

Geologiczno-geofizyczna interpretacja podkarpackich struktur gazonośnych dewonu na obszarze Lachowice–Stryszawa

Kaja Pietsch*, Wojciech Strzetelski**, Jadwiga Jarzyna*, Wojciech Górecki**

Zamiarem autorów było wykazanie przydatności kompleksowego podejścia do problematyki poszukiwań naftowych, które wymaga ścisłego współdziałania geologów i geofizyków. Zwolennikiem tego rodzaju kompleksowej metodyki badań był zawsze Stanisław Małoszewski, pod którego długoletnim kierownictwem mieliśmy zaszczyt wszyscy pracować.

Czując się Jego wychowanekami, pozwalamy sobie dedykować ten artykuł Profesorowi Stanisławowi Małoszewskiemu z okazji Jego 75 urodzin.

Wprowadzenie

W ciągu ostatniego ćwierćwiecza rozwijano poszukiwania naftowe w zachodniej części polskich Karpat fliszowych, w wyniku których wiele głębokich wierceń np. w rejonie Limanowej–Słupnicy, Zawoi–Lachowice–Suchej Beskidzkiej dostarczyło istotnych informacji odnoszących się zarówno do budowy geologicznej sfałdowanego fliszu, jak i jego autochtonicznego podłoża. Początkowo, głównym obiektem poszukiwań były struktury fliszowe, szczególnie głębiej położone i tektonicznie względnie łagodniejsze elementy podmagurskie, w których odkryto kilka złóż ropy i gazu. Jednak ogólnie niskie właściwości zbiornikowe tej części utworów fliszowych, uwarunkowane głównie rozwojem szczelinowatości, powodują szybkie spadki wydobywania (Lenk, 1983; Jawor, 1984; 1989). Podjęto zatem penetrację podłoża autochtonicznego, dla której szczególne możliwości stwarzało płaskie ułożenie i daleki zasięg nasunięcia zachodniej części polskich Karpat fliszowych.

Gazonośność autochtonicznego miocenu podkarpackiego została potwierdzona odkryciem wielu złóż wzdłuż samego czoła nasunięcia.

Wyniki wierceń Sucha IG 1, Lachowice 1 i Zawoja 1 ujawniły bardzo dalekie przedłużenie miocenu autochtonicznego pod Karpatami, co najmniej o 20–40 km na południe od frontu nasunięcia (Karnkowski, 1986; Jawor, 1984). W otw. Zawoja na głęb. 4025–4825 m nawiercono utwory ilasto-mułowcowe ze zlepieńcami pochodzenia fliszowego, reprezentujące niższy miocen (karpat), w których obserwowano ślady gazu i ropy. Jednocześnie tym samym otworem na głęb. 4858–5023 m nawiercono węglonośne utwory karbonu górnego (piaskowce i zlepieńce z wkładkami iłowców), w których również wystąpiły objawy naftowe (Jawor, 1989). Stwierdzono więc istnienie dalekiego, południowego przedłużenia karbonu górnośląskiego pod zachodnią częścią polskich Karpat fliszowych. Ponadto liczne objawy węglowodorów obserwowano w strefie Bielsko-Biała–Andrychów–Wadowice (Wysoka) u czoła Karpat Zachodnich, nie tylko w utworach karbonu lecz także dewonu. Złoże Lachowice odkryte w utworach węglanowych górnego dewonu potwierdziło ostatecznie gazonośność tej formacji (Jawor, 1984).

Dotychczasowe odkrycia potwierdzają nowe możliwości poszukiwań naftowych w podłożu zachodniej części

polskich Karpat fliszowych, zarówno w obrębie południowego przedłużenia miocenu autochtonicznego, jak i platformowych utworów dewonu i karbonu.

Szczególną rolę w poszukiwaniu złóż ropy i gazu w Karpatach odgrywały i nadal odgrywają badania sejsmiczne, których wyniki umożliwiają w wielu przypadkach przestrzenną lokalizację strukturalnych pułapek złożowych. Dynamiczny rozwój metodyki badań w ostatnich latach (zaawansowany processing, sejsmika trójwymiarowa) stworzył możliwość śledzenia w rejestrowanym zapisie sejsmicznym powierzchni nasunięcia sfałdowanego fliszu, spągu miocenu autochtonicznego, a także niektórych refleksów pochodzących od platformowego podłoża paleozoicznego daleko na południe, szczególnie pod płaską pokrywą Karpat Zachodnich (Nowotarski, 1987; Nowotarski & Przybyło, 1989). Pomimo niewątpliwego postępu pełna jednoznaczność i geologiczna czytelność przekrojów sejsmicznych, rejestrowanych w Karpatach, pozostaje nadal celem badań geofizycznych. Pomocne przy geologicznej interpretacji, szczególnie przy reprocessingu starych materiałów sejsmicznych, może być modelowanie teoretycznego pola falowego. Stanowi ono podstawę do identyfikacji w zapisie sejsmicznym fal użytecznych i zakłócających oraz geologicznego dowiązania śledzonych granic sejsmicznych. Modelowania takie mogłyby być realizowane w trakcie rutynowej pracy grup sejsmicznych, ponieważ istniejące w Zakładzie Geofizyki oprogramowanie stwarza takie możliwości. Proponowane modelowanie wymaga jednak opracowania (na podstawie danych geologicznych i geofizycznych) modeli sejsmogeologicznych, stawiających koncepcję budowy górotworu.

Pierwsze sukcesy poszukiwawczo-naftowe na dalekim, południowym zapleczu Karpat Zachodnich osiągnięto otw. Lachowice 1, gdzie pod pokrywą sfałdowanego fliszu o grubości 3200 m i 750-metrowym przykryciem uszczelniających utworów miocenu, uzyskano przyływ gazu z utworów węglanowych dewonu (Jawor, 1984). Odkrycie złoża gazu ziemnego Lachowice dało asumpt do penetracji kolejnej struktury podłoża paleozoicznego, jakim jest wyniesienie Stryszawy, położone ok. 4 km na NE w kierunku Suchej Beskidzkiej. Na wyniesieniu tym, otw. Lachowice 7 odkryto na głęb. –2254 m następne złożo gazu w utworach węglanowych dewonu (Baran i in., 1995). Prowadzony stąd (w 1995 r.) otwór kierunkowy Stryszawa 1K, odchodzący o 900 m na WNW od otworu pionowego Lachowice 7, nawiercił strop dewonu o 155 m niżej, wchodząc w strefę poza złożową.

Ten właśnie fragment został potraktowany przez autorów niniejszego artykułu jako obszar modelowy do kompleksowej geologiczno-geofizycznej interpretacji. W obszarze tym podjęto próbę możliwie najbardziej wiarygodnego odtworzenia stylu budowy geologicznej rejonu Lachowice–Stryszawa, mając na względzie możliwości poszukiwawcze w obrębie autochtonicznego podłoża paleozoicznego zachodniego odcinka Karpat fliszowych.

Kompleksową interpretację danych geofizycznych i geologicznych przeprowadzono na podstawie dotychczasowego zdjęcia sejsmicznego oraz wyników profilowań geofizyki wiertniczej w połączeniu z informacją geologiczną o budowie i wynikach poszukiwań naftowych w badanym rejonie.

*Zakład Geofizyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

**Zakład Surowców Energetycznych, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Pomiary geofizyczne w otworach (Dokumentacja ZG–Kraków, 1995 a; 1995 b) wykorzystano przede wszystkim do oceny litologii oraz do wyznaczenia współczynników porowatości i nasycenia badanych poziomów. Przeprowadzono także interpretację profilowania upadu warstw, które wykorzystano do konstrukcji modelu litostratygraficzno-tektonicznego na odcinku Lachowice 7–Stryszawa 1K.

Szczegółowa analiza profilowania akustycznego oraz gęstościowego pozwoliła na określenie prędkości interwałowych i gęstości objętościowych, na podstawie których obliczono współczynniki odbicia. Informacja ta była podstawą konstrukcji modelu litologiczno-prędkościowego, który stanowił punkt wyjścia przy konstrukcji sejsmogramów syntetycznych.

Ocenę przebiegu sejsmicznych granic paleozoicznych w obrębie struktury Lachowice–Stryszawa wykonano na podstawie czasowych przekrojów sejsmicznych w wersji sum końcowych i po migracji. Wszystkie wykorzystane profile sejsmiczne (Opracowanie ..., 1976; 1986/87; 1989/91) były poddane reprocessingowi w czerwcu 1995 r. w Zakładzie Geofizyka - Kraków (Opracowanie ..., 1995).

Kryteria interpretacji pola falowego opracowano na podstawie syntetycznego profilu sejsmicznego skonstruowanego dla przekroju sejsmogeologicznego, przechodzącego przez odwierty Lachowice 7 i Stryszawa 1K.

Budowa geologiczna i poszukiwania naftowe w podłożu paleozoicznym zachodnich Karpat fliszowych

Rejon Lachowice–Stryszawa położony jest k. Suchej Beskidzkiej u czoła nasunięcia magurskiego, w zachodniej części polskich Karpat fliszowych. Ze względu na odkryte tu akumulacje gazu w platformowych utworach dewonu (złóże Lachowice — otw. Lachowice 1 i złóże Stryszawa — otw. Lachowice 7), przedmiotem przedstawionej interpretacji geologiczno-geofizycznej będzie głównie budowa i ropo-gazoność utworów paleozoicznych, uszczelnionych podkarpackim mioceniem autochtonicznym, zalegającym pod pokrywą fliszu karpackiego o miąższości 2500–3200 m. Podłoże paleozoiczne tego rejonu stanowi dalekie SE przedłużenie bloku górnośląskiego (GZW) z dolnym piętrzem prekambryjsko-wczesnokaledońskim (Pożaryski i in., 1992) oraz zredukowaną erozyjnie, stosunkowo płaską pokrywą piętra waryscyjskiego. Paleowyniesienia pokaledońskie utrzymywały się w epoce waryscyjskiej w postaci bloków oddziaływujących jeszcze w ciągu permu i triasu, aż do ostatecznego zaniku w okresie jurajskim (Karnkowski, 1993).

