętych i intensywnie sfałdowanych fliszowo-molasowych pokryw allochtonicznych o zróżnicowanej litologii kompleksów warstw, rozpraszających energię fal sejsmicznych. W spągu nasunięć zaznaczają się niekiedy strefy ścięć tektonicznych z charakterystycznym podarciem płaszcza molas mioceńskich (Fig. 5).

Wyższy stopień skomplikowania cechuje przestrzenny układ głębszych granic podłoża autochtonicznego. Jest on odbiciem narastającego zróżnicowania litologicznego osadów mioceńskich m.in. wskutek wzrostu ich zailenia (ku SW), a przede wszystkim rozbudowującej się w spągu miocenu sekwencji stratygraficznej detrytycznych litosomów starszego badenu – karpatu (?) o skomplikowanej geometrii z kompleksem solonośnym – rozpoznanych profilem odwiertu Huwniki-1 – których rozwój sedymentacyjny sterowany był prawdopodobnie morfologią tektoniczno-erozyjnych struktur skłonu podłoża prekambryjskiego. W rezultacie pod spągowymi powierzchniami nasunięć jednostek allochtonicznych układ refleksów sejsmicznych jest mniej lub bardziej zaburzony, niekiedy dyskordantny, dokumentujący występowanie dyslokacji tektonicznych, a także płaskich nieciągłości typu sedymentacyjnego.

System uskoków tektonicznych przemieszczających podłoże prekambryjskie, o sumarycznej amplitudzie zrzutów przekraczającej 2000 m, zidentyfikowano jako strefę uskokową Kniażyc (Ney 1968). W przekroju 2-13-94K dokumentuje ją profil otworu Huwniki-1, który do głębokości ponad 5000 m nie osiągnął podłoża miocenu (Fig. 5). Interpretacja charakteru i typu przemieszczeń tektonicznych w tej strefie uskokowej jest trudna ze względu na jej przestrzennie złożoną geometrię. Wzdłuż głównej dyslokacji o największym zrzucie, której przybliżoną rozciągłość wykreślono na figurze 7 – składającej się w istocie z zespołu uskoków typu listrycznego – ciągnie się system drugorzędnych dyslokacji towarzyszących (uskoków kulisowych ?), które nie zostały wyodrębnione na szkicu strukturalnym podłoża. Model strefy Kniażyc wykazuje wyraźne analogie z systemem uskokowym ograniczającym rów tektoniczny Wielkich Oczu w zewnętrznej strefie zapadliska przedkarpackiego (Dziedzic & Jachowicz 1996).

Na południowy zachód od strefy Kniażyc pogrążone podłoże tektogenu dyslokują uskoki o zbliżonej rozciągłości (NW – SE), prześledzone od południkowego rozłamu wgłębnego, przebiegającego na wschód od odwiertów P-136 i Cisowa IG-1 (Fig. 7). Zinterpretowano je jako uskoki wsteczne typu synsedymetacyjnego, tj. o amplitudach zrzutu w stropie prekambru od kilkuset do ponad tysiąca metrów, zanikających w pokrywie molas mioceńskich (Fig. 5, 7).

