

Lidia Dudek

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Bilansowanie przekrojów geologicznych z rejonu Błażowa–Dynów

W pracy przedstawiono bilansowanie dwóch przekrojów sejsmicznych: 3-6-04K i 13-6-10K z rejonu Błażowa–Dynów, wykonanych w ramach opracowania *Interpretacja danych sejsmicznych 2D Błażowa–Dynów*. Przy konstruowaniu profili kierowano się podstawową zasadą respektowania danych: mapy geologicznej odkrytej, profili sejsmicznych, korelacji międzyotworowej i końcowego modelu prędkości, użytego do transformacji czasowo-głębokościowej, w taki sposób, aby wyinterpretowany układ geometryczny struktur był w najwyższym stopniu zgodny z obrazem sejsmicznym. Interpretacja czasowych profili sejsmicznych przedstawia uaktualniony obraz tektoniki jednostki skolskiej serii karpackiej, uwzględniający zarówno formy kompresyjne, ekstensyjne, jak i przesuwcze. Załączone w opracowaniu przekroje zbilansowane przedstawiają odmienną od prezentowanej dotychczas formę budowy jednostki skolskiej, wynikającą z zastosowania integracyjnego podejścia do budowy geologicznej tego rejonu Karpat.

Słowa kluczowe: Karpaty zewnętrzne, jednostka skolska, bilansowanie przekrojów geologicznych.

Balanced cross section from the Błażowa–Dynów area

Two balanced seismic cross sections (3-6-04K and 13-6-10K from the Błażowa–Dynów region) were presented in this paper. The cross sections mentioned were prepared as a part of the project *Interpretation of 2D seismic data Błażowa–Dynów*. In order to interpret which geometry of structures was most consistent with seismic data, the construction of cross sections was based on a geological map, seismic profiles, correlation between wells and final velocity model, which was used for time to depth conversion. The interpretation of seismic profiles in time domain presents updated tectonic structure of the Skole Unit, with compression, extension and slip structures. The balanced cross sections mentioned present a different interpretation of the Skole Unit structure, which is a result of an integrated approach to formation description of this part of the Outer Carpathians.

Key words: Outer Carpathians, Skole Unit, balancing cross sections.

Stan wiedzy dotyczący bilansowania przekrojów geologicznych

Pierwsze założenia tworzenia bilansowanych przekrojów geologicznych prezentowano w literaturze już przed 1900 rokiem. Teoria mówiąca o tym, że pole przekroju musi być zachowane podczas deformacji, została pierwszy raz użyta przez Chamberlaina w 1910 roku [3] do obliczania głębokości do miejsca odłknięcia fałdu. Ta technika była wykorzystywana przez: Buchnera [2], Goguela [17], Dahlstroma [5]. Hos-sack [20] zaproponował obliczanie skrócenia orogenicznego przez odwrócenie techniki Chamberlaina, jeśli głębokość odłączenia jest znana. W 1969 roku Dahlstrom przedstawił procesy mechaniczne przekroju obliczanego w szczegółach

i te przekroje zrównoważone zostały powszechnie wykorzystane. Przekroje geologiczne Bally'ego i innych [1] wskazują, że geolodzy kanadyjscy używali zrównoważonych przekrojów do konstruowania realnych przekrojów geologicznych w połowie lat pięćdziesiątych ub. wieku. Bally i inni [1] używali sejsmicznej definicji podłoża i powierzchni geologicznej do ograniczenia ich konstrukcji, tym samym zawężając liczbę rozsądnych rozwiązań. Dahlstrom w 1969 roku [5] zwrócił uwagę, że:

1. „W specyficznym geologicznym środowisku istnieje tylko ograniczony zestaw struktur, które mogą występować”.

2. „Prostym testem poprawności geometrycznej przekroju geologicznego jest zmierzenie długości podstaw, które muszą być spójne, chyba że wchodzi w działanie zasada braku ciągłości”.

Elliott [9] rozszerzył definicję Dahlstroma [5] dotyczącą zrównoważonego przekroju przez dodanie, że możliwe zbiory struktur mogą zawierać tylko te struktury, które możemy zobaczyć w obszarach klifów, rozcięć dróg i przesunięć gór. Jeśli przekrój geologiczny może być konstruowany zgodnie z lokalną geologią, wówczas przekrój jest akceptowalny [9]. W przypadku gdy akceptowalny przekrój może być odtworzony do jego stanu przed deformacją, taki przekrój reprezentuje realny model [9, 10, 11].

Jeśli wszystkie dostępne dane były włączone w realny przekrój, alternatywna interpretacja jest ograniczona. Nie można mieć pewności, że przekrój geologiczny reprezentuje rzeczywisty lub akceptowalny model, dopóki nie jest zrównoważony. Przekrój geologiczny definiuje się jako zrównoważony, kiedy długości podłoża lub powierzchni przekroju są równe w zdeformowanych i odtworzonych stanach. Prawdopodobnie z powodu częstszego występowania tych przypadków w pasach skurczowych fałdów – techniki zrównoważonego przekroju były najpierw wykorzystane w tych sytuacjach. Metodę równoważenia powierzchni zastosował Gwinn [18] w Appalachach do szacowania skrócenia fałdów.