W zachodniej części przedgórze, w spągu miocenu, jest zachowana rzeźba dawnej sieci rzecznej, z wcięciami paleodolinami rozszerzającymi się i pogłębiającymi ku S i SE pod Karpaty. Ta urozmaicona paleomorfologia wpływa na wzrost zapiaszczenia dolnej części miocenu wypełniającego pogrzebane koryta, stwarzając możliwość występowania gazonośnych pułapek litologicznych (Jawor, 1982). Nie wiadomo jednak, jak daleko tego rodzaju układ sięga na południe. Ogólny wzrost zailenia i spadek właściwości zbiornikowych powodują, iż w strefie Zawoja–Lachowice–Sucha Beskidzka utwory miocenu spełniają raczej rolę poziomów uszczelniających w stosunku do horyzontów paleozoicznych. Spąg miocenu tworzy tu nadal bardzo urozmaiconą powierzchnię morfologiczno-tektoniczną, podczas gdy jego strop ścięty jest niemal gładką płaszczyzną nasunięcia podkarpackiego. Stąd śledzenie granic miocenu, ewentualnie jego miąższości, jakkolwiek sejsmicznie trudne, może mieć istotne znaczenie do trafnej lokalizacji struktur paleozoicznych.

Piętro waryscyjskie składa się z utworów dewonu i karbonu, w których już dawniej obserwowano liczne objawy ropy i gazu w strefie Bielsko-Biała–Andrychów–Wysoka (Konior, 1963; 1965a; 1995b; 1974). Utwory dewonu zalegają wprost na podłożu prekambryjskim lub zerodowanymi fragmentami starszego paleozoiku. Kąt upadu utworów dewonu z reguły nie przekraczający kilku stopni, wzrasta do kilkudziesięciu stopni w strefach przydyslokacyjnych.

Profil dewonu jest dwudzielny — w dewonie dolnym dominują pstry piaskowce i czerwone łupki, tworzące serię oldredu, o miąższości od kilkudziesięciu do 100–200 m (Karnkowski & Głowacki, 1961; Tokarski, 1962; 1964; Roszek & Siedlecki, 1963; Konior, 1965 a; b), a dewon środkowy i górny reprezentowany jest przez utwory węglanowe.

W dewonie środkowym (transgresja od eiflu) pojawiają się zbite dolomity krystaliczne i wapienie dolomityczne o miąższości do 200 m. Na drobnoziarnistym kalcytowym tle obserwuje się nieregularne przejścia w dolomit, wynikające z dolomityzacji metasomatycznej. Wydaje się, iż stopień dolomityzacji wzrasta wraz z głębokością ku południowi. Silne przeobrażenia postdiagenetyczne powodują, że pory są w dużym stopniu wypełnione kolejnymi generacjami dolomitu, a w końcu anhydrytu. W stropie i spągu obserwuje się wzrost zailenia (Górska i in., 1978).

Profil dewonu górnego (fran–famen) tworzą dolomity, wapienie i margle. Na zachód, od południka Krakowa, zaznacza się wzrost miąższości dewonu środkowego i górnego (Sas-Korczyński, 1989). Na płycznach pojawiają się wapienie biohermowe i biostromowe franu, przechodzące obocznie w facje węglanowo-ilaste dominujące w paleoobniżeniach. W famenie obok dolomitów pojawiają się wapienie drobnokrystaliczne i margliste z przewarstwieniami margli.

W podłożu zachodniej części polskich Karpat fliszowych, w strefie Lachowice–Żywiec–Bielsko-Biała utwory karbonu są zasadniczo erozyjnie zdjęte, a dewon jest bezpośrednio przykryty i uszczelniony podkarpackim mioceniem autochtonicznym. Utwory karbonu pojawiają się przeważnie dopiero w otaczających paleodepresjach na SSW od Bielska-Białej (Cieszyn–Ustronie–Wiśla) i na wschód od linii Bielsko-Lachowice (Baran i in., 1995). Piętro mezozoiczne autochtonicznego podłoża Karpat pojawia się jeszcze dalej na wschód od linii Spytkowice–Kalwaria Zebrzydowska–Mszana Dolna, tj. ponad blokiem Rzeszotar.

W otw. Lachowice 1 (4525 m), odkrywczym dla złoża gazu Lachowice (ryc. 7), utwory węglanowe dewonu środkowego i górnego, o miąższości 185 m, przewiercono na głęb. 3950–4135 m pod przykryciem 750 m miocenu autochtonicznego oraz sfaldowanego fliszu o grubości 3200 m. Po perforacji i kwasowaniu w przystropowym interwale dewonu (górnego?), na głęb. 3450–4060 m, uzyskano przepływ $V_p=115 \text{ m}^3/\text{min}$ gazu i kondensatu z mikroszczelinowatych wapieni i dolomitów przy ciśnieniu złożowym $P_{ds}=50,84 \text{ Mpa}$ (Jawor, 1984; 1992). Poniżej, do głęb. 4136 m, występowały piaskowce i mułowce dewonu dolnego, a pod nimi utwory syluru i górnego prekambru (Karnkowski, 1989).

W sąsiednim otw. Lachowice 2 (ryc. 7) pod nasunięciem Karpat (3005 m), mioceniem autochtonicznym (3597 m) i wapieniami karbonu dolnego (3612 m) stwierdzono utwory węglanowe dewonu o podobnej miąższości jak w L 1. Wapienie te, mimo iż nawiercono je o 350 m wyżej, okazały się zawodnione. Pułapka złożowa Lachowic jawiła się więc jako element bardziej skomplikowany aniżeli pierwotnie sądzono (Jawor, 1989). Obecnie można sądzić, że jest to pułapka strukturalno-tektoniczno-stratygraficzna, związana z przydyslokacyjną strefą poerozyjno-szczelinową, położo-

na zrzuconym skrzydle ekranującego uskoku równoleżnikowego. Obszar pułapki wynosi ok. 10 km², wysokość złoza może przekraczać 100 m, a zasoby są szacowane na 5–10 mln m³ gazu (Jawor, 1992; Karnkowski, 1993).

Utwory karbonu dolnego na obszarze zapadliska występują od Rzeszowa na wschodzie po Andrychów–Bielsko-Białą na zachodzie. W strefie zachodniej, blok górnośląski charakteryzował się ciągłością sedimentacji płytkich facji platformowych od górnego dewonu do turneju–środkowego wizeny. Turnej jest tu reprezentowany przez wapień detrytyczne z przewarstwowaniami wapieni kawernistych, o miąższość do 90 m. Wizen dolny tworzą kawerniste wapień mikrytowe o miąższości do 68 m, przykryte serią ciemnych iłowców, mułowców i cienkich piaskowców, w facji kulmu (Zajac, 1995). Jak już wspomniano, w otworze Zawoja 1 pod 800-metrowym przykryciem podkarpackiego miocenu autochtonicznego, na głęb. 4858 m, nawiercono utwory karbonu górnego z objawami ropy i gazu (Jawor, 1989).

Rekonstrukcja budowy geologicznej podłoża autochtonicznego

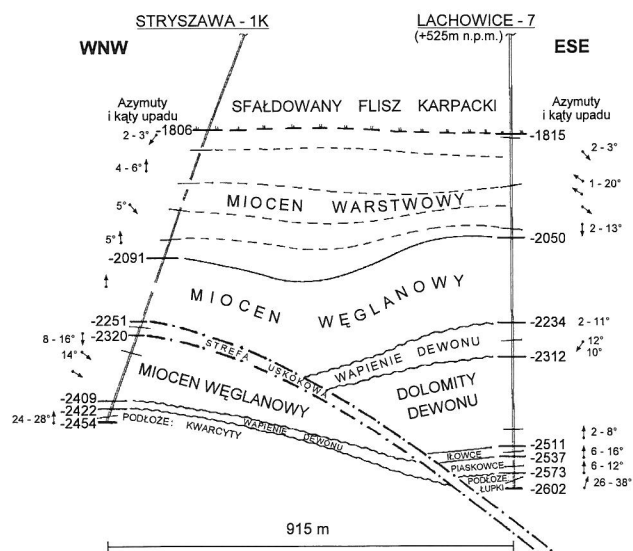
Po odkryciu podkarpackiego złoza gazu Lachowice, pierwszym wierceniem penetrującym wyniesieniu Stryszawy był otwór Lachowice 7, który po przewierceniu 2340 m sfałdowanego fliszu i ok. 235 m miocenu autochtonicznego, wszedł w podłoże paleozoiczne na głęb. 2759 m (-2234 m). Według Baran, Jawora i Jawor (1995) pierwsze 39 m utworów górnej części profilu paleozoicznego (głęb. od -2234 do -2274 m) reprezentuje karbon dolny. Sugestii tej nie uwzględniono jednak na przekroju (ryc. 1), uznając kwestię za otwartą. Odcinek ten zaliczono wstępnie do kompleksu określanego jako wapień dewonu o sumarycznej miąższości 78 m (głęb. od -2234 do -2312 m). Poniżej wydzielono kompleks dolomitów dewonu o miąższości 199 m (głęb. od -2312 do -2511 m). W obrębie serii wapiennej oraz w stropowej części dolomitów (ok. od -2245 do -2325 m), drogą perforacji i kwasowania w czterech interwałach, uzyskano produkcję gazu o wydajności 88,54 m³/min przy ciśnieniu złożowym 26,46 MPa na głębokości 2854 m (Baran i in., 1995). Gaz zawiera znaczną ilość węglowodorów cięższych (C₃₊ = 66,8 g/m³) do C₇ włącznie, co świadczy także o możliwej roponośności dewonu, którego poziomy macierzyste mogły się już znajdować w stadium przeobrażeń do fazy gazu mokrego. Poniżej kompleksu dolomitowego występuje warstwa iłowców o miąższości 26 m (głęb. od -2511 do -2537 m), również zaliczana do dewonu oraz 36 m kompleks piaskowców o bardzo dobrych właściwościach zbiornikowych, reprezentujący być może dolny dewon (oldredowy) lub też starszy paleozoik (kambr?). Piaskowiec ten spoczywa na łupkach podłoża prekambryjskiego (eokambr?). Sądząc, iż nienaruszony tektonicznie wierzchołek struktury Stryszawy znajduje się na NW od otw. Lachowice 7, odwiercono otwór kierunkowy (azymut 291°) Stryszawa 1K (ZPNiG Kraków), który w końcowej głęb. 3141 m (-2454 m) odchylił się od poprzedniego na odległość 900 m (ryc. 1 i 7). Otwór ten osiągnął nasunięcie Karpat fliszowych na niemal tej samej głęb. (-2091 m), a następnie przebijając utwory miocenu autochtonicznego o miąższości 285 m (zwiększonej o 50 m w stosunku do poprzedniego), przewiercił zaledwie 13 m zawodnionych wapieni dewońskich, wchodząc na głęb. -2422 m w kwarcyty podłoża prekambryjskiego (ryc. 1). Tak więc strop dewonu w otw. Stryszawa 1K pojawił się niespodziewanie o 175 m niżej aniżeli w otw.

