

Wyniki interpretacji strukturalnej utworów triasu i paleozoiku przedgórze Karpat opartej na nowych danych sejsmicznych

Results of the structural interpretation of Triassic and Palaeozoic formations of the Carpathian Foreland based on new seismic data

Andrzej Urbaniec, Robert Bartoń, Łukasz Bajewski, Aleksander Wilk

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Głównym celem artykułu jest odtworzenie szczegółów budowy strukturalnej utworów triasu i paleozoiku centralnej części przedgórze Karpat na podstawie interpretacji nowych materiałów sejsmicznych 3D. W ramach interpretacji wykonano analizę atrybutów sejsmicznych, wśród których najbardziej pomocne były: *Time gain*, *Relative acoustic impedance*, *First derivative*, *Dominant frequency* oraz *Instantaneous bandwidth*. Dotychczasowe informacje na temat budowy geologicznej kompleksu paleozoicznego w tym obszarze pochodziły głównie z interpretacji profili sejsmicznych 2D, koncepcji regionalnych oraz informacji z jedyne głębokiego otworu wiertniczego zrealizowanego na przełomie lat 50. i 60. XX wieku. Wyniki przeprowadzonej analizy obrazu sejsmicznego wskazują, że podłoże jury zbudowane jest z szeregu bloków tektonicznych o zróżnicowanej wielkości oddzielonych powierzchniami dyslokacji. W większości mają one charakter bloków wychylonych (*tilted blocks*), stanowiąc pozostałość kaledońsko-waryscyjskiego systemu tektonicznego. Utwory paleozoiczne o wyraźnie uporządkowanych ciągłych refleksach sejsmicznych silnie kontrastują w obrazie sejsmicznym z zalegającym poniżej kompleksem anchimetamorficznych skał najwyższego ediakaru o nieuporządkowanym, jednorodnym zapisie. Klastyczne utwory dolnego triasu w pierwszej kolejności wypełniają głębsze partie półtrójkątów tektonicznych. Na podstawie analizy obrazu sejsmicznego kompleks ten podzielono na dwie serie: dolną, o zdecydowanie mniejszych wartościach amplitudy i zauważalnie mniejszej ciągłości refleksów sejsmicznych, oraz górną, o zróżnicowanej dynamice i większej ciągłości refleksów. Najwyższym analizowanym kompleksem są węglanowe utwory retu i wapienia muszlowego, cechujące się wysokimi wartościami amplitudy i dużą ciągłością refleksów, dzięki czemu są one łatwo identyfikowalne na sekcjach sejsmicznych. Przeprowadzona analiza z wykorzystaniem atrybutów sejsmicznych pozwoliła na określenie charakterystyki sejsmicznej poszczególnych kompleksów litostratigraficznych triasu i paleozoiku oraz wniosła bardziej szczegółowe informacje o budowie geologicznej obszaru badań.

Słowa kluczowe: przedgórze Karpat, trias, paleozoik, interpretacja sejsmiczna, atrybuty sejsmiczne.

ABSTRACT: The main purpose of the article was to reconstruct the structural details of the Triassic and Palaeozoic formations of the central part of the Carpathian Foreland based on interpretation of new 3D seismic data. The interpretation included the analysis of seismic attributes, among them Time Gain, Relative acoustic impedance, First derivative, Dominant frequency and Instantaneous bandwidth were the most useful. Previous knowledge on the geological structure of the Palaeozoic complex in this area was derived mainly from the interpretation of 2D seismic sections, regional concepts and data from the only deep well drilled in the late 1950s and early 1960s. The results of the seismic image analysis show that the Jurassic sub-surface is composed of a number of tectonic blocks of various sizes, separated by dislocation zones. Most of them are tilted blocks which are the remnants of the Caledonian-Variscan tectonic system. Palaeozoic sediments with clearly arranged continuous seismic reflectors strongly contrast in the seismic image with the complex of anchimetamorphic rocks of the uppermost Ediacaran characterized by disarranged, homogeneous record. Clastic formations of the Lower Triassic fill primarily the deeper parts of the tectonic half-grabens. Based on the seismic image analysis, the complex is divided into two series: the lower one, with significantly lower amplitude values and noticeably lower continuity of seismic reflectors and the upper one with diversified dynamics and greater continuity of reflectors. The highest analyzed complex is the carbonate formation of Roetian and Muschelkalk, characterized by high amplitude values and high continuity of reflectors so that it can be easily identified on seismic sections. The analysis carried out with the use of seismic attributes allowed to determine the seismic characteristics of individual lithostratigraphic complexes of the Triassic and Palaeozoic formations and provided more detailed information on the geological structure of the research area.

Key words: Carpathian Foreland, Triassic, Palaeozoic, seismic interpretation, seismic attributes.