Metoda równoważenia długością linii była również używana do obliczania skrócenia fałdów [7]. Wiedza o miejscowym skróceniu fałdów pomaga w równoważeniu basenów w trzech wymiarach poprzez ograniczenie serii przekrojów geologicznych w taki sposób, że miejscowe odkształcenie jest zachowane albo stale zmieniane.

W ostatnich czasach równoważenie przekrojów stało się jedną z głównych metod stosowanych w terenach,

gdzie deformacja tektoniczna ma charakter ekstensyjny: Gibbs [15, 16], Crespi [4], Dula [8]. Techniki równoważenia, które zostały przygotowane dla systemów nasunięć, mogą być wykorzystane z taką samą ważnością do terenów ekstensyjnych. Ekstensyjne uskoki mogą być płaskie nieobrotowe, płaskie obrotowe lub zakrzywione. Wernicke i Burchfield [28] zaproponowali, że uskoki płaskie obrotowe są tworzone w wyniku rozciągania litosfery wzdłuż pojedynczej strefy ścinania. Uskoki płaskie nie wytwarzają wewnętrznego odkształcenia i dlatego wiszące ściany będące konsekwencją wydłużenia wzdłuż uskoków powierzchniowych mogą być odtworzone przy użyciu mechanizmów przesuwu i obrotu. Geometrie ekstensyjne zostały skutecznie odtworzone z zastosowaniem metody przesuwu zginającego *flexural slip* [6, 15, 23, 25]. Verrall [27] udowodnił, że uskoki ekstensyjne mogą być skutecznie modelowane przy użyciu metody homogenicznego prostego ścinania wzdłuż pionowych linii przesunięcia. Liczni autorzy dowiedli, że pochylone antytetyczne ścinanie najkorzystniej modeluje uskoki ekstensyjne [4, 8, 27]. Zarówno antytetyczne, jak i syntetyczne ścinanie w kierunku wydłużenia zostało zaproponowane jako najbardziej dokładna metoda odtworzenia przekroju [26]. Model stałego przesunięcia zakłada, że przesunięcie wzdłuż uskoku jest zachowane – to jest jego wartość, a nie wydłużenie [13, 30]. Williams & Vann [30] zasugerowali, że powierzchniowe antytetyczne lub pionowe ścinanie może być mniej odpowiednim rozwiązaniem niż przesunięcie sedymentów wzdłuż linii poślizgu równoległych do głównego uskoku.

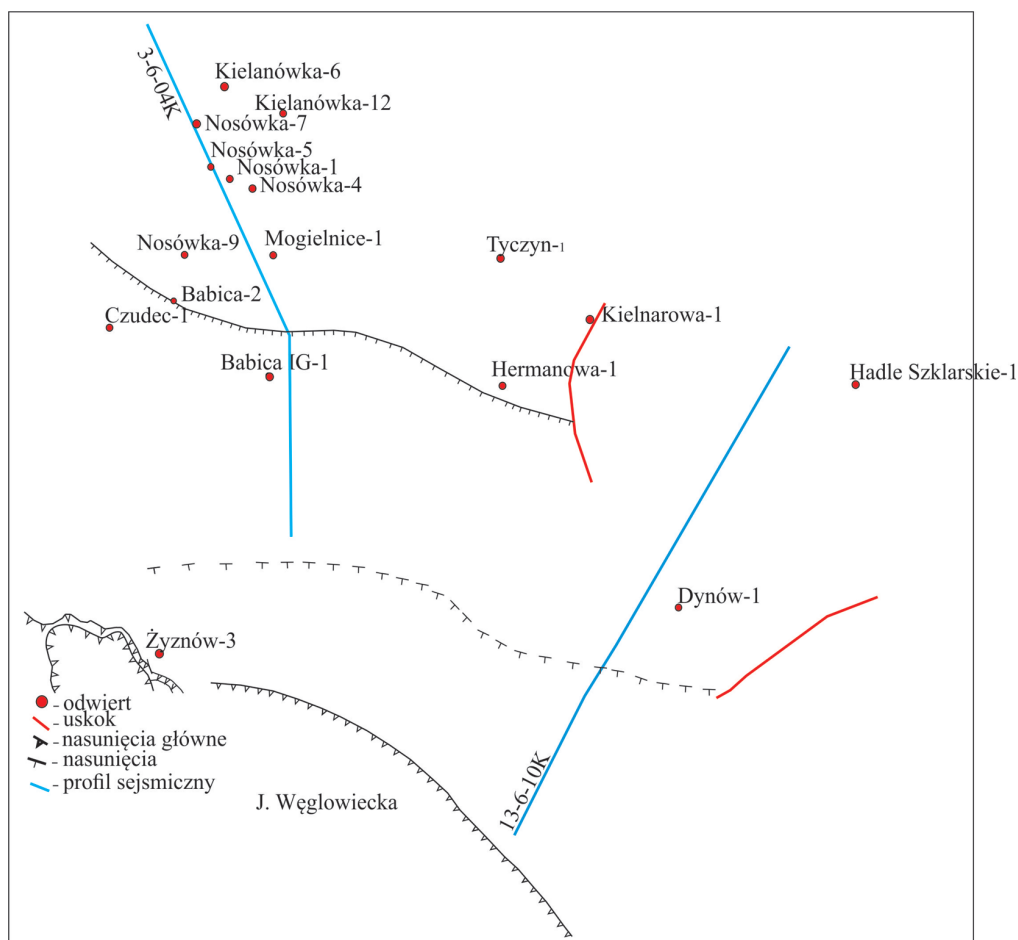
Sekcje zrównoważone są obecnie wykorzystywane głównie w przemyśle naftowym, w celu analizy basenów sedymentacyjnych, w szczególności do testowania wiarygodności geologicznej interpretacji przekrojów głębokościowych.