Lachowice 7, zaś miąższość, płonych tym razem, utworów węglanowych okazała się zredukowana o 326 m.

Mimo tak dużych zmian na dystansie zaledwie 900 m, podjęto próbę korelacji podkarpackich odcinków profili obydwu wierceń, wykorzystując wyniki interpretacji wykonanej w Ośrodku Interpretacji i Metodyki Geofizyki Wiertniczej Zakładu Geofizyka, Kraków. Wyniki te zestawiono w tab. 1. Dla wiercenia kierunkowego Stryszawa 1K, obok głębokości zalegania poziomów wg profilowań geofizycznych wzdłuż linii otworu, podano głębokości zredukowane do pionu oraz głębokości bezwzględne (tab. 1), co umożliwiło konstrukcję podkarpackiego odcinka przekroju geologicznego (ryc. 1).

Profil otw. Lachowice 7 został przyjęty jako podstawa do konstrukcji modelu sejsmicznego. W tym celu wyznaczono prędkości interwałowe na podstawie profilowania akustycznego oraz dobrano gęstości objętościowe poziomów w oparciu o profilowanie gęstościowe. Parametry te zostały wykorzystane do obliczenia współczynników odbicia na granicach warstw. W obrębie kompleksów mioceńskich i dewońskich (tab. 1) zaznaczono również poziomy stropowe stanowiące granice refleksyjne śledzone na sejsmicznych przekrojach czasowych.

Przeanalizowano także wyniki profilowania upadu warstw (PUW) w celu weryfikacji wydzieleni oraz lokalizacji niezgodności i uskoku. Azymuty i kąty upadu warstw, przeliczone na kąty pozorne, naniesiono na przekrój geologiczny Lachowice 7–Stryszawa 1K (ryc.1). Idąc w górę profilu w otw. Lachowice 7 na łupkach podłoża (eokambru) o znacznych upadach (26–38° NE) zalegają niezgodnie piaskowce D7 (tab. 1) nieustalonego wieku, które wraz z wyżej leżącymi iłowcami dewońskimi D6 tworzą układ zgodny o upadach 6–16° NE. Wskazywałoby to na również dewoński (ściślej dolnodewoński) wiek piaskowców (oldredowych?) i tak też zostały one potraktowane. Nadal ten sam upad północny o kątach zmniejszonych do 2–8° charakteryzuje



Ryc. 1. Przekrój geologiczny autochtonicznego podłoża Karpat pomiędzy pionowym otw. Lachowice 7 a kierunkowym otw. Stryszawa 1K; zaznaczono głębokości bezwzględne granic litostratigraficznych oraz przeważające kierunki i kąty upadu dla: podłoża prekambryjskiego (łupki, kwarcyty), piaskowców i iłowców (prawdopodobnie dewon dolny), dolomitów dewonu (prawdopodobnie dewon środkowy–górnny), wapieni dewonu (famen–wizen?), miocenu „węglanowego” (brekcje, zlepienie nie wysortowane piaskowce z fragmentami wapieni podłoża), miocenu „warstwowego” (warstwowane utwory piaszczysto-ilaste)

Tab. 1. Wyniki interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej opracowane przez Ośrodek Interpretacji i Metodyki Geofizyki Wiertniczej Zakładu Geofizyka–Kraków

LACHOWICE 7							STRYSZAWA 1K					
Nr	Poziom	H0 [m]	H1 [m]	h [m]	V [m/s]	G	H0 [m]	H1 [m]	H0r [m]	h [m]	Poziom	Nr
1	utwory czwartorzędowe	5	-5	5			5	-5	5	5	utwory czwartorzędowe	1
2	utwory fliszowe	2340	-1815	2335	2404	f.k.	2445	-1806	2331	2326	utwory fliszowe	2
						∇						
3	utwory mioceneskie: M-1	2575	-2050	235	3835	Mp-i	2750	-2091	2616	285	utwory mioceneskie M-1	3
						∇						
4	utwory mioceneskie M-2 M-3 M/D	2759	-2234	184	4486 5056 4692	Mw	3092	-2409	2934	318	utwory mioceneskie M-2 M-3 -	4
						∇						
5	utwory dewońskie D-1 D-2 D-3	2837	-2312	78	5049 4090 5774	Dw	3106	-2422	2947	13	utwory dewońskie - D-2 D-3	5
						∇						
6	utwory dewońskie D-4 D-5	3036	-2511	199	5738 5853	Dd						
						∇						
7	utwory dewońskie D-6	3062	-2537	26	6387							
						∇						
8	utwory dewońskie D-7	3098	-2573	36	4989							
						∇						
9	utwory starszego paleozoiku St. Pal.	3127	-2603	29	5093	St. Pal.	3141	-2454	2979	32	utwory starszego paleozoiku St. Pal.	6

H0 — głębokość od powierzchni terenu do spągu wyznaczonego poziomu, H1 — głębokość od poziomu morza do spągu wyznaczonego poziomu, H0r — głębokość zredukowana do pionu, od powierzchni terenu do spągu wyznaczonego poziomu, h — miąższość poziomu, V — prędkość interwałowa, G — granica sejsmiczna — wynik interpretacji

dolną część dewonu (D5), co w kontekście powyższego założenia może sugerować ich środkowodewoński wiek (od eiflu począwszy). Również wyższa część dolomitów dewońskich (D4) należały do dewonu środkowego. Odnacza się ona dużym rozrzutem upadów, związanym zapewne z rozwojem poderozyjnej, kawemisto-szczelinowej strefy wietrzeniowej, jako że PUW wskazuje wyraźnie na istnienie granicy erozyjnej między dolomitami (D5 + D4) i wyżej leżącymi „wapieniami” (D3 + D2 + D1) (tab. 1, ryc. 1).

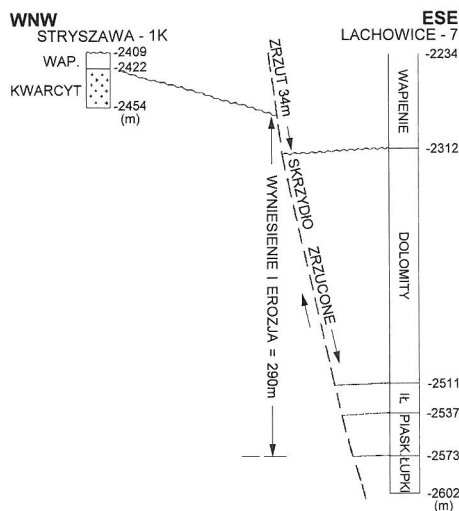
Świadczy to, iż kawemisto-szczelinowa strefa zwietrzeniowa oraz strefa transgresywna z rozwiniętą wtórną porowatością, związana z powierzchnią erozyjną na granicy D4/D3 ma zasadnicze znaczenia dla złoża gazu Stryszawa.

Niżej, pomiędzy dolomitami (D5), a ich wyższą szczelinowo-kawernistą częścią (D4) zaznacza się granica sejsmiczna. Dolna część wapieni dewonu (D3), zalegających posterozyjnie na dolomitach i dolomitach wapienistych (D4), charakteryzuje się również zwiększoną porowatością. Wapienie te (D3 + D2 + D1) wykazują tendencję do wzrostu zailenia w górę profilu aż do utworów ilasto-marglistych (D1) w stropie. Ich upady, rzędu 2–12° skierowane ku SW,

są odmierne aniżeli w niżej leżących dolomitach. Charakterystyka litologiczna wapieni dewonu może wskazywać na ich górnodewoński wiek z przejściem do dolnego karbonu (późny famen–turnej–wizen?), co pokrywałoby się z opinią E. Jawora (informacja ustna). W takim razie luka erozyjna między dolomitami (dewon środkowy–górnym?) a wapieniami (famen–wizen?) odnosiłaby się do wczesnej fazy bretońskiej (svalbardzkiej?) w famenie.