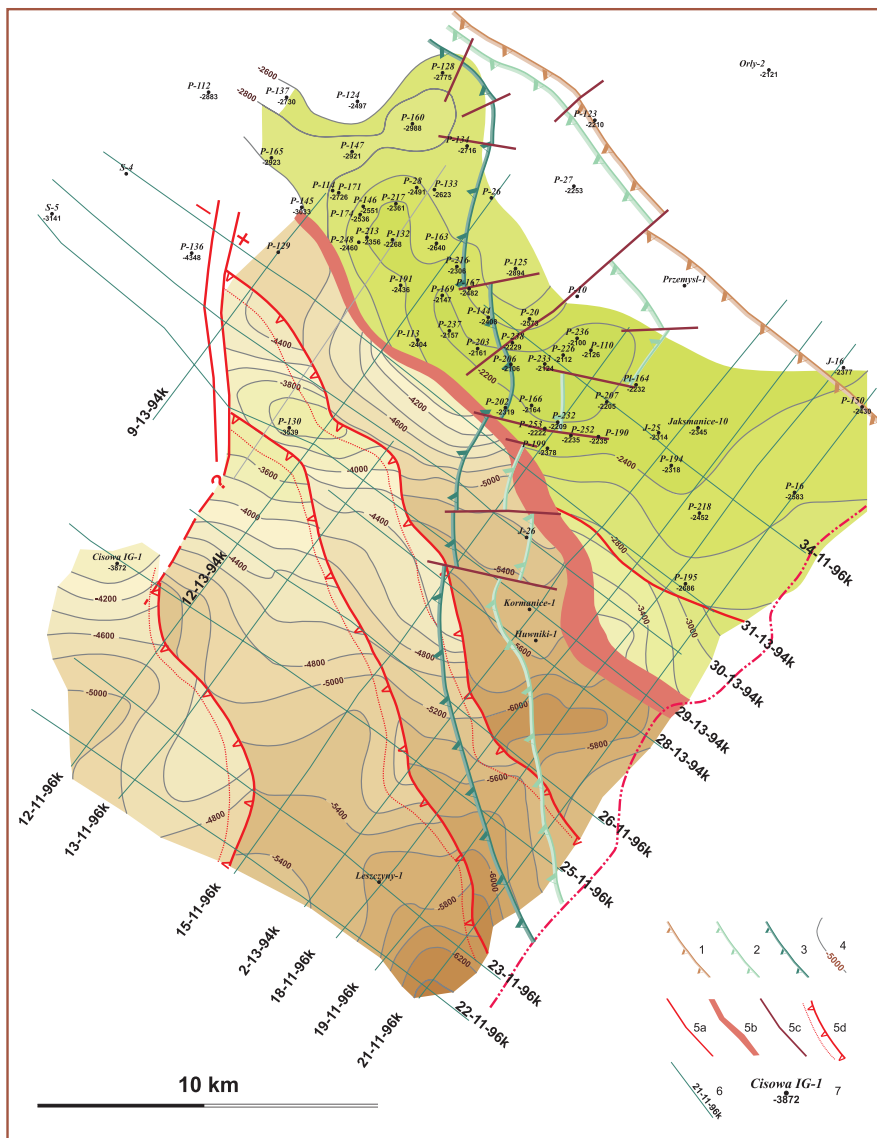


Fig. 7. Szkic strukturalno-tektoniczny stropu platformowego podłoża (prekambru). Nasunięcia płaszczowin i jednostek: 1 – stebnickiej, 2 – boryslawsko-pokuckiej, 3 – skolskiej, 4 – izohipsy stropu prekambru, 5a–d – główne uskoki: 5a – uskoki normalne, 5b – system uskoku Książyc, 5c – uskoki brzeżnej strefy nasunięć fliszowych, 5d – uskoki odwrócone, 6 – przekroje sejsmiczne, 7 – odwierty (rzędna stropu prekambru)

Fig. 7. Structural-tectonic sketch of top of the platform basement (Precambrian). Overthrusts of nappes and units: 1 – Stebnik, 2 – Boryslav-Pokutyta, 3 – Skole, 4 – isohypses of top of Precambrian, 5a–d – main faults: 5a – normal faults, 5b – Książyc fault system, 5c – faults within the marginal zone of flysch overthrusts, 5d – reverse faults, 6 – seismic sections, 7 – boreholes (with depth to top of Precambrian below sea level)

DYSKUSJA WYNIKÓW INTERPRETACJI I OCENA PROGNOZ NAFTOWYCH

Problemy sformułowane we wstępie publikacji rzutują nie tylko na wglębną budowę SP, ale także na interpretację ewolucji brzeżnej grupy jednostek karpackich i ich podłoża, w ujęciu regionalnym. W tym kontekście autorzy mają świadomość, że ich rozwiązanie nie może być oparte wyłącznie na geologicznej interpretacji powtórnie przetworzonych profili sejsmicznych, biorąc też pod uwagę wysuwane często zastrzeżenia odnoszące się do wiarygodności sejsmicznego obrazowania skomplikowanej budowy Karpat. Niemniej uważamy za uzasadnione podjęcie dyskusji, zwłaszcza dotyczącej tych aspektów interpretacji budowy wglębnej, które są kontrowersyjne w stosunku do uprzednio przedstawianych poglądów, przed kontynuacją dalszych badań zmierzających do zrekonstruowania ewolucji geodynamicznej systemów naftowych brzeżnej strefy Karpat.

W odniesieniu do zaprezentowanego modelu podłoża prekambru należy podkreślić, że zinterpretowana geometria uskoku je dyslokujących jest bardziej skomplikowana w stosunku do poprzednich odwzorowań (m.in. Konarski 1972, Karnkowski 1995), opartych również na danych sejsmicznych. Uskoki typu wstecznego, dyslokujące strop podłoża prekambru (Fig. 5), zostały uprzednio udokumentowane profilami wierceń i badaniami sejsmicznymi pod nasunięciem karpackim w rejonie Bochni (Jawor & Baran 2008) oraz na przedpolu tej części Karpat (Maksym *et al.* 1998), a także w obrębie górnoproterozoicznego piętra strukturalnego Karpat ukraińskich (Kolodij *et al.* 2004). Należy też zwrócić uwagę na kierunki ich rozciągłości (Fig. 7) nawiązujące do powierzchniowej intersekcji SP i korespondujące z kierunkami dyslokacji na szkicu geologicznym Neya (1968 – Fig. 15).