Bilansowanie profili sejsmicznych 3-6-04K i 13-6-10K

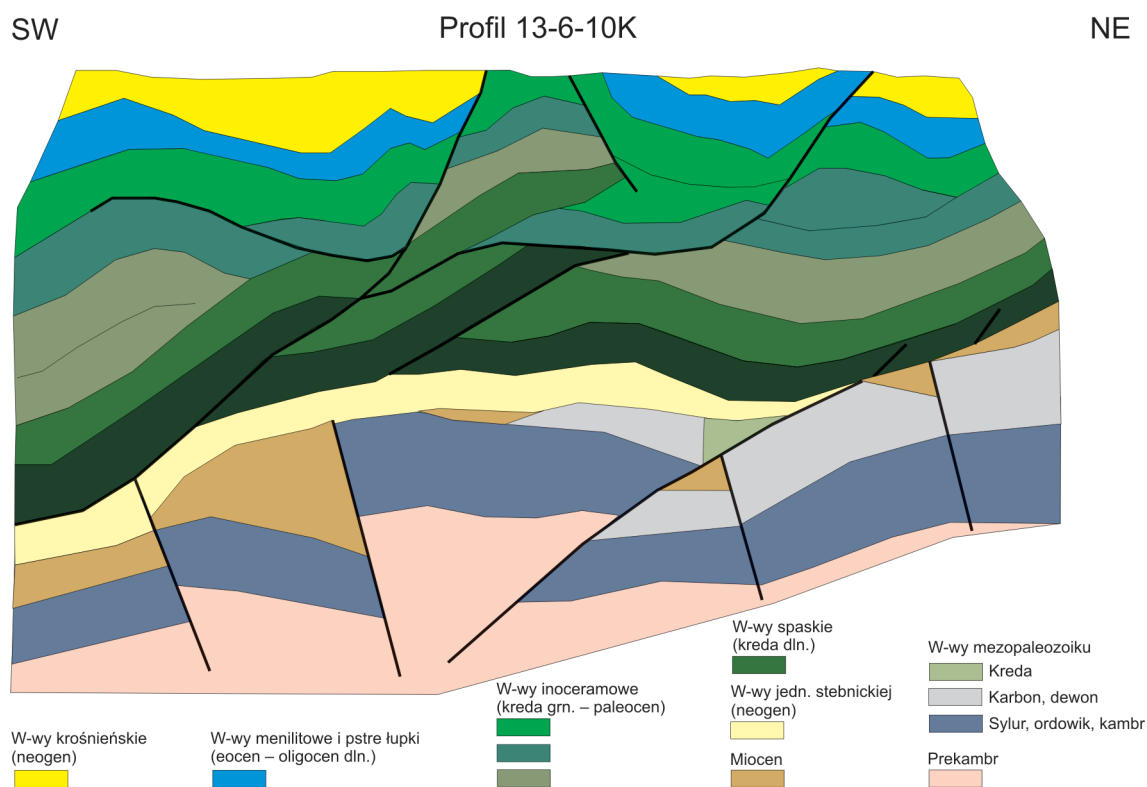
W pracy wykonano bilansowanie zinterpretowanych sejsmicznie profili 3-6-04K i 13-6-10K przebiegających przez obszar jednostki skolskiej Karpat fliszowych. Wyniki bilansowania przedstawiono na rysunkach od 1 do 9. Aby wyeliminować wieloznaczność rozwiązań, interpretacja profili sejsmicznych została zweryfikowana dodatkowymi informacjami (konfrontacją z mapą geologiczną odkrytą oraz zastosowaniem nowego podejścia do budowy Karpat zewnętrznych [21, 22]). Interpretując dwa czasowe profile sejsmiczne: 3-6-04K oraz 13-6-10K (rysunek 1), starano się przedstawić uaktualniony przez J. Probulskiego i L. Jankowskiego [21, 22] obraz tektoniki jednostki skolskiej serii karpackiej. Zinterpretowane profile przedstawiają odmienną od dotychczasowej formę budowy jednostki skolskiej,

wynikającą z zastosowania integracyjnego podejścia do budowy geologicznej tego rejonu Karpat. W trakcie wykonywania odtworzeń do czasu przed deformacją – korzystano z mapy geologicznej zestawionej przez L. Jankowskiego [24], którą weryfikowano na bieżąco w trakcie prac, z zasięgów odsłoneń poszczególnych wydziałów stratygraficznych oraz stref aktywności tektonicznej [24]. Przyjęto uproszczony obraz nasunięcia warstw fliszu karpackiego widoczny na rysunkach 2 i 7. Bilansowanie obu profili rozpoczęto od granicy nasunięcia karpackiego (rysunki 4, 5, 8). W przypadku profilu 13-6-10K przedstawiono styl tektoniki ekstensyjno-nasunięciowej. W kierunku północno-wschodnim zaznaczono wpływy grawitacyjne, powodujące chaotyczne zdeformowanie mas, głównie warstw krośnieńskich i menilitowych (rysunki 4, 5).