Odpowiedniki niższej i środkowej części wapieni dewońskich (D3 + D2, tab. 1) o miąższości 13 m odnajdujemy w profilu Stryszawa 1K, gdzie spoczywają bezpośrednio na prekambryjskim podłożu kwarcytowym o nachyleniu 24–28° N. Istotne, iż brak tutaj najwyższej marglisto-ilastej części tego kompleksu (D1–turnej–wizen?). Całkowity brak niżej leżących utworów dewonu oraz zrzucone o 110 m położenie spągu wapieni dewonu w stosunku do otw. Lachowice 7 wskazuje wyraźnie na istnienie dwóch różnych bloków tektonicznych podłoża paleozoicznego, rozdzielonych uskokiem.

Uskok ten miałby charakter odwrócony, powodując wzrost miąższości miocenu o 110 m w profilu Stryszawa 1K (ryc. 1). Teoretycznie istnieje możliwość, iż wzrost ten może być spo-

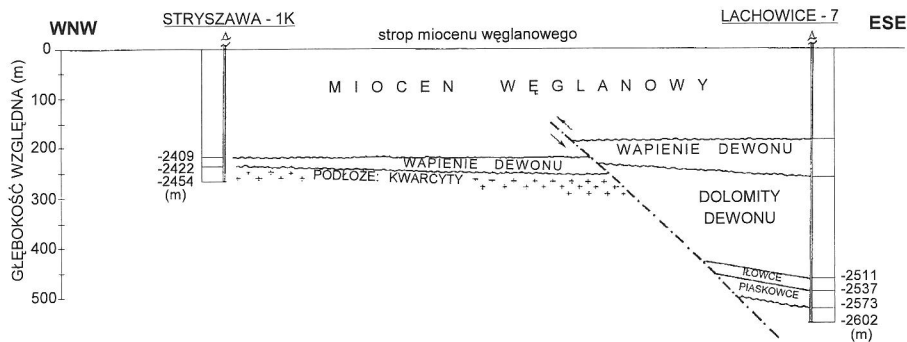


Ryc. 2. Rekonstrukcja równoleżnikowego uskoku normalnego zamykającego strukturę Stryżawy z początkiem ery waryscyjskiej (prawdopodobnie faza svałbardzka w famenie); objaśnienia jak na ryc. 1

wodowany paleoerozyjnym wymodelowaniem powierzchni stropu paleozoiku (E. Jawor, informacja ustna). Przeczu temu jednak zasadniczo różna budowa obydwu bloków.

W miocenie autochtonicznym, pokrywającym bezpośrednio podłoże paleozoiczne można (idąc od góry) wydzielić dwa zasadnicze człony, określone jako miocen warstwowany (M1) oraz miocen węglanowy (M2 + M3 + M/D) (tab. 1). Miocen warstwowany, występujący pod nasuniętym fliszem karpacim, składa się z warstwowanych utworów ilowcowo-piaszczystych (miąższość 235–285 m), wykazujących niewielki upad, przeważnie 1–5° (ryc. 1). Poniżej występuje miocen węglanowy, który należałoby raczej nazwać niespokojnym, złożony z nie wysortowanych i przemieszanych piaskowców i zlepieńców (brekcji?). Utwory te zawierają znaczną ilość fragmentów węglanowych, najprawdopodobniej pochodzących ze zerodowanego podłoża dewońskiego, szczególnie w części przyspągowej, wydzielonej jako seria przejściowa (M/D), stanowiącej zapewne zlepieniec bazalny, w profilu Lachowice 7. Rzecz ciekawa, iż utworów tych nie znajdujemy w profilu Stryżawa 1K.

Natomiast w obrębie miocenu węglanowego, w profilu Stryżawa 1K, ustalono położenie prawdopodobnej strefy uskokuwej (głębokość od –2251 do –2320 m), sygnalizowanej lokalnym zwrotem kierunku i gwałtownym wzrostem kąta upadu. Zgodnie z tym przyjęto, iż uskok odwrócony, rozdzielający blok Stryżawy 1K i Lachowice 7 zapada ku południowi pod kątem 16°, zrzucając skrzydło północne. Na



Ryc. 3. Rekonstrukcja równoleżnikowego uskoku zamykającego strukturę Stryżawy, przekształconego inwersyjnie w uskok odwrócony w dolnym miocenie (karpat?); objaśnienia jak na ryc. 1

przekroju (ryc. 1) uwzględniono kąt pozorny płaszczyzny uskoku i interpretowano jej przebieg w intersekcji z wyniesionym (ESE) i zrzucionym (WNW) skrzydłem podłoża. Uskok ten, którego istnienie potwierdza interpretacja przekroju sejsmicznego 17-I-86K, narusza strop dewonu w odległości 480 m od otw. Lachowice 7, a jego odwrócenie powoduje zdwojenie miąższości miocenu węglanowego w profilu Stryżawa 1K. Uskok jest lineamentem o starym, prawdopodobnie kaledońskim założeniu, różnicującym fundament platformowy. Został on prawdopodobnie odmłodzony w warunkach tensji w epoce waryscyjskiej.

Jak wynika z proponowanej próby rekonstrukcji paleogeologicznej (ryc. 2) jeszcze z końcem dewonu był on uskokiem normalnym (tensyjnym), zrzucającym skrzydło południowe (ESE), podczas gdy skrzydło północne (WNW) zostało podniesione i zerodowane co najmniej o 290 m. Zasadnicze przemieszczanie wzdłuż uskoku i erozja skrzydła północnego musiała się dokonać już w famenie (faza svałbardzka), a dalsze różnicowanie skrzydeł nastąpiło w późniejszych fazach waryscyjskich.

Trudno jest oczywiście ustalić, co działo się w okresie ogromnej luki stratygraficznej, obejmującej późny paleozoik, mezozoik i wczesny trzeciorzęd. Należy jednak sądzić, iż w dolnym miocenie kierunki tensyjne, odpowiedzialne za szerzenie się uskoku normalnego w paleozoiku uległy odwróceniu na kierunki kompresyjne w związku z nasuwaniem się Karpat. Z tego też powodu warstwa przejściowa (M/D), o charakterze brekcji (zlepieńca bazalnego), pojawiła się w spągu miocenu, w południowym skrzydle uskoku (Lachowice 7) świadcząc, iż jeszcze wtedy był to uskok normalny. Od tego momentu dyslokacja odnowiona nasuwaniem się Karpat, uległa inwersji i rozwijała się jako uskok odwrócony o powierzchni coraz bardziej płasko nachylonej ku północy. Rekonstrukcja dolnomiocenijskiej, inwersyjnej fazy ruchu uskoku została przedstawiona na przekroju (ryc. 3) w stosunku do wyrównanego stropu miocenu węglanowego i przy uwzględnieniu pierwotnego rozsunienia skrzydeł. Uskok rozwijał się synsedymacyjnie w stosunku do miocenu węglanowego (stąd jego charakter nie uporządkowanego melanżu), podnosząc teraz skrzydło południowe a obniżając północne.

Okres sedymentacji miocenu warstwowego wydaje się być okresem osłabienia aktywności uskoku. Dopiero w okresie bezpośredniego nasuwania się Zachodnich Karpat fliszowych oraz ich wylewania na miocenijskie podłoże, na przedłużeniu uskoku pojawiło się dalsze, tym razem postsedymacyjne pęknięcie, przebiegające powierzchnię nasunięcia fliszowego i szerzące się płasko w górę do pewnej wysokości w sfaldowanym fliszu. Wszystko wskazuje, iż ten typ dyslokacji inwersyjnych, tj. tensyjnych w paleozoiku i kompresyjnych od dolnego miocenu (karpatu) począwszy, jest charakterystyczny dla całego podłoża autochtonicznego w opisywanym obszarze. Inwersyjny ruch kompresyjny, związany z nasuwaniem Karpat, stworzył strukturalno-tektoniczną pułapkę dla złoża gazu Stryżawa, uszczelnioną utworami miocenu zarówno od góry, jak i poprzez ściany uskoku odwróconych.

Weryfikacja modelu geologicznego na podstawie modeli sejsmicznych

Widoczny na przekrojach sejsmicznych z rejonu struktury Stryżawa (ryc. 6) obraz falowy jest typowy

wy dla Karpat (Pietsch, 1992). Przekroje sejsmiczne charakteryzują się brakiem ciągłej korelacji granic sejsmicznych na dłuższych odcinkach oraz różnym ich układem w kompleksie górnym i dolnym. Kompleks górny, o bardzo zmiennym ułożeniu granic sejsmicznych, odpowiada sfałdowanym utworom fliszu, natomiast kompleks dolny utworom miocenu i paleozoiku. Charakteryzuje się on znacznie spokojniejszym ułożeniem granic sejsmicznych i mniejszymi upadami.

Uzyskane wyniki są jednoznacznie uwarunkowane wgłębną budową geologiczną:

- obecnością formacji fliszowej o przeszło 2 kilometrowej miąższości, zbudowanej głównie z rytmicznie ułożonych naprzemianległych warstw piaskowców i ilowców,
- fałdowo-płaszczowinowym stylem formacji fliszowej oraz zrębowo-uskokową budową podłoża.

Duża złożoność modelu sejsmicznego powoduje, że rejestrowane pole falowe jest niejednoznaczne i trudne do interpretacji. Brak wyraźnych granic odbijających w obrębie utworów miocenu i jego stropu oraz skomplikowany układ warstw tak fliszowych, jak i w podłożu powodują, że zapis sejsmiczny ma interferencyjny charakter. Fale odbite interferują przede wszystkim z intensywnymi falami dyfrakcyjnymi i falami bocznymi.