Autor do korespondencji: A. Urbaniec, e-mail: andrzej.urbaniec@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 20.11.2019 r. Zatwierdzono do druku: 20.08.2020 r.

Wstęp

Utwory głębszych pięter strukturalnych (tj. triasu, paleozoiku i neoproterozoiku) w centralnej części przedgórze Karpat cechują się na ogół dosyć słabym stopniem rozpoznania geologicznego. Najmniej informacji na temat wykształcenia litofacjalnego i konfiguracji strukturalnej utworów podłoża jury pochodziło dotąd właśnie z rejonu pomiędzy Dąbrową Tarnowską a Wiewiórką, stanowiącego obszar badań prezentowanej pracy (rys. 1). Dotychczasowe informacje dotyczące budowy geologicznej kompleksu paleozoicznego w tym obszarze pochodziły głównie z interpretacji profili sejsmicznych 2D, koncepcji regionalnych oraz informacji z jedyne go głębokiego otworu wiertniczego N-3, zrealizowanego na przełomie lat 50. i 60. XX wieku. Odwiert ten, usytuowany w NW części obszaru badań (rys. 1), przewiercił cały profil utworów paleozoiku i zakończył wiercenie w stropowej partii kompleksu ediakarskiego, jednak materiał rdzeniowy pobrany z tego otworu nie zachował się, co uniemożliwia weryfikację jego profilu litostratygraficznego.

Do najważniejszych prac poruszających kwestie budowy geologicznej utworów triasu i paleozoiku w badanym rejonie należą publikacje Zajac (1981, 1984), Moryca (1992, 1996, 2006a, 2006b, 2014), Jawora i Baran (2004) oraz Urbańca et al. (2013).

Nowych danych na temat wgłębnej budowy geologicznej omawianego rejonu dostarczyło zdjęcie sejsmiczne 3D, wykonane w roku 2015, jak również głęboki otwór O-1 (rys. 1), który

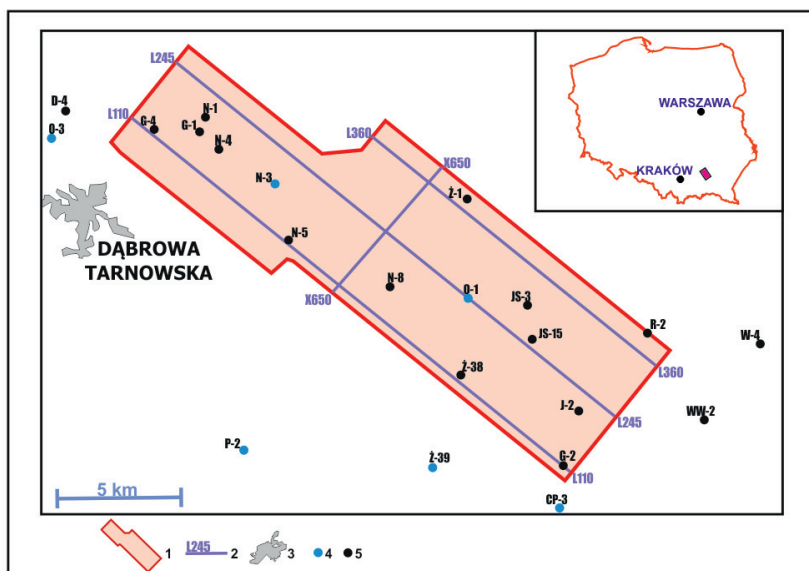
zakończył wiercenie w stropowej partii węglanowego kompleksu utworów młodszego paleozoiku. W związku z tym celem niniejszej pracy jest przybliżenie niektórych szczegółów budowy strukturalnej utworów triasu i paleozoiku na podstawie interpretacji sejsmicznej z wykorzystaniem atrybutów sejsmicznych.

Zarys budowy geologicznej rejonu

Najstarsze piętro strukturalne reprezentuje w badanym rejonie seria anchimetamorficznych skał neoproterozoiku, związanych genetycznie z blokiem małopolskim. Późnoediakarski wiek utworów opisywanego kompleksu dokumentują badania biostratygraficzne wykonane na próbkach pochodzących z wielu otworów wiertniczych (Moryc i Jachowicz, 2000; Buła et al., 2008; Żelaźniewicz et al., 2009; Jachowicz-Zdanowska, 2011).

Utwory dolnego paleozoiku w obszarze badań, podobnie jak neoproterozoik, cechują się bardzo słabym stopniem rozpoznania geologicznego. Występowanie skał datowanych na ordowik, zarówno węglanowych, jak i klastycznych, stwierdzone zostało w kilku odwiertach usytuowanych na północny wschód od obszaru badań, tj. Niwki-3, Mędrzechów-1, Lubasz-2 oraz Zalesie-1 (Karnkowski i Głowacki, 1961; Tomczyk, 1963; Kwiatkowski et al., 1966) (rys. 2). Utwory syluru reprezentowane są przez serię ciemnoszarych i szarzielonkawych łupków i mułowców z fauną graptolitową i wkładkami margli. W sąsiedztwie obszaru badań zostały one rozpoznane w profilach otworów Ż-39 i CP-3.