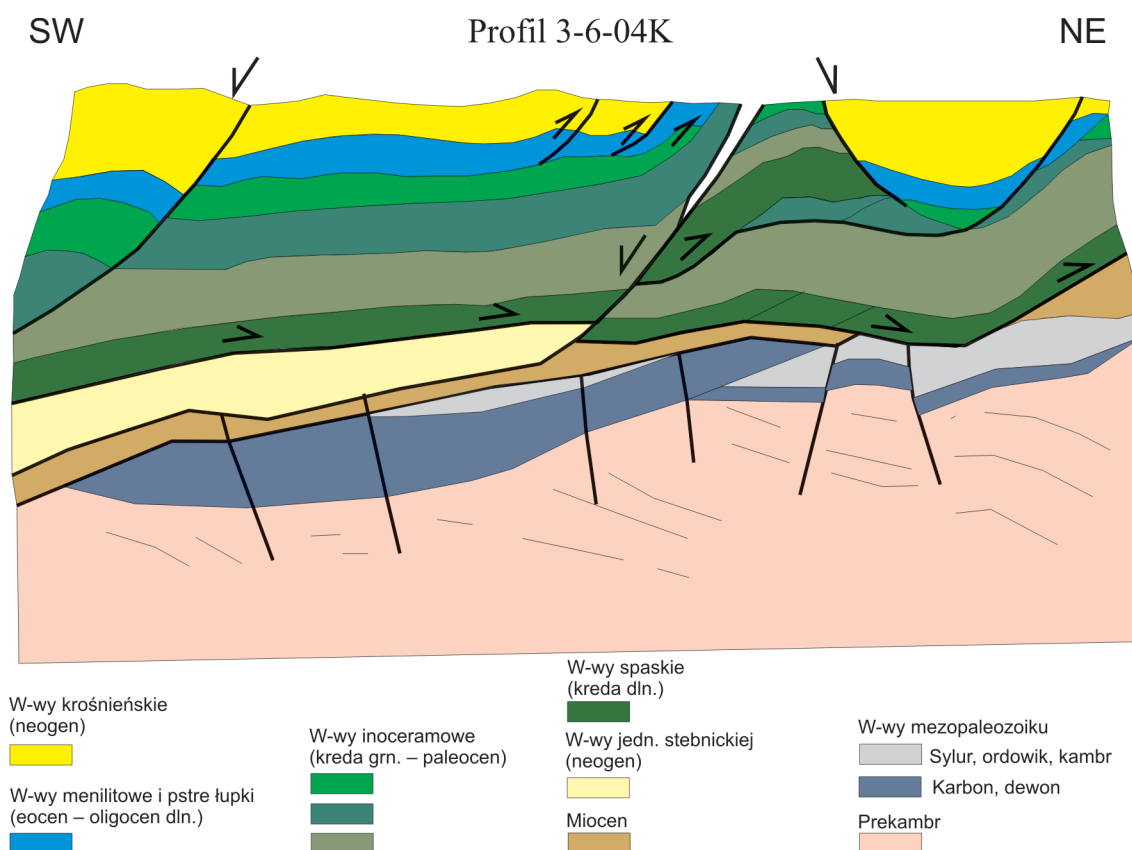
Zamykanie basenu Karpat powodowało niszczenie jego skłonów i tworzenie dużych kompleksów o charakterze zsuwów, ześlizgów, utworów o typie debrydytów i ich nagromadzeń (olistostrom), co doprowadziło do powstania potężnych kompleksów o chaotycznej strukturze [22]. Obecność mas górotworu w postaci spływów utrudnia bilansowanie, ale dobre dane sejsmiczne pozwalają na jego wykonanie w sposób prawidłowy. Na profilu 3-6-04K wielkość spływów zmniejsza się w kierunku zachodnim (rysunek 8). W związku z prawidłowym bilansowaniem warstw karpaccich wyniki prowadzą do wniosku, że w przeszłości występowały struktury typu *horst-graben*, czyli zręby i rowy tektoniczne. Ostatni etap bilansowania