Nowy model strukturalny płaszczowiny stebnickiej (Fig. 5) jest najbardziej zbliżony do przekrojowych interpretacji Głowackiego (1964 – rys. 3) i Neya (1968 – Fig. 16E), z wyjątkiem wglębnego przegubu synklinalnego, przykrytego nasunięciem skolskim, rozpoznanego m.in. profilem otworu Leszczyny-1 (Wdowiarz & Jucha 1981).

W świetle dotychczasowych poglądów na budowę i ewolucję SP zasadnicze kontrowersje odnoszą się do identyfikacji płyt fliszowych nawierconych w spągu płaszczowiny stebnickiej. Płaty te interpretowano w różnorodny sposób, tj. jako:

- czołowe elementy strukturalne jednostki borysławsko-pokuckiej (typu porwaków), przykryte nasuniętą pokrywą molas miocenijskich (m.in. Zieliński 1963, Samojsluk 1976); jednak powyższa opcja koliduje z regionalną pozycją strukturalną tej jednostki;
- porwaki tektoniczne w nasuniętej pokrywie stebnickiej (*sensu lato* – m.in. Wilczyński 1961, Głowacki 1964, Ney 1968, Wdowiarz & Jucha 1969, 1981);
- „ostańce” pokrywy fliszowej przykryte transgresyjnie zalegającymi molasami miocenijskimi, a następnie odkłute tektonicznie wraz z nimi od pierwotnego podłoża (Kuśmierek 1984);
- względnie jako olistolity, tj. wiążąc tektogenezę jednostki stebnickiej i młodszych, sfałdowanych molas badeńskich, wydzielanych pod nazwą jednostki zgłobickiej (Kotlarczyk 1985), z tektoniką grawitacyjną (Połtowicz 2004).

Osady fliszowe nawiercone bezpośrednio pod nasunięciem płaszczowiny skolskiej według Juchy (1969) reprezentują natomiast fragmenty jednostki borysławsko-pokuckiej, nasuniętej na płaszczowinę stebnicką. Jednostka ta według Żytki (1965), Wdowiarza & Ju-

chy (1969, 1981), a także Olewicza (1978), zanurza się pod sigmoidę przemyską. Na podstawie tej koncepcji odwiercono kilka głębokich otworów: Cisowa IG-1, Leszczyń-1, Brzegi Dolne IG-1, Paszowa-1 i Kuźmina-1, z których żaden nie potwierdził przyjętej opcji interpretacyjnej. W konsekwencji za bardziej prawdopodobną należy uznać hipotezę zakładającą wyklinowywanie się jednostki borysławsko-pokuckiej wzdłuż sigmoidy przemyskiej przed czołem nasunięcia płaszczowiny skolskiej (Gluško 1968, Świdziński 1971, Książkiewicz 1972, Kuśmerek 1984, Kotlarczyk 1988). Wyróżnione problemy interpretacyjne implikowane były słabą jakością wyników badań sejsmicznych w ówczesnym okresie, ale także przyczynami subiektywnymi, gdyż proponowane koncepcje budowy wgłębnej nie były w dostatecznym stopniu wspierane przesłankami wynikającymi z dogłębnej analizy geodynamicznej ewolucji subbasenów fliszowych. W świetle interpretacji dwunastu profili sejsmicznych hipotetyczne fałdy wgłębne jednostki borysławsko-pokuckiej nie zostały zidentyfikowane w strefie SP.

Zasięg okonturowanych płatów fliszowych (Fig. 6) sugeruje, że pokrywa osadów fliszowych, wypełniająca pierwotne przegłębienia południowo-zachodniego skłonu platformy, została odkłuta i nasunięta łącznie z nadległymi seriami molasowymi, zalegającymi transgresywnie z luką sedymentacyjno-erozyjną (?). Należy zwrócić też uwagę, że w obrębie wyklinowującej się wzdłuż SP jednostki borysławsko-pokuckiej obserwuje się także drastyczne redukcje miąższości ogniwi fliszowych i prawdopodobne luki sedymentacyjne, interpretowane jako złuskowania (Jankowski *et al.* 2005). Jeżeli przyjmiemy, że na skłonie platformy, przed transgresją mioceńską, zachowały się fragmenty pokrywy fliszowej o zredukowanych miąższościach – których zasięg sedymentacyjny był przekraczający (ukośny) w stosunku do pozycji paleostrukuralnej potomnych nasunięć – to należy uznać nadrzędność kryteriów tektonicznych za podstawę wydzielania jednostek strukturalnych grupy brzeżnej.