Geologiczna interpretacja takiego zapisu jest możliwa dopiero po rozszyfrowaniu wszystkich składników pola falowego oraz określeniu roli jaką w jego tworzeniu odgrywają poszczególne elementy orogenu (Pietsch, 1988). Zadanie takie może być rozwiązane na drodze modelowania zjawiska propagacji fal sejsmicznych dla zadanych modeli sejsmogeologicznych, odwzorowujących budowę badanego górotworu. Dzięki analizie teoretycznego zapisu sejsmicznego (np. modelowania jednowymiarowe) jest możliwa ocena roli poszczególnych granic i kompleksów geologicznych w kształtowaniu pola falowego, natomiast poprzez porównanie pól, teoretycznego (modelowanie dwuwymiarowe) i rejestrowanego, można w miarę precyzyjnie odtworzyć przebieg granic sejsmicznych, interesujących np. z naftowego punktu widzenia.

Modelowania teoretycznego pola falowego dla struktury Stryszawy wykonano na bazie jedno- i dwuwymiarowych modeli sejsmogeologicznych. Pierwsze z nich opracowane zostały na podstawie danych geofizyki wiertniczej (krzywa prędkości PA, krzywa gęstościowa z odwiertu L 7). Podstawą do konstrukcji modelu dwuwymiarowego był opracowany na podstawie danych otworowych (w tym profilowania upadu warstw) model geologiczny profilu L 7 - S 1K (ryc. 1 i 3) oraz wstępna interpretacja czasowego przekroju sejsmicznego 17-I-86K.

Jednowymiarowe modelowanie procesu propagacji fal sejsmicznych wykonano metodą sejsmogramów syntetycznych, wykorzystując program LOG M systemu GMA (*Geophysical Micro Computer Application Ltd*). Do ich konstrukcji jako sygnał sejsmiczny przyjęto sygnał teoretyczny Rickera o częstotliwości dominującej 40 Hz, którego parametry są zbliżone do parametrów sygnału wyestymowanego z tras sejsmicznych profilu 17-I-86K.

Ponieważ przedmiotem zainteresowania geologów naftowych jest rozkład granic sejsmicznych w utworach podścielających flisz (utwory miocenu, dewonu i starszego paleozoiku) — dlatego właśnie dla tych utworów wykonano szczegółową analizę teoretycznego pola falowego. Przykładowy sejsmogram syntetyczny, zestawiony z krzywą prędkości PA odwzorowującą model sejsmogeologiczny obwiertu L 7, przedstawiony jest na ryc. 4. Analiza krzywej PA (ryc. 4) pozwala na wydzielenie następujących warstw prędkościowych: M1, M2, M3 i M/D — w obrębie utworów miocenu oraz D1, D2, D3, D4, D5 i D6 — dla utworów dewonu.

Litologiczno-stratygraficzne dowiązanie tych warstw wykonano na podstawie danych geofizyki wiertniczej (tab. 1).

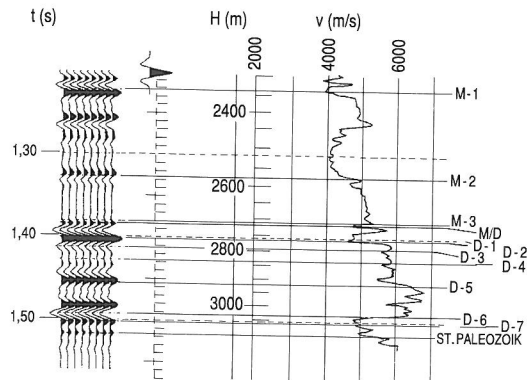
Rozkład wydzielonych granic litologicznych jest jednoznacznie odwzorowany w zapisie sejsmogramów syntetycznych. Refleksy o największej dynamice odpowiadają stropowi utworów miocenu (M1), stropowi utworów dewonu (D1), stropowi dolomitycznych utworów dewonu (D5) oraz refleksowi interferencyjnemu związanemu z ilasto-piaskowcowymi osadami dewonu oraz stropowymi partiami starszego paleozoiku (St.Pal.). Dodatkowo rozkład refleksów umożliwia rozdzielenie utworów miocenu na część górną (seria piaskowcowo-ilasta-M1) i część dolną (seria piaskowcowo-ilasta zawierająca dużą ilość okruchów węglanowych — M2, M3 i M/D). Teoretyczny zapis sejsmiczny utworów dewonu różni się od zapisu odpowiadającego osadom miocenu, który ma charakter zapisu zdecydowanie homogenicznego.

Z wykonanej analizy sejsmogramów syntetycznych wynika więc, że rejestrowane na obszarze struktury Stryszawa pole falowe powinno odwzorowywać przebieg granic, których rozkład jest istotny do odtworzenia układu strukturalnego podłoża utworów fliszowych. Szczególnie interesującym z naftowego punktu widzenia wydaje się możliwość uzyskania odbić od stropu dewonu (D1) oraz odbić od granicy pomiędzy wapiennymi a dolomitycznymi osadami dewonu (D5). Jest to związane z nasyceniem, jakie stwierdzono w otworze L 7, w porowatych wapieniach dewonu.

Silne zaangażowanie tektoniczne orogenu karpackiego powoduje konieczność wykonania, obok modelowań jednowymiarowych, również modelowań dwuwymiarowych.

Model sejsmogeologiczny będący podstawą do obliczenia syntetycznego profilu sejsmicznego, jest przedstawiony na ryc. 5. Jest on uproszczony w stosunku do modelu budowy geologicznej, ale zawiera wszystkie granice, istotne dla poszukiwań naftowych (tab. 1). Pierwszą granicą przyjętą w modelu jest kontakt utworów fliszu (w modelu o bardzo zredukowanej miąższości) i piaszczysto-ilastej „warstwowej” serii miocenu (Mp-i), drugą granicę stanowi kontakt serii Mp-i z mioceniem zawierającym dużą domieszkę utworów węglanowych („węglanowy” — Mw). Następną granicą jest strop wapieni dewońskich (Dw), kolejną zaś granicą wewnątrz dewońska oddzielająca wapienie od dolomitów (Dd). Ostatnią granicę stanowi strop starszego paleozoiku (St. Pal.). Struktura utworzona przez stropy warstw Dw i Dd może odpowiadać gazonośnej warstwie dewonu. W kierunku NNW jest ona zamknięta strefą uskokową, natomiast w kierunku SSE wapienie są ścięte powierzchnią podmiocieńską.

Syntetyczny profil sejsmiczny (ryc. 5) obliczono progra-



Ryc. 4. Sejsmogram syntetyczny obliczony dla otw. Lachowice 7 zestawiony z krzywą prędkości akustycznych (interwał: strop miocenu—starszy paleozoik); dowiązanie litologiczno-stratygraficzne warstw podano w tab. 1

mem STRUCT GMA. Na profilu tym zaznaczono również model sejsmogeologiczny. Dwie górne granice sejsmiczne w sposób jednoznaczny odwzorowują homoklinalny przebieg stropu utworów miocenu oraz granicy wewnątrzmiocenińskiej (Mp-i/Mw). Założony natomiast w modelu przyuskokowy rów wypełniony osadami miocenijskimi z dużą domieszką utworów węglanowych i 13 m warstwą dewonu (dane z otworu S 1K — tab. 1, ryc. 1 i 3) jest źródłem licznych fal dyfrakcyjnych, zakłócających obraz fal odbitych tak od stropu starszego paleozoiku (St. Pal.), jak i od granicy wewnątrzdewońskiej (Dw/Dd) oraz stropu dewonu (Dw). Interferencja fal odbitych i fal dyfrakcyjnych powoduje, że obraz sejsmiczny założonych struktur uległ zasadniczej zmianie. W syntetycznym zapisie sejsmicznym (ryc. 5) rów tektoniczny jest w zasadzie niewidoczny. Został on bowiem zamaskowany falami dyfrakcyjnymi powstającymi na północnej krawędzi rowu, które interferując z falami odbitymi tworzą antyklinalny układ granic sejsmicznych, które nie odpowiadają rzeczywistym strukturom. Podobna sytuacja może również wystąpić na rejestrowanych przekrojach czasowych tym bardziej, że falami zakłócającymi w rzeczywistych warunkach pomiarowych są nie tylko fale dyfrakcyjne, a i sam obraz falowy jest ogólnie rzecz biorąc znacznie mniej czytelny. Zaznaczona na syntetycznym profilu sejsmicznym lokalizacja odwiertu Lachowice 7 i kierunkowego otw. Stryszawa 1K wskazuje, że właśnie taka interpretacja była podstawą do zaprojektowania otw. Stryszawa.

Wykonane modelowania pokazują, jak istotne znaczenie przy geologicznej interpretacji rejestrowanego pola falowego, w skomplikowanych warunkach poniżej orogenu karpackiego, ma konstrukcja teoretycznego pola falowego, przy pomocy którego można wyznaczyć kryteria geologicznej interpretacji sejsmicznego obrazu górotworu.

Sejsmiczno-geologiczna interpretacja podłoża Karpat fliszowych

Przedstawione wyniki modelowania procesu propagacji fal sejsmicznych dla jedno- i dwuwymiarowych modeli sejsmogeologicznych, aproksymujących budowę orogenu karpackiego w strefie struktury Stryszawa, wskazują z jednej strony na złożoność pola falowego, z drugiej zaś na znaczne możliwości sejsmicznego kartowania struktur w paleozoicznym podłożu.

W celu określenia układu strukturalnego granic podfliszowych na obszarze struktury Stryszawa wykonano (wykorzystując do tego celu program SEIS WORK 2D pracujący na stacji roboczej LANDMARK) sejsmiczno-geologiczną interpretację profili sejsmicznych.