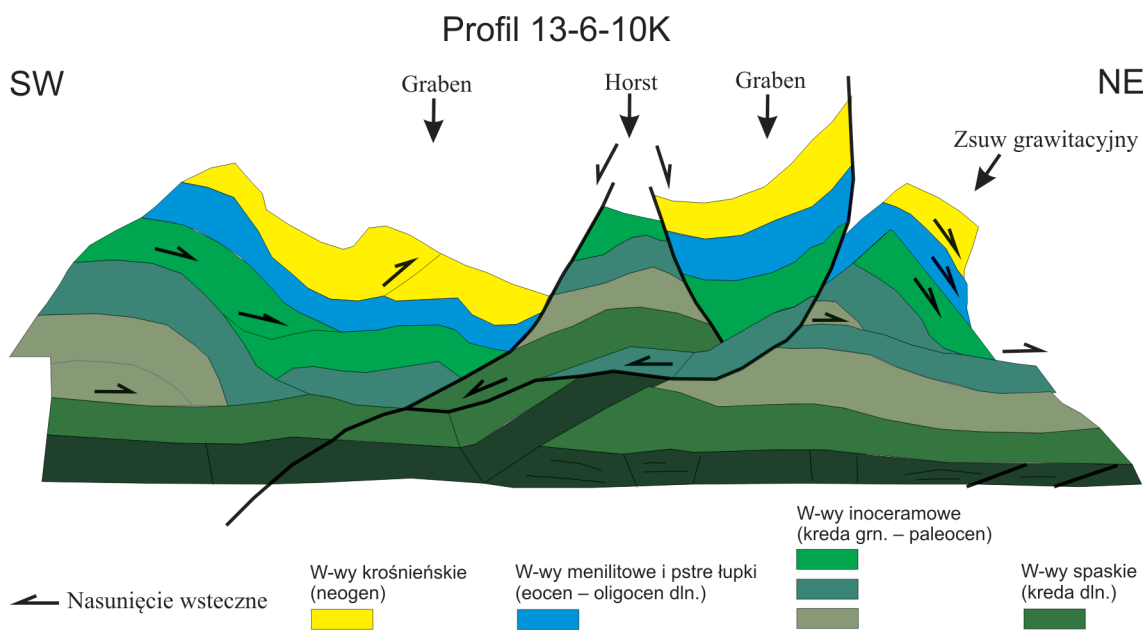
Rys. 1. Szkic sytuacyjny profili 13-6-10K i 3-6-04K [1]



Rys. 2. Zinterpretowany geologicznie profil sejsmiczny 13-6-10K z przyjętym uproszczonym obrazem nasunięcia warstw fliszu karpacciego



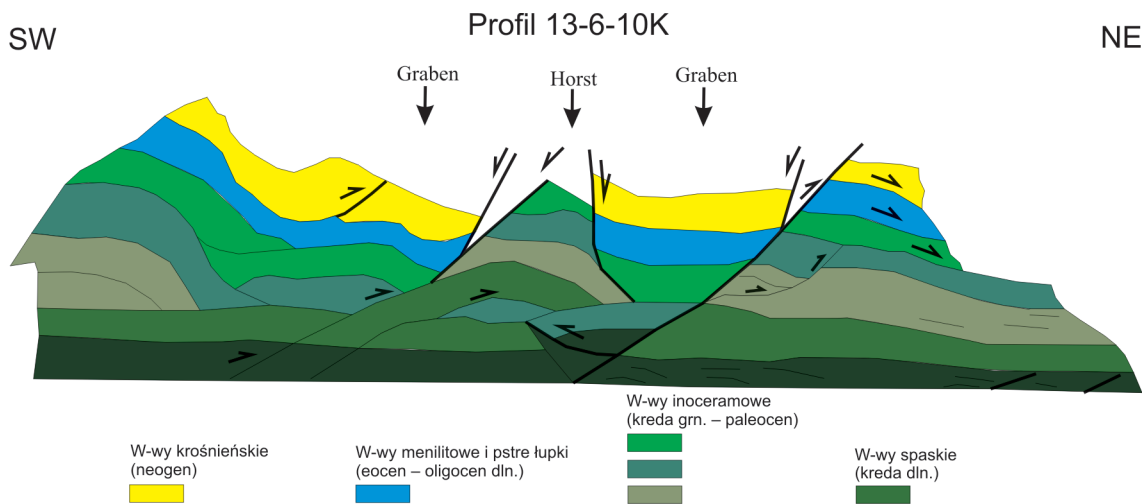
Rys. 3. Model strukturalny fliszu karpackiego z uwzględnieniem tektoniki ekstensyjno-nasunięciowej



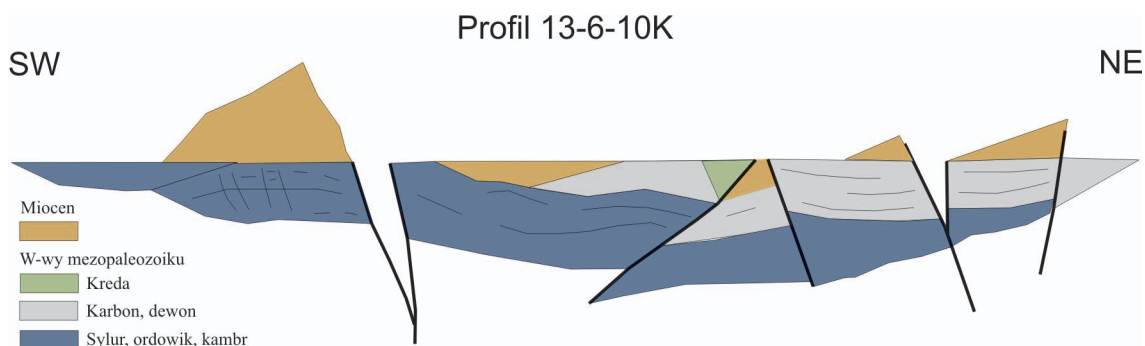
Rys. 4. Etap I rozwinięcia modelu strukturalnego do spągu warstw kredy dolnej

warstw mezopaleozoiku przedstawiono na rysunkach 6 i 9. Pokazują one układ geometryczny warstw typu basenowego. Dotyczy to zarówno warstw starszego, jak i młodszego paleozoiku. W części południowo-zachodniej (rysunek 6) obserwuje się zwiększenie miąższości osadów syluru i ordowiku i być może kambry, natomiast w części północno-wschodniej osady młodszego paleozoiku, utwory karbonu