W świetle przedstawionych opcji interpretacyjnych perspektyw odkrycia nowych złóż w sfałdowanych i nasuniętych pokrywach fliszowo-molasowych nie można uznać za optymistyczne:

- jeżeli fałdy wgłębne jednostki borysławsko-pokuckiej przedłużają się w postaci „elementów fliszowych” płaszczowiny stebnickiej lub wyklinowują się wzdłuż sigmoidy, to rozmiar subsydencji jednostek perykarpackich był zbyt mały, aby osiągnęły one „stan dojrzałości” do generowania węglowodorów;
- jeżeli przyjmiemy natomiast, że przedłużają się one pod nasunięciem płaszczowiny skolskiej, na południe od odwiertów Kuźmina-1 i Brzegi Dolne IG-1, to nie należy się spodziewać korzystnych własności zbiornikowych skał na tak dużych głębokościach.

Również szanse odkrycia złóż w płaszczowinie skolskiej omawianego obszaru są nikłe, wskutek głębokiego rozcięcia erozyjnego potencjalnych serii zbiornikowych, w odróżnieniu od wewnętrznego synklinorium tej płaszczowiny, w którym zachowało się kilka pól ropo- i gazonośnych.

W konsekwencji, potencjalne pułapki złożowe zachowały się jedynie w autochtonicznej serii mioceńskiej, dobrze uszczelnionej orogenem fliszowym, np. w strefach wyklinowywania się osadów miocenu lub ich ekranowania powierzchniami nasunięć bądź w położonych strukturach typu kompakcyjnego (Fig. 5). Niemniej, ich perspektywiczność uzależniona jest od parametrów zbiornikowych molas mioceńskich, które diametralnie pogarszają się w zapleczu SP, jak wykazały to profile wierceń. Stosunkowo najlepsze perspektywy

wiązać można ze strefą podniesionego skrzydła uskoku Kniażyc, w obrzeżeniu pola gazowego Przemyśl – Tuligłowy, a także na zachód/północny zachód, w obszarze zanurzania się pod Karpaty dolin erozyjnych podłoża z prawdopodobnym większym udziałem litofacji piaskowcowych.

PODSUMOWANIE

Dyskrepantny układ strukturalny jednostek allochtonicznych grupy brzeżnej, zwany SP (Fig. 1) – łączący polski i ukraiński segment łuku karpackiego (Fig. 1A) – był obiektem różnorodnych koncepcji interpretacyjnych z punktu widzenia jego tektogenezy i budowy geologicznej. Strefę tą cechuje drastyczna redukcja sekwencji litostratygraficznych osadów fliszowo-molasowych budujących pokrywy tektoniczne jednostek: borysławsko-pokuckiej i stebnickiej, rozwiniętych w Karpatach ukraińskich (Fig. 2). Stąd też, pomimo dobrego rozpoznania budowy wgłębnej S licznymi odwiertami i profilami sejsmicznymi, istnieją nadal sporne poglądy na temat kontynuacji jednostki borysławsko-pokuckiej w polskiej części Karpat, m.in. w kontekście identyfikacji strukturalnej tzw. płatów fliszowych w spągu płaszczowiny stebnickiej (Fig. 3).

Nowe modele budowy wgłębnej SP, prezentowane w publikacji, oparte są na geologicznej interpretacji profili sejsmicznych z lat 1994–1996, wykonanych przez Geofizykę Kraków Sp. z o.o., które poddano reprocessingowi poprzez zastosowanie zmodyfikowanej procedury ich przetwarzania, uzyskując zdecydowaną poprawę rozdzielczości i dynamiki sekcji sejsmicznych. Pierwszoplanowym obiektem interpretacji było odwzorowanie geometrii nasunięć płaszczowinowych i uskoków dyslokujących pokrywy allochtoniczne oraz tektoniki podłoża prekambryjskiego. Interpretację skomplikowanej tektoniki kompleksów litostratygraficznych, wydzielonych w obrazie mapy geologicznej i korelowanych z profilami wierceń, wspomagano sejsmogramami syntetycznymi (Fig. 4). Wyższy stopień trudności wiązał się z konturowaniem luki sedymentacyjnej (powierzchni rozmycia?) w stropie osadów młodszego eocenu – oligocenu epikontynentalnej facji fliszowej, przykrytych molasami wieku ottnang – karpat w obrębie płaszczowiny stebnickiej (Fig. 5). Lokalizacja płatów fliszowych (stwierdzonych m.in. w profilu otworu Huwniki-1) na tle mapy strukturalnej spągu płaszczowiny stebnickiej (Fig. 6) prowadzi do konkluzji, że zasięg sedymentacji fliszowej był przekraczający w stosunku do pozycji strukturalnej nasunięć tektonicznych SP.