Utwory dewonu dolnego na obszarze przedgórze Karpat reprezentowane są przez ilasto-piaszczyste osady lądowe, występujące lokalnie i na ogół o niewielkich miąższościach, rzędu kilku-kilkunastu metrów. Devon środkowy i górny reprezentuje kompleks utworów węglanowych z wkładkami skał klastycznych. Korelacja litostratygraficzna utworów dewonu środkowego i górnego pomiędzy otworami i poszczególnymi rejonami przedgórze Karpat jest bardzo trudna, głównie ze względu na istniejące duże luki sedymentacyjne w profilach niektórych stref (związanych z określonymi blokami tektonicznymi) oraz silną diachroniczność facji. W niektórych rejonach przedgórze Karpat wykazano, że kompleks utworów węglanowo-klastycznych leżący bezpośrednio ponad utworami dolnego dewonu jest wieku fameńskiego (np. Świetlik, 2013). Tym samym możliwość dokładniejszego określenia relacji wiekowych utworów węglanowego kompleksu, zaliczanego do środkowego-górnego dewonu i dolnego karbonu, jest obecnie bardzo problematyczna,



Rys. 1. Lokalizacja analizowanego zdjęcia sejsmicznego 3D; 1 – kontury zdjęcia sejsmicznego 3D, 2 – prezentowane w artykule linie i trasy sejsmiczne, 3 – kontury miast, 4 – głębokie odwierty, które dowierciły do utworów paleozoiku lub prekambriu, 5 – pozostałe wybrane otwory wiertnicze

Fig. 1. Location and outlines of analysed 3D seismic survey; 1 – 3D seismic survey outlines, 2 – seismic lines and traces presented in the article, 3 – cities, 4 – deep boreholes reaching Palaeozoic or Precambrian sediments, 7 – other selected boreholes

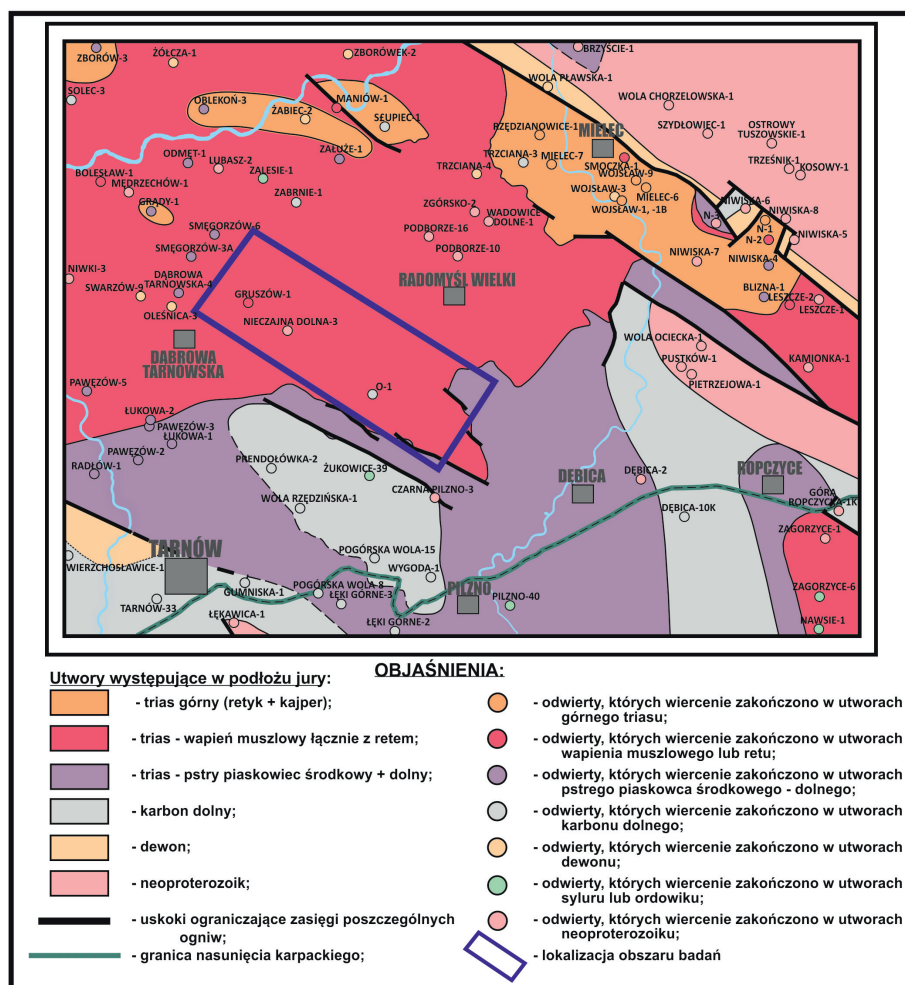
gdź w większości odwiertów brakuje szczegółowych datowań biostratygraficznych, a stratygrafia ustalana była w dużej mierze na podstawie podobieństwa litologicznego pomiędzy odwiertami oraz korelacji wykresów geofizyki otworowej. Bez szczegółowych badań biostratygraficznych przeprowadzenie wiarygodnej korelacji wiekowej omawianych utworów jest w zasadzie niemożliwe.