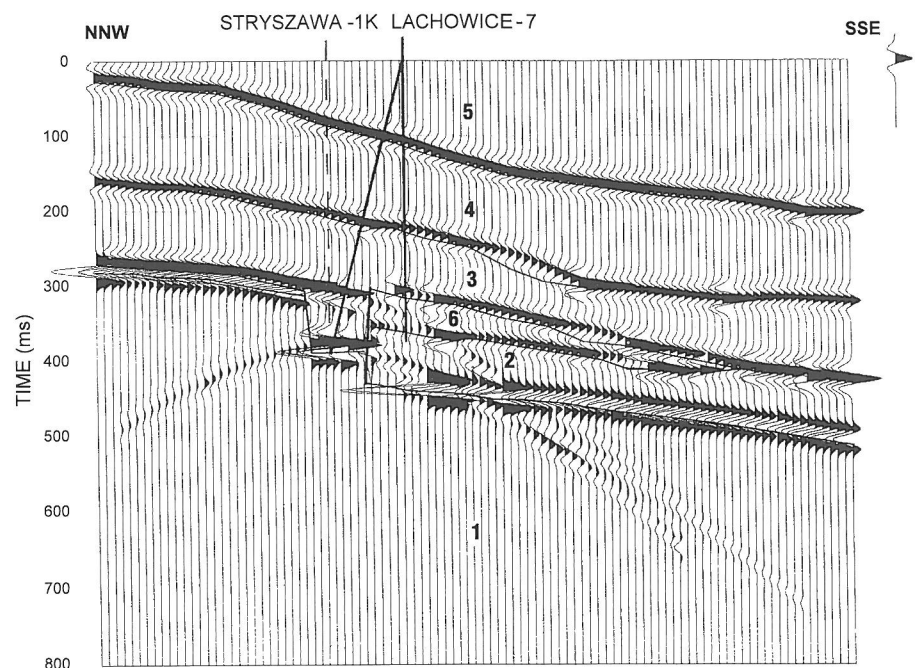
Pierwszym etapem prac interpretacyjnych była konstrukcja otworowego modelu głębokościowo-czasowego (z wykorzystaniem programu SYN TOOL pracującego na stacji LANDMARK), pozwalającego określić zależność pomiędzy skalą głębokościową da-

nych otworowych a skalą czasową rejestracji sejsmicznych. Jako dane wejściowe wykorzystano profilowanie akustyczne prędkości, opisy stratygraficzne opracowane na podstawie danych otworowych oraz zapis rejestrowany na profilu 17-I-86K w rejonie odwiertu L 7. Ogólnie zgodny układ refleksów widocznych na obliczonym SS (skorelowanych z granicami litologiczno-stratygraficznymi) oraz na czasowym przekroju sejsmicznym wskazuje na możliwość geologicznego dowiązania śledzonych horyzontów sejsmicznych.

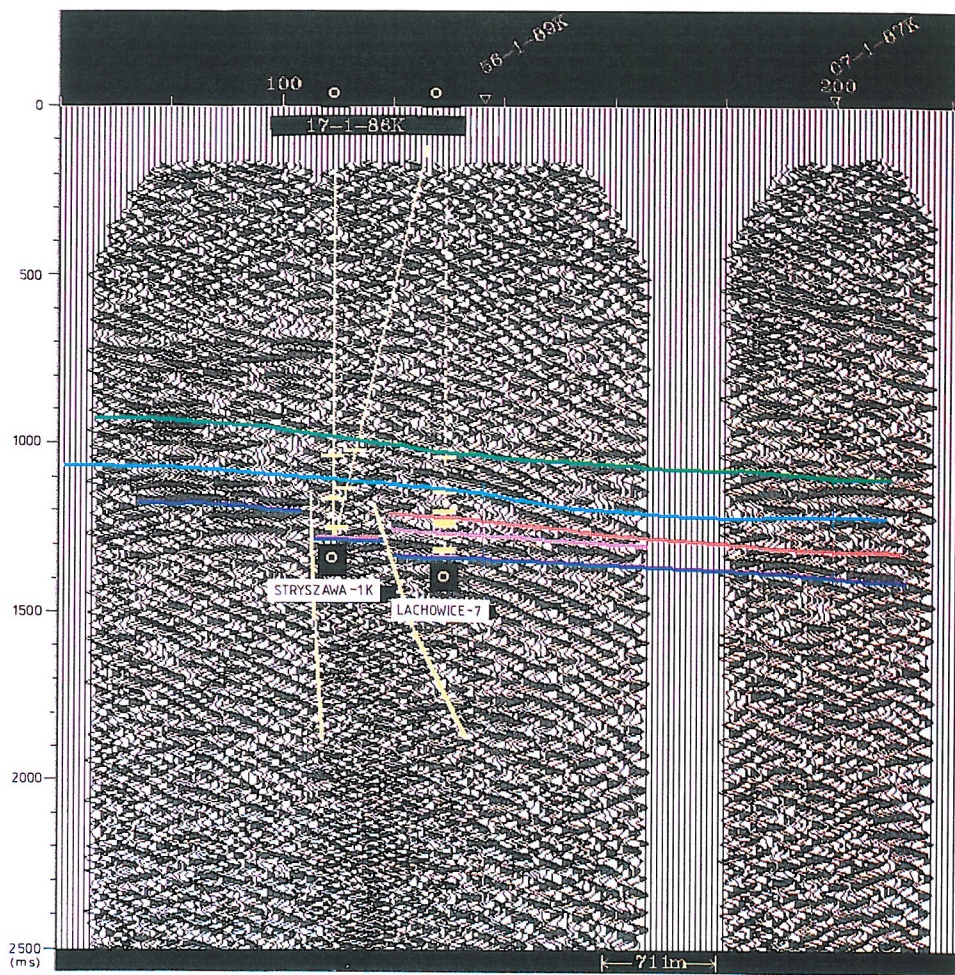
W drugim etapie interpretacji, wykorzystując wnioski wynikające z profilu syntetycznego (ryc. 5), przeprowadzono korelację horyzontów sejsmicznych na zarejestrowanych w tym obszarze profilach sejsmicznych. Materiałem wspomagającym przy wykonywaniu korelacji były czasowe przekroje sejsmiczne po migracji, z których usunięta została w procesie migracji większość fal dyfrakcyjnych. Geologiczne dowiązanie refleksów na profilu 17-I-86K w strefie lokalizacji otw. L 7 stanowiło podstawę do geologicznego dowiązania horyzontów sejsmicznych wyznaczonych na przekrojach czasowych. Dowiązanie to jest w miarę pewne w strefach dobrej korelacji refleksów, ale jedynie w obrębie tych samych skrzydeł zidentyfikowanych uskoku. W strefach rozdzielonych uskokami korelację należy traktować jako prawdopodobną. Również w strefach niskiej jakości materiałów sejsmicznych dowiązanie jest jedynie prawdopodobne.

Na ryc. 6 jest przedstawiony przykładowo zinterpretowany czasowy przekrój sejsmiczny 17-I-86K. Wyznaczone granice sejsmiczne odpowiadają kolejno tym samym granicom litostratygraficznym, które założono przy konstrukcji syntetycznego profilu sejsmicznego (patrz ryc. 5 oraz tab. 1).

Na profilach sejsmicznych zidentyfikowano również zasadnicze uskoki naruszające paleozoiczne podłożo, osady miocenijskie oraz spągową część fliszu. Uskoki te ograniczają bloki w obrębie podłoża paleozoicznego. Ich wzajemne ułożenie wskazuje na istnienie rowu tektonicznego, który najlepiej jest widoczny na profilu 17-I-86K (ryc. 6). Według przedstawionej interpretacji otw. Stryszawa 1K osiągnął



Ryc. 5. Model sejsmogeologiczny i syntetyczny przekrój sejsmiczny wzdłuż profilu 17-I-86K; 1 — starszy paleozoik (St. Pal.), 2 — dolomity dewonu (Dd), 3 — miocen „węglanowy” (Mw), 4 — miocen „warstwowy” piaszczysto-ilasty (Mp-i), 5 — flisz karpacki (f.k.), 6 — wapienie dewonu (Dw)



Ryc. 6. Zreinterpretowany przekrój sejsmiczny 17-I-86K; opis warstw jak na ryc. 5

środkową część tego właśnie rowu. Perspektywa pod względem złożowym część struktury Stryszawy wydaje się, w świetle tych materiałów, być ograniczona od strony NNW rowem tektonicznym (ryc. 6 i 7), od strony WWS uskokiem (ryc. 7), a od strony SSE wyklinowuje się do powierzchni podmiocenińskiej (ryc. 6 i 7).

Po ponownym przeanalizowaniu przekrojów sejsmicznych wykonanych w latach 1986–1991, z których połowa poddana była reprocessingowi w Zakładzie Geofizyka-Kraków (1995), autorzy zestawili szkieletową mapę czasową strukturalnej granicy stropu podłoża paleozoicznego rejonu Lachowice–Stryszawa (ryc. 7). Wskaźnik rozpoznania sejsmicznego jest tutaj niski i wynosi zaledwie 1,1 km profili /km² badanego obszaru, co nie umożliwia bliższego rozpoznania niewielkich podkarpackich struktur złożowych, których powierzchnia wynosi zapewne 1–3 km². Dlatego zaproponowaną wersję mapy należy traktować wyłącznie jako szkic, poprzez który starano się zarysować możliwie spójny schemat budowy tektonicznej i związane z nią interesujące strefy poszukiwawcze.