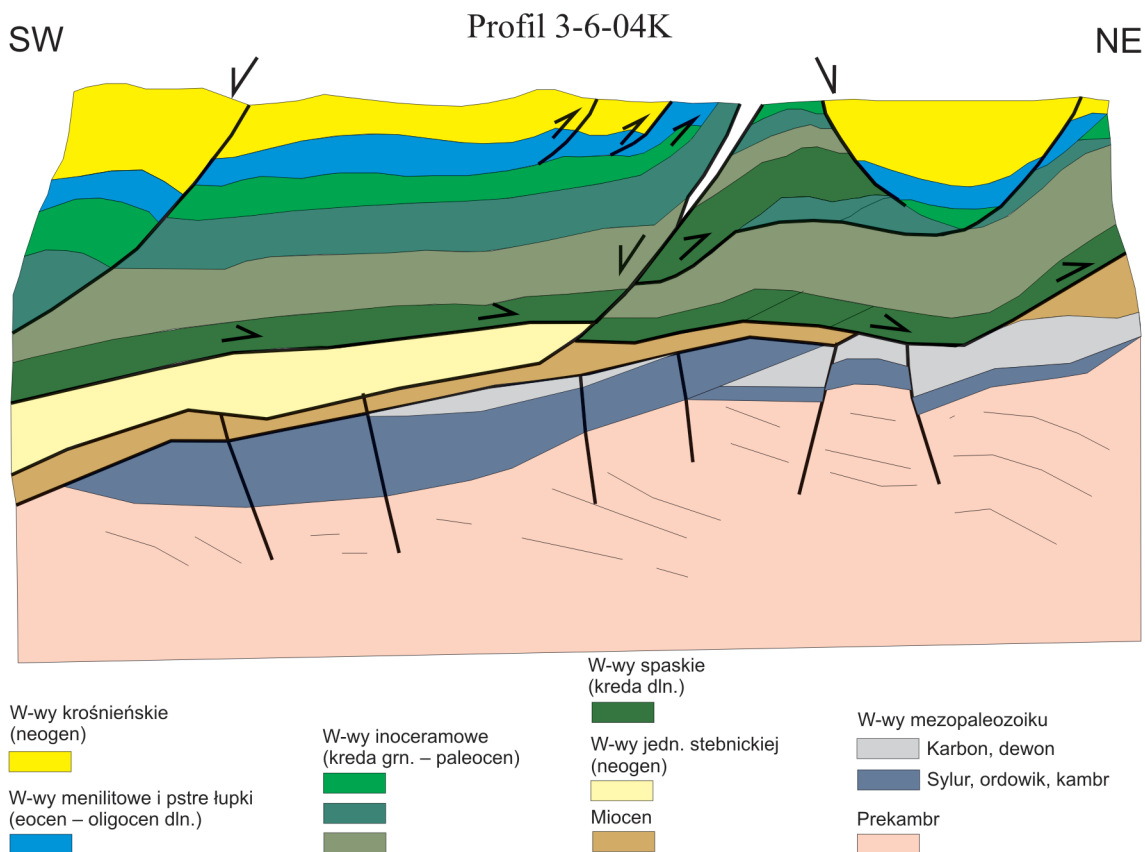
i dewonu mają największą miąższość, stąd też istnieje możliwość zasilania węglowodorami warstw młodszego paleozoiku od strony południowej. Pułapki węglowodorów należy więc oczekiwać w południowych częściach występowania młodszego paleozoiku. Jest to możliwe zwłaszcza wtedy, kiedy warstwy karbonu leżą bezpośrednio na utworach sylursko-ordowickich.



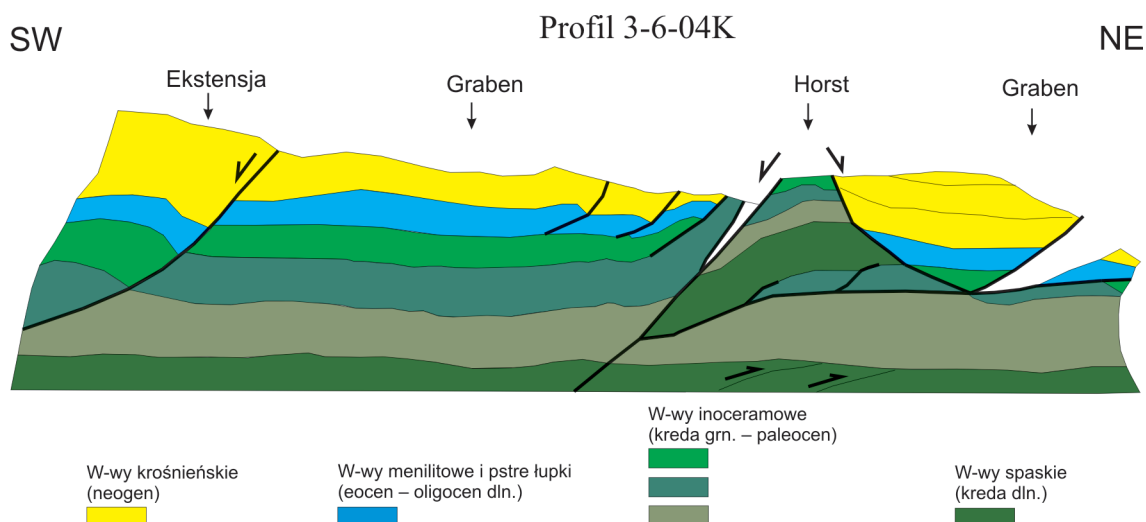
Rys. 5. Etap II rozwinęcia modelu strukturalnego do spągu warstw kredy dolnej