Zgodnie z dotychczasowymi poglądami na temat występowania utworów dewonu brak jest ich na większości obszaru badań – z wyjątkiem jego NW części, tj. rejonu Dąbrowy Tarnowskiej–Gruszowa. Dokumentację biostratygraficzną posiada natomiast jedynie kompleks wapieni gruzłowych występujący w profilu dewonu w otworze Niwki-3, położonym na NW od Dąbrowy Tarnowskiej, a zespół konodontów znalezionych w tym kompleksie określa jego wiek na wczesny faunen (Zajac, 1984).

W profilu utworów dolnego karbonu (rozpoznanych w obszarze badań m.in. w otworach N-3 i O-1) przeważają wapienie i dolomity, lokalnie z wkładkami margli lub utworów marglisto-ilastych. W rdzeniu pobranym ze stropowej partii utworów karbonu w otworze O-1 (interwał 2457–2479 m) dominują brunatnobrązowe wapienie skrytokrystaliczne bez wyraźnych struktur sedymentacyjnych. Jedynie w stropowej partii rdzenia występują utwory o charakterze brekcji węglanowej o miąższości 45 cm, natomiast bezpośrednio pod nimi widoczna jest żyła barytu zawierająca rozproszony detryt kwarcowy. W obrębie wspomnianej brekcji występują klasty wapieni karbońskich o podobnym charakterze jak utwory zalegające w niższej części profilu. Są to masywne wapienie beżowo-brązowo-wiśniowe z dużą ilością makrofauny, reprezentowanej przez ramienionogi, cienkoskorupowe małże, koralowce osobnicze z grupy *Rugosa* oraz koralowce kolonijne z grupy *Tabulata*. Analiza mikrofacjalna wykonana na próbkach z opisanych węglanów karbonu wykazała, że są to głównie grainstone otwornicowe z bogatymi i dobrze zachowanymi zespołami mikroorganizmów. Wiek skał określono na wyższy wizen (Bobrek, 2015).

Pełny profil utworów triasu dolnego i środkowego rozpoznano jedynie w dwóch odwiertach: N-3 i O-1. Z kolei otwór G-1 nawiercił zaledwie 2 m profilu utworów węglanowych wapienia

muszlowego. Kompleks litostratygraficzny określany w tradycyjnym ujęciu jako pstry piaskowiec dolny i środkowy (Głowacki i Senkowiczowa, 1969; Szyperko-Teller i Moryc, 1988; Becker i Nawrocki, 2007) rozwinięty jest na obszarze przedgórzia Karpat w postaci serii utworów klastycznych, ilasto-piaszczystych, a lokalnie także zlepieńcowatych. Pod względem chronostratygraficznym osady omawianego kompleksu reprezentują piętra ind i olenek (vide Becker i Nawrocki, 2007; Wagner, 2008). Seria utworów retu (górnego pstręgo piaskowca) reprezentowana jest głównie przez osady marglisto-wapienne, z wtrąceniami skał siarczanowych. Ze względu na podobne wykształcenie litologiczne i brak możliwości rozdzielenia w profilach otworów wiertniczych, utwory retu łączone są zazwyczaj w jeden kompleks litostratygraficzny z osadami wapienia muszlowego (Urbaniec et al., 2013) (rys. 2). Wiek utworów retu określany jest na późny olenek (Szulc, 2007). W profilu utworów wapienia muszlowego dominują skały węglanowe, lokalnie z wtrąceniami gipsów lub anhydrytów. Przedział czasowy osadzania się utworów wapienia



Rys. 2. Szkic zasięgów utworów starszych od jury w środkowej części przedgórzia Karpat (według Urbańca et al., 2013, uzupełniony)

Fig. 2. Geological map of the formations older than Jurassic in the central part of the Carpathian Foreland (after Urbaniec et al., 2013; modified)

muszlowego na obszarze Polski pozakarpackiej obejmuje anizyk i wczesny lądyn (Narkiewicz i Szulc, 2004; Szulc, 2007).