Stosunkowo najbardziej uchwytnym elementem strukturalnym są uskoki systemu równoleżnikowego, biegnące z ENE na WSW (azymut ok. 250°) na dystansie co najmniej 6–10 km. Lokalnie, odległość pomiędzy nimi może się zmniejszać do 0,3–1,1 km i wówczas ograniczają one stosunkowo wąskie rowy i zręby tektoniczne. Na szerokich odcinkach, w których sąsiednie uskoki równoleżnikowe oddalają się od siebie na odległość 2,2–3,7 km, powierzchnia strukturalna stropu paleozoiku jest ukształtowana dosyć łagodnie. Uskoki równoleżnikowe ograni-

czające wąskierowy od strony południowej są z reguły odwrócone. Odnawiane wzdłuż paleozoicznych lineamentów tensyjnych, uległy one inwersji wskutek kompresji, wynikającej z nasuwania się Karpat. Uskoki równoleżnikowe ograniczające rowy od strony północnej są częściej normalne lub pionowe, choć bywają także odwrócone (kompresyjne). Zarówno jedne jak i drugie wykazują lekko falisty, rozchodzący się i schodzący bieg z dość częstymi zmianami kierunku zrzutu, co wskazuje na ich przesuwczy charakter. Płaszczyzny większości z tych uskoków nachylone są ku południowi. Wiele z nich znajduje swoją orogeniczną kontynuację w postaci płasko nachylonych uskoków nasuwczych, przecinających powierzchnię nasunięcia karpacckiego i kontynuujących się do pewnej wysokości w sfałdowanym fliszu.

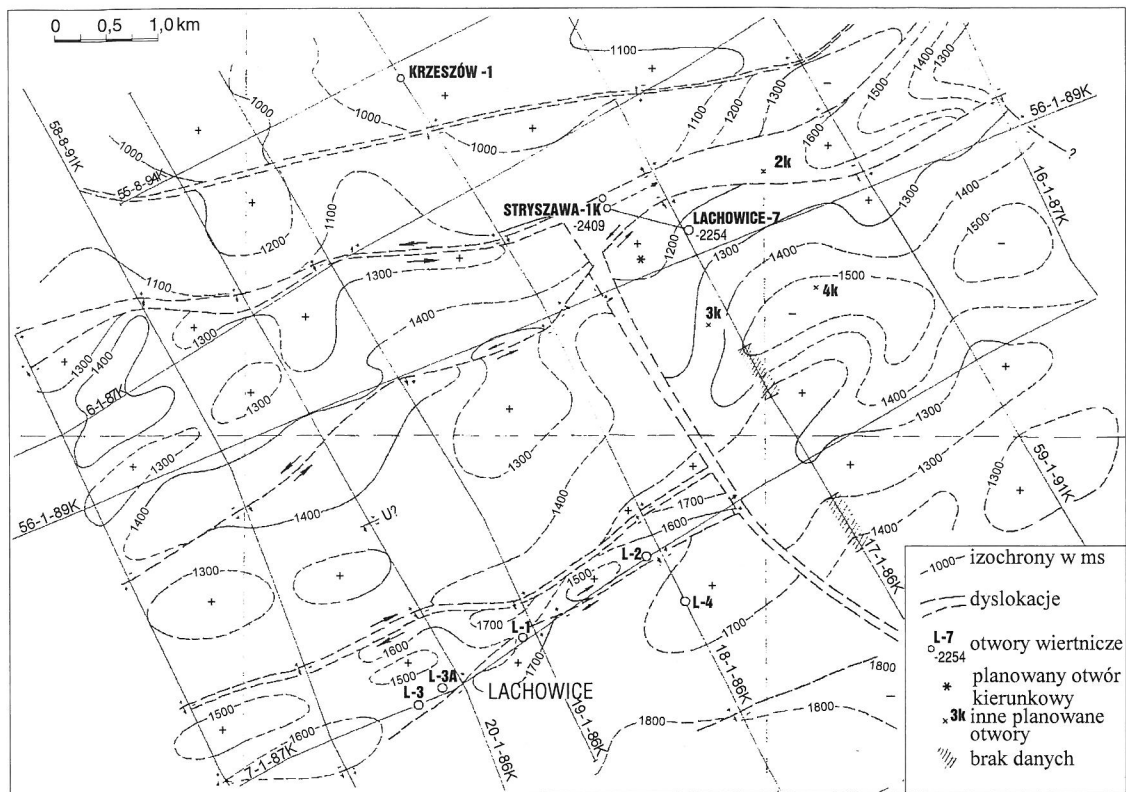
Wzdłuż uskoków równoleżnikowych rozwijają się w podłożu stosunkowo wąskie struktury przydyslokacyjne. Są one przesunięte względem siebie lub wręcz ułożone naprzemianlegle wzdłuż przeciwnych skrzydeł uskoku, co również świadczy o przesuwczym charakterze dyslokacji. Sądząc ze

wzajemnego przesunięcia struktur, dyslokacje równoleżnikowe reprezentują na przemian pary blisko leżących uskoków prawo- i lewoprusuwczych.

Struktury związane z blisko położonymi parami uskoków przesuwczych oraz w obrębie obramowanych przez nie wąskich bloków (zrębo-rowów) są wydłużone i mają szczególnie małe rozmiary. Tego rodzaju sytuację obserwujemy wzdłuż pary uskoków naruszających wyniesienie Lachowice (ryc. 7) na linii otworów L 3–L 1–L 2, z których tylko otwór Lachowice 1 uzyskał gaz ze zrzuconego fragmentu podłoża dewońskiego, odciętego od pozostałych równoleżnikową dyslokacją przesuwczą.

Przy tak zarysowanym schemacie tektoniki dyzjunktywno-presuswczej starano się skartować, w sposób logicznie spójny, powierzchnię strukturalną stropu podłoża paleozoicznego na pozostałym obszarze. Pozwoliło to zasugerować przypuszczalne położenie lokalnych wyniesień w słabo rozpoznanej strefie na północ od Lachowic w kierunku Krzeszowa. Elementy te zaznaczono krzyżykiem, jako prawdopodobne struktury dodatnie (ryc. 7).

Praktycznie jedyną dyslokacją południkową jaką udało się skartować jest uskok biegnący NNW–SSE od rejonu otworu Stryszawa 1K. Na odcinku północnym uskok ten jest odwrócony, zaś ku południowi wykazuje cechy uskoku normalnego. Identyfikacja jednego tylko uskoku południkowego może wynikać z faktu iż częstotliwość dyslokacji południkowych jest rzeczywiście mniejsza niż równoleżnikowych lub też z powodu słabego rozpoznania sejsmicznego w kierunku wschód–zachód. Plan strukturalno-tektoniczny podłoża skonsolidowanego i paleozoicznego u zachodniego czoła Karpat w



Ryc. 7. Szkic czasowej mapy sejsmicznej stropu podkarpackiego podłoża paleozoicznego w rejonie Lachowice–Stryszawa

strefie Cieszyn–Bielsko–Biała wykazuje również przewagę kierunków równoleżnikowych (Szafran & Nowak, 1984).

Opisywany uskoku południkowy oddziela element Lachowic (na południowym zachodzie) od struktury Stryszawy (ryc. 7). W świetle proponowanej interpretacji, wyniesienie Stryszawy stanowi antyklinę przydyslokacyjną, obcięta od północy odwróconym uskokiem równoleżnikowym (ograniczającym wąską na 300–500 m rów tektoniczny), od zachodu zaś naruszoną dyslokacją południkową. Wierzchołek antykliny wypada przy skrzyżowaniu obydwu ww. uskoków. Istnieje prawdopodobieństwo, iż strefa tego węzła tektonicznego jest poszerzona erozją podmiocenną. Jest również rzeczą prawdopodobną, iż zanikające perykliny struktury Stryszawy rozciągają się na 2 km ku wschodowi wzdłuż uskoku równoleżnikowego oraz na ok. 1 km wzdłuż uskoku południkowego. Być może, iż dalszy ciąg antykliny Stryszawy pojawia się ku północnemu wschodowi poza pierwszym uskokiem równoleżnikowym. Na południe od Stryszawy, poza stosunkowo obszerną i łagodną synkliną, można oczekiwać północno-wschodniego przedłużenia elementu Lachowic związanego z następną parą równoleżnikowych uskoków przesuwczych. Ta wąska i rozdzwajająca się strefa została okonturowana izochroną 1300 ms. Dalsze rozpoznanie tych elementów wymaga jednak podjęcia bardziej szczegółowych badań sejsmicznych 2D lub 3D.

Wnioski

Kompleksowa interpretacja danych geologicznych, geofizyki otworowej i danych sejsmicznych pozwala na sformułowanie następujących wniosków odnoszących się do budowy geologicznej i perspektyw poszukiwawczo-naftowych autochtonicznego podłoża Karpat fliszowych w rejonie Lachowice–Stryszawa oraz metodyki prowadzenia interpretacji.

1. Analiza danych geologicznych i geofizyki otworowej wraz z profilowaniem upadu warstw umożliwiły paleogeologiczną rekonstrukcję budowy podłoża autochtonicznego Karpat na odcinku struktury Stryszawy. Stwierdzono w ten sposób istnienie odwróconego uskoku inwersyjnego, ograniczającego antyklinę złożową od północy. Rekonstrukcja rozwoju uskoku pozwoliła stwierdzić występowanie niezgodności erozyjnej pomiędzy dolomitami a wapieniami dewonu, która miała wpływ na rozwój szczelinowatości i wtórnej porowatości węglanowego horyzontu zbiornikowego. Interpretacja ta stanowiła podstawę do konstrukcji modelu sejsmogeologicznego, niezbędnego do opracowania kryteriów geologicznej interpretacji danych sejsmicznych.

2. Sejsmiczne modelowania jedno- i dwuwymiarowe potwierdziły zróżnicowanie zapisu odpowiadającego utworom fliszu w stosunku do jego podłoża, co jest jednoznaczne z możliwością wyznaczenia stropowej powierzchni miocenu autochtonicznego. Wskazują one również na możliwość oddzielenia niższej „węglanowej” i wyższej „warstwowanej” części miocenu, możliwość rejestracji granicy odpowiadającej stropowi dewonu oraz kilku granic prędkościowych w paleozoiku. Szczególnie istotna dla poszukiwań naftowych jest możliwość identyfikacji granicy pomiędzy dolomitami a wapieniami dewonu oraz stropu dewonu, określających gazonośną strefę złożową Lachowic i Stryszawy.