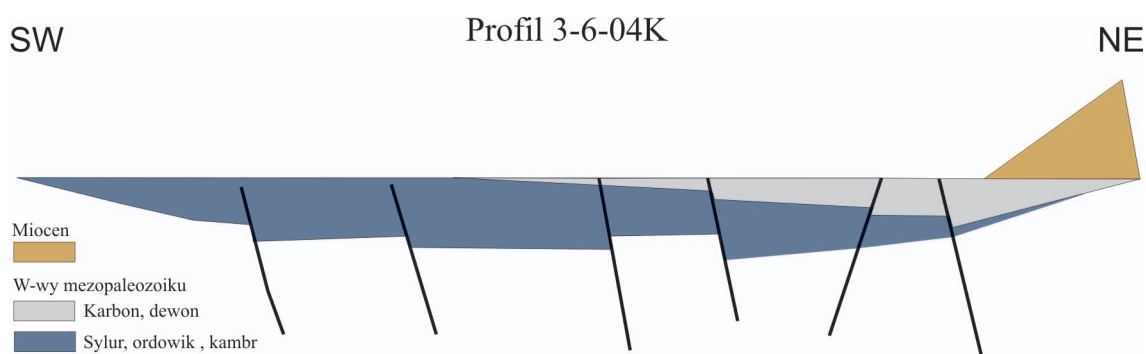
Rys. 6. Rozwinięcie basenu mezopaleozoicznego do stropu mezozoiku



Rys. 7. Zinterpretowany geologicznie profil sejsmiczny 3-6-04K z przyjętym uproszczonym obrazem nasunięcia warstw fliszu karpackiego



Rys. 8. Rozwinięcie modelu strukturalnego fliszu karpackiego do spągu warstw kredy dolnej na profilu 3-6-04K



Rys. 9. Rozwinięcie basenu mezopaleozoicznego do stropu mezozoiku na profilu 3-6-04K

Podsumowanie

1. Profile sejsmiczne 3-6-10K i 13-6-04K zostały zbilansowane.
2. W procesie bilansowania uwzględniono zarówno formy kompresyjne, ekstensywne, jak i przesuwcze.
3. W związku z obecnością form przesuwczych istnieje konieczność stosowania techniki bilansowania w trzech wymiarach.
4. Występowanie na profilach sejsmicznych znacznych różnic prędkości fal sejsmicznych jest spowodowane istnieniem dużej zmienności facji w obrębie poszczególnych profili litostratigraficznych.
5. Bilansowanie warstw mezopaleozoiku pokazuje układ geometryczny warstw typu basenowego.
6. W części południowej obserwuje się zwiększenie miąższości osadów syluru i ordowiku, i być może kambru, natomiast w części północnej osady młodszego paleozoiku, utwory karbonu i dewonu charakteryzują się największą miąższością, stąd też istnieje możliwość zasilenia węglowodorami warstw młodszego paleozoiku od strony południowej. Pułapki węglowodorów należy więc oczekiwać w południowych częściach zasięgu młodszego paleozoiku.

Podziękowanie: Dziękuję dr. inż. Jaromirowi Probulskiemu, dr. Leszkowi Jankowskiemu oraz mgr inż. Dagmarze Krawiec i Zespołowi Interpretatorów Geofizyki Kraków Sp. z o.o. za cenne uwagi udzielane w trakcie interpretacji tektoniki oraz nasunięć pokrywy fliszowej.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 12, s. 874–880

Artykuł nadesłano do Redakcji 2.09.2014 r. Zatwierdzono do druku 7.11.2014 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy przemysłowej pt. *Wykonanie dwóch przekrojów zbilansowanych w obszarze zdjęcia sejsmicznego 2D Błażowa–Dynów* – praca INiG na zlecenie Geofizyki Kraków Sp. z o.o., nr umowy: 10/3/2011, nr zlecenia 606/SG/11.