Ponad utworami triasu w obszarze badań zalegają bezpośrednio utwory górnego keloweju (Moryc, 2018), wykształcone jako czerwone wapienie, często zapiaszczone z nieregularnymi porwakami wapieni, margli, konkrecji fosforanowo-wapiennych lub limonitowych. Wyżej w profilu zalega charakterystyczny kompleks utworów węglanowych jury górnej i kredy dolnej tworzący zwartą i mięszką pokrywę na całym obszarze badań. Kończące profil mezozoiku utwory węglanowe kredy górnej wykazują znaczne zróżnicowanie miąższościowe, wynikające głównie z ich nierównomiernego stopnia zerodowania.

Mięszki kompleks utworów miocenu autochtonicznego w analizowanym rejonie podzielić można na trzy zasadnicze jednostki litostratygraficzne: klastyczną serię podewaporatową, serię ewaporatową badenu górnego oraz serię utworów klastycznych badenu górnego i sarmatu (vide Jasionowski, 1997; Urbaniec et al., 2019).

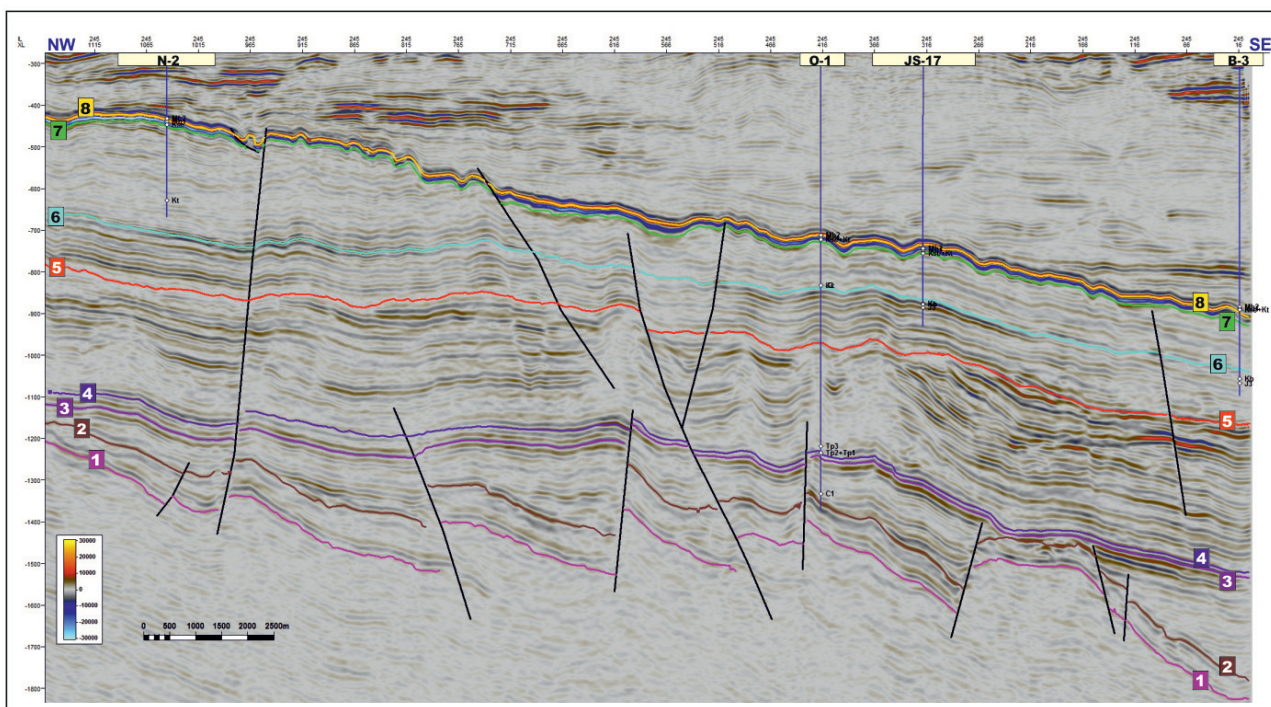
Analiza obrazu sejsmicznego oparta na interpretacji wybranych atrybutów sejsmicznych

W ramach prezentowanej pracy wykorzystano podstawową wersję interpretacji strukturalnej, wykonanej w Geofizyce

Kraków S.A. w ramach dokumentacji tematu sejsmicznego (Nawieśniak, 2016), obejmującą korelację powierzchni uskokowych w obrębie utworów wszystkich pięter strukturalnych oraz korelację ośmiu granic sejsmicznych o zasięgu regionalnym (rys. 3), przy czym niektóre z granic i płaszczyzn dyslokacji zostały w różnym stopniu przekorelowane lub zmienione. Reinterpretacja ta, zwłaszcza w przypadku płaszczyzn dyslokacji, była wynikiem omawianej w niniejszym artykule analizy atrybutowej.