Rozciągłość wgłębnych uskoków synsedymentacyjnych, typu listrycznego i wstecznego – dyslokujących podłoże autochtoniczne (Fig. 5), wykazuje znamienne zbieżność z powierzchnią intersekcją fałdów i nasunięć SP (Fig. 7). Prezentowane modele budowy wgłębnej podważają koncepcję strukturalnego przedłużenia fałdów wgłębnych jednostki borysławsko-pokuckiej pod nasunięciem płaszczowiny skolskiej, których hipotetycznego występowania nie stwierdzono w interpretowanych profilach sejsmicznych.

Szanse odkrycia złóż węglowodorów w nasuniętych pokrywach tektonicznych są niskie, wskutek głębokiego rozcięcia erozyjnego potencjalnych pułapek złożowych, jak i zbyt niskiego stopnia przeobrażenia termicznego osadów typu macierzystego. Potencjalna gazowość pułapek strukturalno-litologicznych, zlokalizowanych w obrębie autochtonicznych molas mioceńskich (Fig. 5) i dobrze uszczelnionych pokrywami allochtonicznymi, uzależniona jest od korzystnych cech zbiornikowych litotypów piaszczystych w ich profilu.

Prezentowane wyniki badań uzyskano w ramach realizacji polsko-ukraińskiego projektu badawczego nr DWM/1818-1/2N 2005 pt. „Badania transgraniczne wglębnych struktur geologicznych brzeżnej strefy Karpat w aspekcie odkryć i udostępnienia nowych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego”.

Autorzy serdecznie dziękują mgr. inż. Julianowi Krachowi za tłumaczenia anglojęzyczne i uwagi edytorskie.

LITERATURA

- Capik M., Górecki W., Kuśmierk J., Maćkowski T., Karpash O., Karpenko A., Omelchenko V. & Machula Z., 2006. Polsko-ukraińska współpraca w prospekcji naftowej transgranicznej strefy Karpat: perspektywy i zamierzenia. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 2 (238), 103–108.
- Cisek B. & Czernicki J., 1988. Złoże gazu Przemysł oraz perspektywy poszukiwania ropy i gazu w rejonie przemyskim. *Przegląd Geologiczny*, 36, 6, 334–338.
- Dziadzio P. & Jachowicz M., 1996. Budowa podłoża utworów miocenu na SW od wyniesienia Lubaczowa. *Przegląd Geologiczny*, 44, 11, 1124–1130.
- Gluško V.V., 1968. *Tektonika i neftegazonosnost' Karpat i prilegajusćih progibov*. Nedra, Moskva, 1–263.
- Gluško V.V., Lozynák P.Û. & Petraškevič M.I., 1984. O strukturze predkarpatskiego progiba. W: *Geologija Sovetskih Karpat*, Naukova Dumka, Kiev, 46–55.
- Głowacki E., 1964. Aktualny przekrój geologiczny przez jednostkę stebnicką na południe od Przemysła. *Geofizyka i Geologia Naftowa*, 10–12, 319–324.
- Głowacki E., Jurkiewicz H. & Karnkowski P., 1966. Geologia rejonu Przemysła w świetle głębokich wierceń. *Kwartalnik Geologiczny*, 10, 1, 211–249.
- Jankowski L., Kopciowski R. & Ryłko W., 2005. *Geological Map of the Outer Carpathians: Borderlands of Poland, Ukraine and Slovakia (1: 200000)*. Wydawnictwo Państwowego Instytutu Geologicznego.
- Jawor E. & Baran U., 2008. Uskoki i ich rola w formowaniu pułapek i złóż ropy i gazu w platformowym podłożu przedgórz i Karpat. *Nafta – Gaz*, 2, 71–83.
- Jucha S., 1969. Utwory paleogenu w głębokich wierceniach w rejonie Przemysła. *Sprawozdanie z posiedzeń Komitetu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk Oddział Kraków*, 563–565.
- Karnkowski P., 1991. Zagadnienie fałdów wglębnych w Karpatach. *Przegląd Geologiczny*, 39, 9, 377–382.
- Karnkowski P., 1995. Problematyka poszukiwawcza w rejonie na południe od Przemysła. *Nafta – Gaz*, 10, 377–389.
- Karnkowski P., 1993. *Złóża ropy naftowej i gazu ziemnego w Polsce. T. 2: Karpaty i zapadlisko przedkarpackie*. Wydawnictwo Geosynoptyków „Geos”, Kraków, 1–256.
- Kolodij V.V., Bojko G.Û., Bojčevs'ka L.E. et al., 2004. *Karpats'ka naftogazonosna provincija*. Ukrainsk'ij Vidavničij Centr, L'viv – Kiiv, 1–387.