3. Brak wyraźnych granic odbijających w obrębie utworów miocenu oraz skomplikowany układ warstw sfałdowanego fliszu i podłoża paleozoicznego powodują, że zapis sejsmiczny ma charakter interferencyjny. Jego geologiczna interpretacja może być wykonana poprzez modelowanie zjawiska propagacji fal sejsmicznych dla zadanych modeli sejsmogeologicznych aproksymujących badany górotwór.

Modelowanie dwuwymiarowe wykazało, że wąskie międzyuskokowe rowy tektoniczne podłoża, wypełnione utworami miocenu są źródłem licznych fal dyfrakcyjnych,

zakłócających obraz fal odbitych od stropu dewonu, granic wewnątrzdewońskich i podłoża. Interferencja tych fal powoduje, iż tego rodzaju wąskie rowy tektoniczne stają się w zasadzie niewidoczne, a w ich miejscu powstaje złudny obraz nieistniejących antyklin. Zjawisko to może być częściowo wyeliminowane przez zastosowanie migracji.

4. Budowa strukturalna podłoża podkarpackiego jest zdominowana tektoniką dysjunktywną obejmującą przede wszystkim odwrócone dyslokacje równoleżnikowe, tworzące pary blisko leżących uskokiów przesuwczych. Ograniczają one wąskie zrębo-rowy (szerokość 0,3–0,9 km), zaś struktury ponad rozdzielającymi je rozleglejszymi blokami (2–4 km) są szersze i łagodniejsze. Uskoki południkowe, prawdopodobnie również przesuwcze, występują rzadziej. Erozja podmioceńska pogłębia efekt dyzjunktywnego zróżnicowania podłoża.

5. Tektonika dyzjunktywna podłoża ma charakter inwersyjny. Równoleżnikowe uskoki normalne o starszym (kaledońskim?) założeniu, rozwijające się w warunkach tensyjnych w epoce waryscyjskiej, uległy odwróceniu (począwszy od dolnego miocenu, karpatu) w związku z ruchami fałdowo-nasuwczymi Karpat fliszowych.

Inwersja ta dokonała się synsedymentacyjnie w stosunku do osadzania miocenu węglanowego. Ruch uskokiów został wstrzymany w okresie sedymentacji miocenu „warstwowanego”, po czym rozwijał się postsedymentacyjnie w postaci dyslokacji nasuwczych, tnących powierzchnię nasunięcia karpackiego i kontynuujących się do pewnej wysokości w sfałdowanym fliszu. W związku z taką inwersją uskokiów, utwory dewonu w obecnie wyniesionych blokach podłoża mogą mieć większą miąższość aniżeli w blokach zrzuconych.

6. Akumulacje gazu w podłożu paleozoicznym związane są z wietrzeniowo-szczelinowo-kawernistą i erozyjno-transgresywną granicą pomiędzy niżej leżącymi dolomitami (dewonu środkowego-górnego?), a wyżej leżącymi wapieniami (dewonu górnego-turzeju?). Granicę tą można odnieść do fazy wyniesień wczesnobretonskich (svalbardzkich?) famenu. Pułapki wiążą się z niewielkimi antyklinami przydyslokacyjnymi, zamkniętymi równoleżnikowymi uskokiami przesuwczymi, niekiedy także występującymi w węzłach uskokiów równoleżnikowych i południkowych (Stryszawa). Złoża mogą występować zarówno w skrzydłach zrzuconych (Lachowice), jak i wiszących (Stryszawa). Pułapki uszczelnione mioceniem autochtonicznym mają charakter strukturalno-tektoniczno-stratygraficzny (erozja przedmioceńska).

Autorzy pragną złożyć serdeczne podziękowania dyrekcji Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa oraz Biura Geologicznego GEONAF TA, a także dyrekcji Zakładu Geofizyka-Kraków i Zakładu Poszukiwań Nafty i Gazu w Krakowie, a szczególnie dr inż. W. Weilowi, mgr T. Wilczkowi, mgr inż. L. Sułkowskiemu, dr inż. E. Jaworowi, dr W. Morycowi i mgr inż. A. Górcze za udostępnienie niezbędnych materiałów, dyskusję i pomoc przy ich opracowaniu. Dziękujemy również Kolegom z Wydziału GGiOŚ AGH, a szczególnie mgr inż. P. Krzywcowi i mgr inż. T. Maćkowskiemu za twórczą pomoc przy realizacji tematu.

Literatura

- BARAN U., JAWOR E. & JAWOR W. 1995 — Oil and Gas News from Poland—POGC Inf. Bull., 5: 105–128.
Dokumentacja otworu Lachowice 7, 1995 a — Arch. Zakł. Geofizyka-Kraków.
Dokumentacja otworu Stryszawa 1K 1995 b — Arch. Zakł. Geofizyka-Kraków.

- GÓRSKA L., HEFLIK W., JAWOR E. & MORYC W. 1978 — Prz. Geol., 26: 28–32.
 JAWOR E. 1982 — Poszukiwanie i rozpoznanie złóż węglowodorów w nieantyklinalnych pułapkach środkowej części zapadliska przedkarpackiego. Konf. Nauk.-Techn. SIIPNiG, Krosno, listopad: 37–48.
 JAWOR E. 1984 — Poszukiwania ropy naftowej i gazu ziemnego w Karpatach Zachodnich. IV Konferencja n.t. Ocena prognoz i efektywności poszukiwań ropy naftowej i gazu ziemnego w Polsce. Kraków, październik. Wyd. AGH, Kraków: 51–57.
 JAWOR E. 1989 — Wyniki prac geologiczno-poszukiwawczych w środkowej i zachodniej części Karpat i zapadliska przedkarpackiego. Ref. na sesji Tektonika Karpat i Przedgórze w świetle badań geofizycznych i geologicznych. Kraków, marzec. Wyd. Geofizyka-Kraków: 39–52.
 JAWOR E. 1992 — Polish Journal of Miner. Resources, Geos.-Soc., Cracow, 1: 97–110.
 KARNKOWSKI P. & GŁOWACKI E. 1961 — Kwart. Geol., 5: KARNKOWSKI P. 1986 — Nafta, 11: 293–296.
 KARNKOWSKI P. 1989 — Geologiczne postępy w rozpoznawaniu Karpat i Przedgórze. Ref. na sesji Tektonika Karpat i Przedgórze w świetle badań geofizycznych i geologicznych. Kraków, marzec. Wyd. Geofizyka-Kraków: 3–21.
 KARNKOWSKI P. 1993 — Złoża gazu ziemnego i ropy naftowej w Polsce. T. 2: Karpaty i zapadlisko przedkarpackie. Wyd. Tow. Geos., AGH, Kraków.
 KONIOR W. 1963 — Kwart. Geol., 7: 383–388.
 KONIOR W. 1965a — Bull. Acad. Pol. Sc. Geol., Geogr., 13: 215–221.
 KONIOR W. 1965b — Kwart. Geol., 9: 324–334.
 KONIOR W. 1974 — Roczn. Pol. Tow. Geol., 44: 321–369.
 LENK T. 1983 — Pr. Inst. Górn. Naft. i Gazow., 45, Min. Górn. i Energ., Nakł. IGNiG, Kraków.
 NOWOTARSKI C. 1987 — Nafta, 3: 66–71.
 NOWOTARSKI C. & PRZYBYŁO S. 1989 — Najnowsze wyniki badań sejsmicznych w zapadlisku przedkarpackim i Karpatach. Ref. na sesji: Tektonika Karpat i Przedgórze w świetle badań geofizycznych i geologicznych, Kraków, marzec. Wyd. Geofizyka-Kraków: 22–38.
Opracowanie tematu: Skoczów–Wadowice–Sucha Beskidzka, rej. Lachowice–Zawoja, grupa sejsmiczna nr 1, 1986–1987 — Arch. Zakł. Geofizyka-Kraków, nr 1927–1929.
Opracowanie tematu Skoczów–Wadowice–Sucha Beskidzka, rejon Lachowice, grupa sejsmiczna nr 1 i 8, 1989–1991 — Arch. Zakł. Geofizyka-Kraków, nr 2088–2090.
Opracowanie: Reprocessing materiałów sejsmicznych ze struktury Lachowice 1995 — Arch. Zakł. Geofizyka-Kraków, nr 350–352.
Opracowanie tematu Sucha Beskidzka–Rabka, grupa sejsmiczna nr 5, 1976 — Arch. Zakł. Geofizyka-Kraków, nr 1598–1600.
 PIETSCH K. 1988 — Zesz. Nauk. AGH, Geol., 37: 1–138.
 PIETSCH K. 1992 — Czy badania sejsmiczne umożliwiają rozpoznanie budowy Karpat? Gosp. Surow. Miner., 8: 83–97.
 POŻARYSKI W., GROCHOLSKI A., TOMCZYK H., KARNKOWSKI P. & MORYC W. 1992 — Prz. Geol., 40: 643–651.
 ROSZEK H. & SIEDLECKI S. 1963 — Bull. Pol. Acad. Sc., Ser. Geol., Geogr., 11: 15–22.
 SAS-KORCZYŃSKI S. 1989 — Analiza utworów paleozoicznych zapadliska przedkarpackiego między Krakowem a Tarnowem z zastosowaniem statystyki matematycznej dla oceny kierunków poszukiwań naftowych. Arch. Wyd. Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH (maszynopis).
 SZAFRAN S. & NOWAK R. 1984 — Zesz. Nauk. AGH, Geologia, 10: 117–130.
 TOKARSKI A. 1962 — Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN w Krakowie. 13: 1–44.
 TOKARSKI A. 1964 — Zesz. Nauk. AGH, 78: 413–441.
 ZAJĄC R. 1995 — Pr. Państw. Inst. Geol., 148: 119–124.