W ramach analizy atrybutów na wolumenie sejsmicznym 3D obliczono i przeanalizowano szereg różnego typu atrybutów dostępnych w ramach oprogramowania Petrel firmy Schlumberger (wersja 2017). W niniejszym artykule przedstawiono jedynie te atrybuty, które w najlepszym stopniu odwzorowują budowę geologiczną interpretowanego rejonu, tj.: *Time gain* (wzmocnienie czasowe), *Relative acoustic impedance* (względna impedancja akustyczna), *First derivative* (pierwsza pochodna), *Dominant frequency* (częstotliwość dominująca) oraz *Instantaneous bandwidth* (chwilowa szerokość pasmowa).

Na podstawie przeprowadzonej analizy obrazu sejsmicznego pod kątem położenia strukturalnego utworów podłoża jury stwierdzono, że jest ono zbudowane z szeregu bloków tektonicznych o zróżnicowanej wielkości, oddzielonych powierzchniami dyslokacji (rys. 3). Elementy te mają w większości charakter



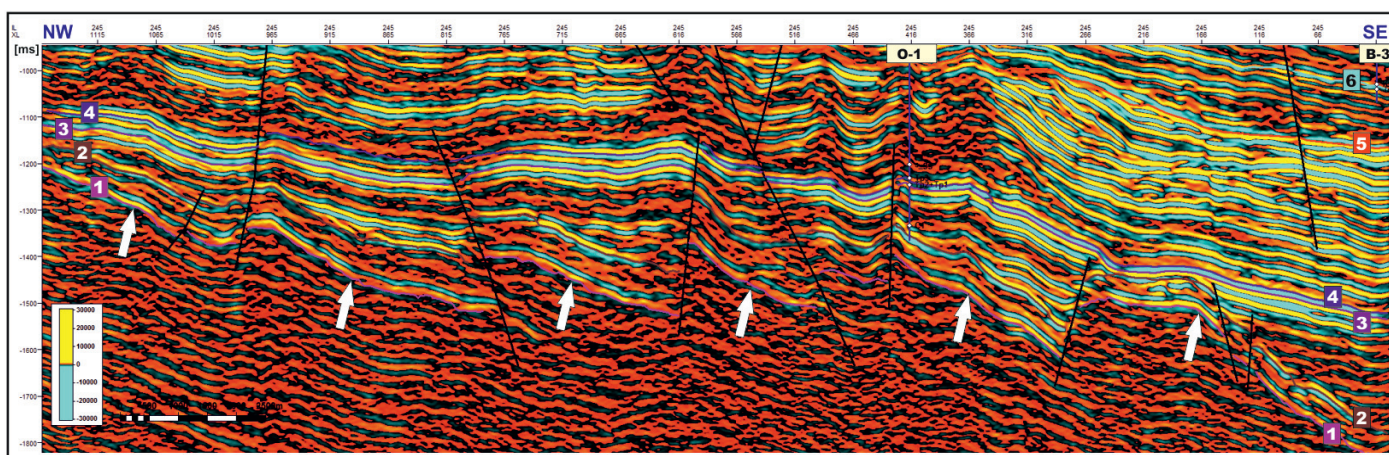
Rys. 3. Interpretowane granice sejsmiczne (interpretacja w Geofizyce Kraków S.A., częściowo zmieniona) na tle czasowej sekcji sejsmicznej L245; 1 – stop neoproterozoiku, 2 – stop karbonu, 3 – stop pstrego piaskowca środkowego i dolnego, 4 – spąg jury, 5 – granica wewnątrzjurajska, 6 – stop górnej jury i dolnej kredy, 7 – stop kredy górnej, 8 – stop serii ewaporatowej badenu

Fig. 3. Seismic time section L245 with interpretation (interpretation from Geofizyka Kraków S.A., partially modified); 1 – the top of Neoproterozoic, 2 – the top of Carboniferous, 3 – the top of Middle and Lower Buntsandstein, 4 – the base of Jurassic, 5 – the intra-Jurassic horizon, 6 – the top of Upper Jurassic and Lower Cretaceous, 7 – the top of Upper Cretaceous, 8 – the top of the Badenian evaporite series

tw. bloków wychylonych (*tilted blocks*) (vide Paszkowski, 1988) i najprawdopodobniej stanowią pozostałość kaledońsko-waryscyjskiego systemu tektonicznego. Najczęściej NW fragmenty bloków podłoża są wyniesione tektonicznie, natomiast ich części SE są obniżone, co nadaje im charakter półrównin tektonicznych, ograniczonych od strony południowej lub południowo-wschodniej powierzchniami dyslokacji. Trend ten dobrze widoczny jest na profilach sejsmicznych (rys. 3), w tym