- Konarski E., 1972. Budowa geologiczna rejonu Przemyśla w świetle głębokich wierceń i ostatnich prac sejsmicznych wykonanych w 1969 i 1970 roku. *Geofizyka i Geologia Naftowa*, 1–2, 1–6.
- Kotlarczyk J., 1978. Stratygrafia formacji z Ropianki (fm), czyli warstw inoceramowych w jednostce skolskiej Karpat fliszowych. *Prace Geologiczne Oddziału Polskiej Akademii Nauk w Krakowie*, 108, 1–82.
- Kotlarczyk J., 1985. An outline of the stratigraphy of marginal tectonic units of the Carpathian orogen in the Rzeszów – Przemyśl area. *Carpatho-Balkan Geological Association XIII Congress, Cracow, Poland, Guide to excursion*, 4, 21–32, 39–64.
- Kotlarczyk J., 1988. Geologia Karpat przemyskich – Szkic do portretu. *Przegląd Geologiczny*, 36, 6, 325–333.
- Książkiewicz M., 1972. *Budowa geologiczna Polski. T. IV: Tektonika. Cz. 3: Karpaty*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 228, 1–228.
- Kuśmierek J., 1984. Uzasadnienie perspektyw ropo- i gazonośności formacji fliszowej we wschodniej części Karpat Polskich i propozycje udokumentowania zasobów, Zagadnienia Surowców Energetycznych w Gospodarce Krajowej. *Materiały na Konferencję Komitetu Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polskiej Akademii Nauk*, 27–51.
- Maksym A., Liszka B., Pietrusiak M., Staryszak G. & Śmist P., 1998. Litostratygrafia i perspektywność dewonu w obszarze Bratkowice – Rzeszów. *Nafta – Gaz*, 54, 7–8, 289–293.
- Marecik T., Pieniądz K. & Smolarski L., 2008. Metodyka wybranych procedur przetwarzania danych sejsmicznych z obszaru sigmoidy przemyskiej. *Geologia* (kwartalnik AGH), 34, 3, 527–540.
- Ney R. 1968. Rola rygla krakowskiego w geologii Zapadliska Przedkarpackiego i rozmieszczeniu złóż ropy i gazu. *Prace Geologiczne Polskiej Akademii Nauk*, 45, 1–82.
- Nowak J., 1927. Zarys tektoniki Polski. *II Zjazd Słowiańskich Geografów i Etnografów w Polsce*, Kraków, 1–160.
- Olewicz Z.R., 1978. Problem występowania fałdów wgłębnych w polskich Karpatach fliszowych i kierunki ich poszukiwań. *Prace Instytutu Górnictwa Nafty i Gazu*, 25, 49–58.
- Połowicz S., 2004. Jednostka stebnicka i zgłobicka w budowie Karpat Polskich. *Geologia* (kwartalnik AGH), 30, 1, 85–120.
- Samojluk A.P., 1976. Zagadnienie tektoniki strefy borysławsko-pokuckiej Zapadliska Przedkarpackiego. *Nafta*, 9, 293–301.
- Świdziński H., 1971. O rozmiarach przesunięć poziomych w północnych Karpatach fliszowych. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego*, XLI, 1, 181–211.
- Wdowiarz S. & Jucha S., 1969. Zagadnienie fałdów wgłębnych w Karpatach Polskich. *Zeszyty Naukowe AGH Geologia*, 206, 15, 101–118.
- Wdowiarz S. & Jucha S., 1981. North-Western extension of the Borislav-Pokutse zon of deep-seated folds In the Polish Carpathians. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 335, 7–22.

- Wilczyński Z., 1961. Nasunięcie stebnickie w okolicy Przemysła i jego element fliszowy. *Nafta*, 9, 241–246.
- Zieliński J. J., 1963. Odkrycie fliszowego fałdu wgłębnego w rejonie Przemysła. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego*, XXXIII, 3, 387–395.
- Żyto K., 1965. Próba wyznaczenia strefy fałdów wgłębnych w Polsce na podstawie analizy powierzchniowej tektoniki Karpat. *Kwartalnik Geologiczny*, 9, 942–943.
- Dokumentacje wynikowe otworów i materiały archiwalne Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa.

Summary

The discrepant structural system of allochthonous units of the Marginal Group named the Przemysł Sigmoid (PS) (Fig. 1), which connects the Polish and Ukrainian segments of the Carpathian arc (Fig. 1A), was an object of various interpretive concepts of its tectogenesis and geologic structure. This zone is characterized by severe reduction of lithostratigraphic sequences of flysch and molasse deposits which build up tectonic covers of the Boryslav-Pokutya and Stebnik units developed in the Ukrainian Carpathians (Fig. 2). Therefore, in spite of good recognition of the geologic structure of the Przemysł Sigmoid by numerous boreholes and seismic sections, controversial views still exist regarding the problem of extension of the Boryslav-Pokutya Unit into the Polish Carpathians, among others in the context of structural identification of so named flysch patches at the bottom of the Stebnik Nappe (Fig. 3).