Literatura

- [1] Bally A. W., Gordy P. L., Stewart G. A.: *Structure, seismic data and orogenic evolution of southern Canadian Rocky Mountains*. Bulletin of Canadian Petroleum Geology 1966, vol. 14, pp. 337–381.
- [2] Buchner W. H.: *The Deformation of the Earth's Crust*. Princeton University Press 1933, 518 p.
- [3] Chamberlain R. T.: *The Appalachian folds of central Pennsylvania*. Journal of Geology 1910, vol. 18, pp. 228–251.
- [4] Crespi J. M.: *Using balanced cross-sections to understand early Mesozoic extensional faulting*, w: Froelich A. J., Robinson G. R. (eds.): *Studies of the Early Mesozoic Basins of the Eastern United States*. U.S. Geological Survey Bulletin 1988, 1776, pp. 220–229.
- [5] Dahlstrom C. D. A.: *Balanced cross-sections*. Canadian Journal of Earth Science 1969, vol. 6, pp. 743–757.
- [6] Davison I.: *Listric normal fault profiles. Calculation using bed-length balance and fault displacement*. Journal of Structural Geology 1986, vol. 8, pp. 209–210.
- [7] Dennison J. M., Woodward H. P.: *Palinspastic maps of central Appalachians*. AAPG Bulletin 1963, vol. 47, pp. 666–680.
- [8] Dula W. F.: *Geometric models of listric normal faults and rollover folds*. AAPG Bulletin 1991, vol. 75, pp. 1609–1625.
- [9] Elliott D.: *The construction of balanced cross-sections*. Journal of Structural Geology 1983, vol. 5, pp. 101.
- [10] Elliott D.: *The quantitative mapping of directional minor structures*. Journal of Geology 1965, vol. 73, pp. 865–880.
- [11] Elliott D.: *The energy balance and deformation mechanism of thrust sheets*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 1976, vol. 283, pp. 289–312.
- [12] Endignoux L., Moretti I., Roure F.: *Forward modeling of the southern Apennines*. Tectonics 1989, vol. 8, pp. 23–39.
- [13] Faure J., Chermette J.: *Deformation of tilted blocks, consequences on block geometry and extension measurements*. Bulletin de la Societe Geologique de France 1989, vol. 8, no. 3, pp. 461–476.
- [14] Ghisetti F., Barchi M., Bally A. W., Moretti I., Vezzani L.: *Conflicting balanced structural sections across the Central Apennines (Italy): Problems and Implications*, w: Spencer A. M. (ed.): *Generation, Accumulation and Production of Europe's Hydrocarbons III*. Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists 1993, no. 3, pp. 219–231.
- [15] Gibbs A. D.: *Balanced cross-section constructions from seismic section in areas of extensional tectonics*. Journal of Structural Geology 1983, vol. 5, pp. 152–160.
- [16] Gibbs A. D.: *Structural evolution of extensional basin margins*. Journal of Geological Society of London 1984, vol. 141, pp. 609–620.
- [17] Goguel J.: *Tectonics*. San Francisco, Freeman, 1962, 348 p.
- [18] Gwinn V. E.: *Kinematic patterns and estimates of lateral shortening in parts of Valley and Ridge and Cumberland Plateau provinces of the southern Appalachians, south-central Pennsylvania*, w: Fisher G. W., Pettijohn F. J., Reed J. C., Jr., Weaver K. N. (eds.): *Studies of Appalachians Geology: central and southern*. New York, John Wiley-Interscience, 1970, pp. 127–146.
- [19] Hossack J. R.: *The correction of stratigraphic sections for tectonic finite strain in the Bygdin area, Norway*. Journal of Geological Society of London 1978, vol. 135, pp. 229–241.
- [20] Hossack J. R.: *The use of balanced cross-sections in the calculation of orogenic contraction: a review*. Journal of Geological Society of London 1979, vol. 136, pp. 705–711.
- [21] Jankowski L., Probulski J.: *Rozwój tektoniczno-basenowy Karpat zewnętrznych na przykładzie budowy geologicznej złoź Grabownica, Strachocina i Lodyna oraz ich otoczenia*. Geologia 2011, t. 37, z. 4, s. 555–583.
- [22] Jankowski L.: *Kompleksy chaotyczne w rejonie gorlickim (polskie Karpaty zewnętrzne)*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, nr 426, s. 27–52.
- [23] Moretti I., Wu S., Bally A. W.: *Computerized balanced cross-section Locace to reconstruct an Allochthonous salt sheet, offshore Louisiana*. Marine and Petroleum Geology 1990, vol. 7, pp. 371–377.
- [24] *Projekt techniczny interpretacji Błażowa–Dynów*. Dokumentacja wewnętrzna Geofizyki Kraków 2012.
- [25] Rowan M. G., Kligfield R.: *Cross-section restoration and balancing as aid to seismic interpretation in extensional terranes*. AAPG Bulletin 1989, vol. 73, pp. 955–966.
- [26] Schultz-Ela D. D.: *Restoration of cross sections to constrain deformation processes of extensional terranes*. Marine and Petroleum Geology 1992, vol. 9, pp. 372–388.
- [27] Verral J.: *Structural interpretation with application to the North Sea problems*. Course Notes No 3. UK, Joint Association for Petroleum Exploration Courses, 1981.
- [28] Wernicke B., Burchfield B. C.: *Modes of extensional tectonics*. Journal of Structural Geology 1982, vol. 4, pp. 105–115.
- [29] White N. J., Jackson J. A., McKenzie D. P.: *The relationship between the geometry of normal faults and that of sedimentary layers in their hangingwalls*. Journal of Structural Geology 1986, vol. 8, pp. 897–910.
- [30] Williams G., Vann I.: *The geometry of listric normal faults and deformation in their hangingwalls*. Journal of Structural Geology 1987, vol. 9, pp. 789–795.



Mgr inż. Lidia DUDEK
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Geologii i Geochemii.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: lidia.dudek@inig.pl