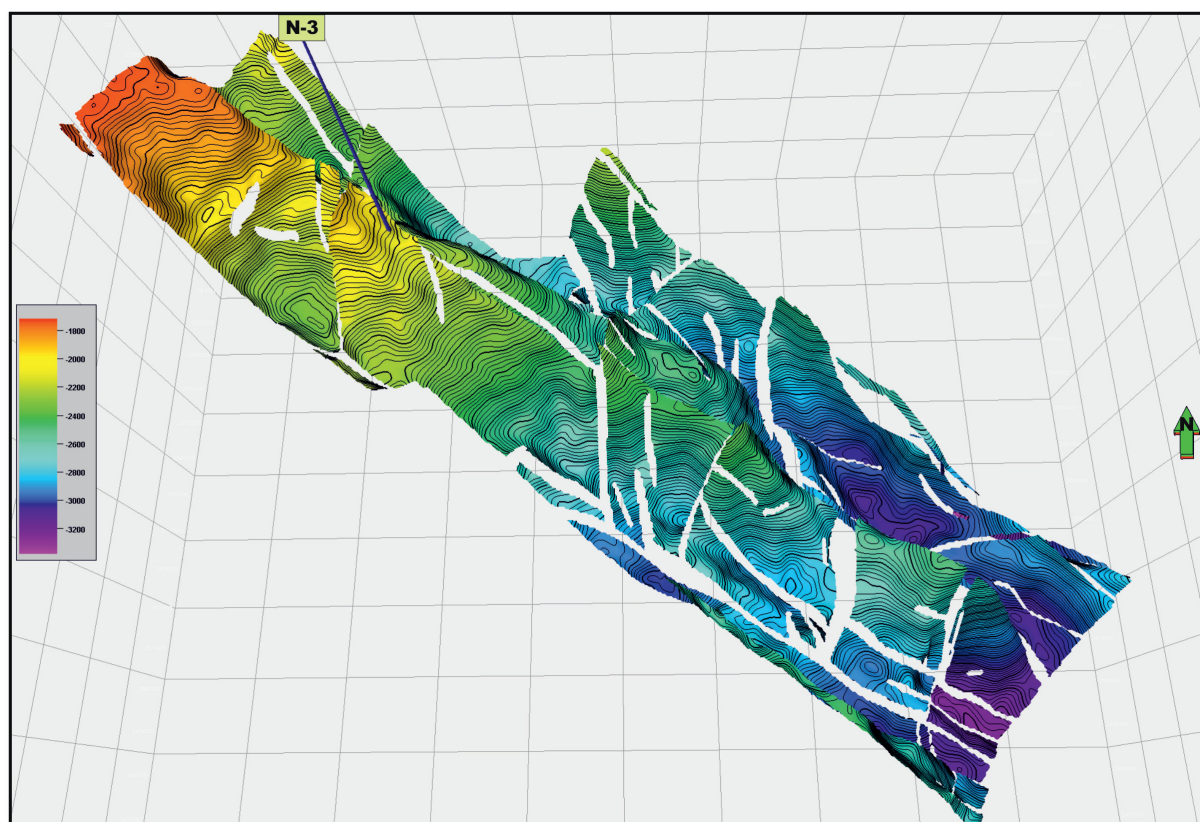
zwłaszcza w wersjach niektórych atrybutów sejsmicznych, np. *First derivative* (rys. 4). Dobrze widoczny jest on również w obrazie powierzchni stropowej podłoża neoproterozoicznego, po zdjęciu wypełnienia osadowego złożonego z utworów triasu i paleozoiku (rys. 5).

Jak wspomniano wyżej, podłoże utworów paleozoiku zbudowane jest z anchimetamorficznych skał wieku ediakarskiego, stanowiących odrębne piętro strukturalne. Seria ta cechuje się