The new models of the deep structure of PS, presented in this publication, are based on geological interpretation of seismic sections made by Geofizyka Kraków in the years 1994–1996, which were reprocessed with application of a modified processing procedure. This enabled decided improvement of resolution and dynamics of the seismic sections. Imaging of the geometry of the nappe overthrusts and faults dislocating the allochthonous covers, as well as the tectonics of the Precambrian basement, were the principal objects of the interpretation. This interpretation of the complicated tectonics of the lithostratigraphic complexes, distinguished in the image of the geologic map and correlated with borehole sections, was supported by synthetic seismograms (Fig. 4). Greater difficulties were related to contouring of the sedimentary gap at the top of Late Eocene – Oligocene deposits of the epicontinental flysch facies, which were covered by Ottnangian – Karpatian molasses within the Stebnik Nappe (Fig. 5). The location of the flysch patches (encountered among others in the Huwniki-1 borehole section) against the background of the structural map of the bottom of the Stebnik Nappe (Fig. 6) leads to the conclusion that the extent of flysch deposition was overlapping in relation to the structural position of the PS tectonic overthrusts. Strikes of deep-seated synsedimentary faults of listric and thrust types, which dislocate the autochthonous basement (Fig. 5), indicate characteristic congruence with surface intersection of the PS folds and thrusts (Fig. 7). The presented models of the sub-surface structure deny the conception of the structural extension of deep-seated folds of the Boryslav-Pokutya Unit under the Skole Nappe overthrust; their hypothetical occurrence was not evidenced by the interpreted seismic sections.

Prospects for hydrocarbon discoveries in the thrust tectonic covers are poor due to deep erosional dissection of potential reservoir traps and too low degree of thermal transformation of sediments of the source type. Potential gas-productivity of structural-lithologic traps in the cover composed of autochthonous Miocene molasses (Fig. 5) and well sealed by allochthonous covers depends on favourable reservoir properties of sandy lithotypes in the section of the former deposits.

The presented results were obtained within the framework of realization of the Polish-Ukrainian research project No DWM/1818-1/2N 2005 entitled *Transfrontier studies of deep-seated geologic structures in the marginal zone of the Carpathians from the point of view of potential discovery and development of new oil and gas fields.*

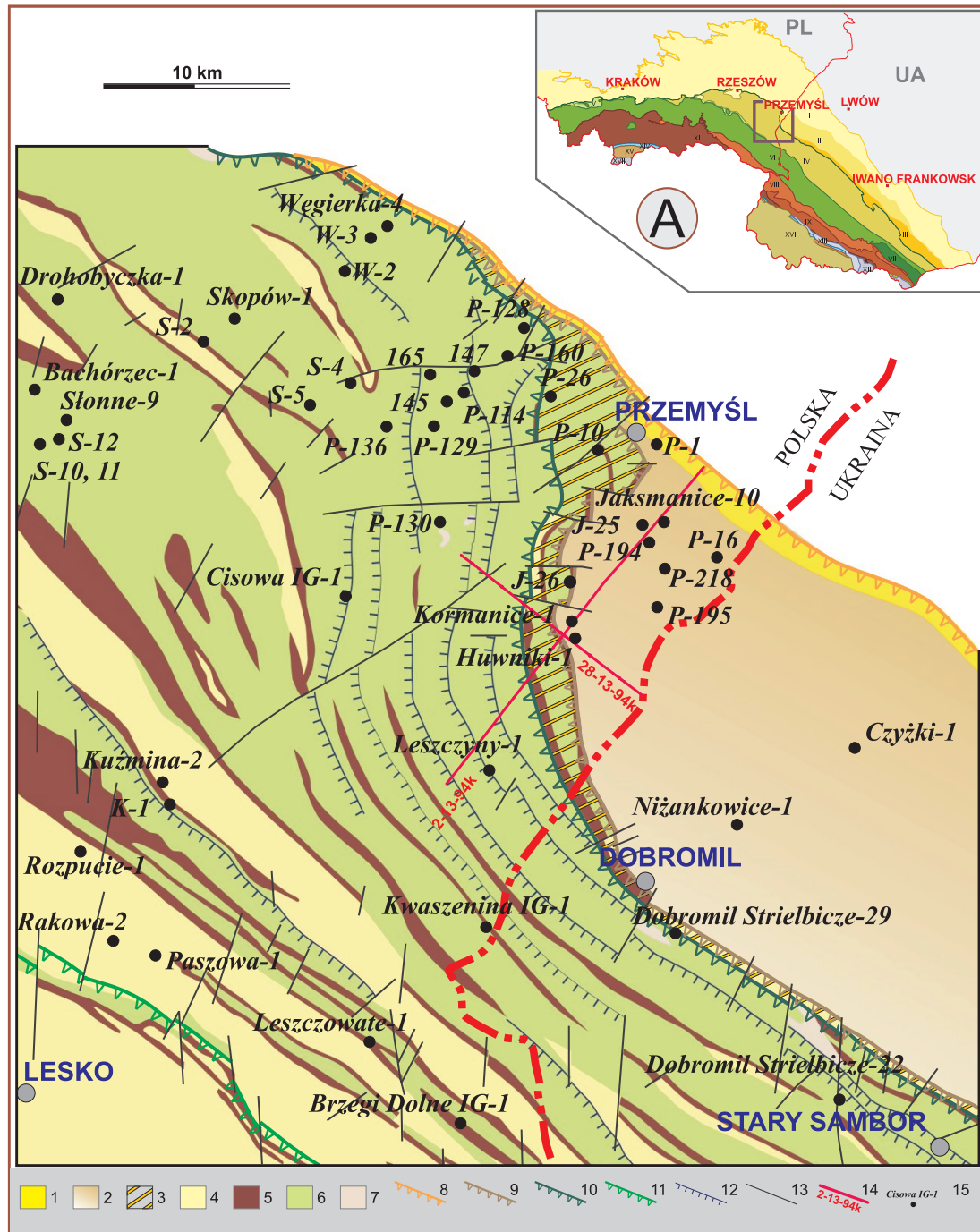


Fig. 1. Szkic strukturalny Karpat w strefie sigmoidy przemyskiej. Płaszczyzny i jednostki allochtoniczne: 1 – zglobicka, 2 – stebnicka, 3 – boryslawsko-pokucka (wg Jankowskiego *et al.* 2004). Kompleksy osadowe: 4 – młodszego oligocenu i najstarszego miocenu (warstwy krośnieńskie w obrębie płaszczowiny śląskiej, warstwy krośnieńskie i worotyjszczańskie w obrębie płaszczowiny skolskiej), 5 – warstwy menilitowe (starszy oligocen), 6 – kredy i eocenu (starsze od warstw menilitowych), 7 – płyty miocenu na fliszu. Nasunięcia płaszczowin i jednostek: 8 – miocenu allochtonicznego, 9 – boryslawsko-pokuckiej, 10 – skolskiej, 11 – śląskiej, 12 – nasunięcia drugorzędne, 13 – uskoki, 14 – przekroje sejsmiczne, 15 – otwory wiertnicze. Jednostki geostrukturalne Karpat polskich i ukraińskich (Fig. 1A): I – zapadlisko przedkarpackie, część zewnętrzna (bilcze-wolicka), II – stebnicka (samborska), III – boryslawsko-pokucka, IV – skolska (skibowa), V – podśląska, VI – śląska (krośnieńska), VII – czarnohorska, VIII – dukielska, IX – porkulecka, X – rachowska, XI – magurska, XII – marmaroski masyw krystaliczny, XIII – pokrywa osadowa masywu marmaroskiego, XIV – Pieniński Pas Skałkowy, XV – niecka podhalańska, XVI – zapadlisko zakarpacie, XVII – Tatry; obszar badań zaznaczono ramką

Fig. 1. Structural sketch of the Carpathians in the zone of the Przemyśl Pigmoïd. Nappes and allochthonous units: 1 – Zglobice, 2 – Stebnik, 3 – Boryslav-Pokutyta (after Jankowski *et al.* 2004). Sedimentary complexes: 4 – Late Oligocene and earliest Miocene (Krosno Beds within the Silesian Unit; Krosno Beds and Vorotyshche Beds within the Skole Unit), 5 – Menilite Beds (Early Oligocene), 6 – Cretaceous and Eocene (older than the Menilite Beds), 7 – Miocene patches on flysch. Overthrusts of nappes and Units: 8 – Allochthonous Miocene, 9 – Boryslav-Pokutyta, 10 – Skole, 11 – Silesian, 12 – minor overthrusts; 13 – faults; 14 – seismic cross-sections; 15 – boreholes. Geostruktural units of the Polish and Ukrainian Carpathians (fig. 1A): I – Carpathian Foredeep, outer part (Bilche-Volytsia), II – Stebnik (Sambir), III – Boryslav-Pokutyta, IV – Skole (Skyba), V – Sub-Silesian, VI – Silesian (Krosno), VII – Chornohora, VIII – Dukla, IX – Porkulets, X – Rakhiv, XI – Magura, XII – Maramuresh Crystalline Massif, XIII – sedimentary cover of the Maramuresh Massif, XIV – Pieniny Klippen Belt, XV – Podhale Trough, XVI – Trans-Carpathian foredeep, XVII – Tatra Mts. Study area marked by the box