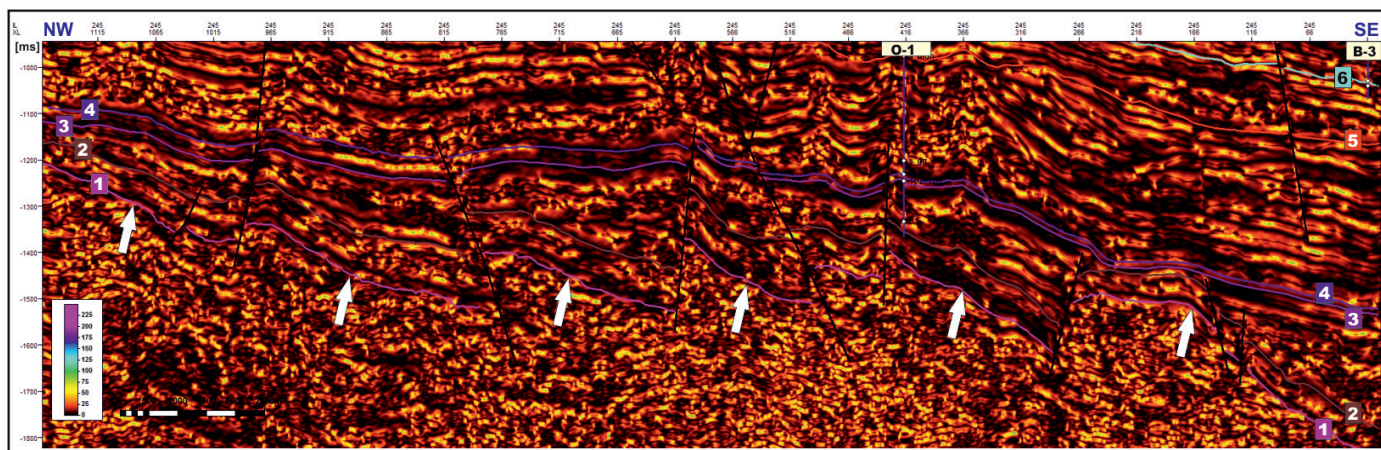
Rys. 4. Czasowy przekrój sejsmiczny L245 w wersji atrybutu *First derivative*. Strzałkami wskazano strop utworów neoproterozoiku; interpretowane granice sejsmiczne jak na rys. 3

Fig. 4. Seismic time section L245 in the version of the First derivative attribute. The arrows indicate the top of the Neoproterozoic basement; interpreted seismic horizons as shown in Fig. 3.



Rys. 5. Obraz przestrzenny powierzchni stropowej kompleksu skał anchimetamorficznych neoproterozoiku

Fig. 5. 3D image of the top surface of the Neoproterozoic anchimetamorphic rock complex



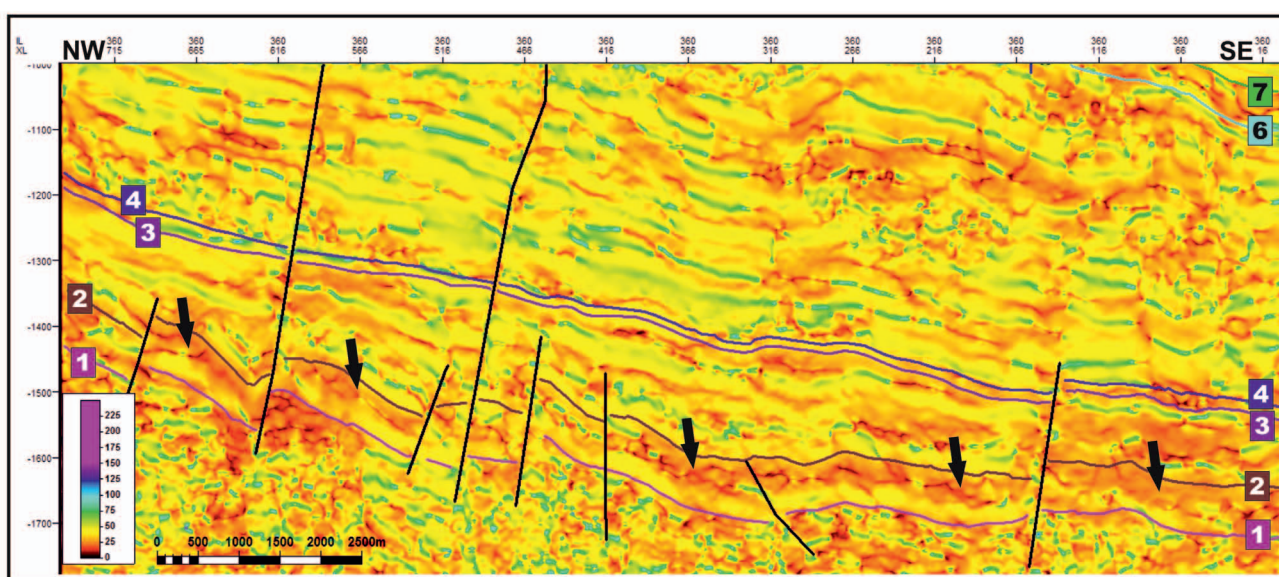
Rys. 6. Czasowy przekrój sejsmiczny L245 w wersji atrybutu *Instantaneous bandwidth*. Strzałkami wskazano strop utworów neoproterozoiku; interpretowane granice sejsmiczne jak na rys. 3

Fig. 6. Seismic time section L245 in the version of the *Instantaneous bandwidth* attribute. The arrows indicate the top of the Neoproterozoic basement; interpreted seismic horizons as shown in Fig. 3

znacznym stopniem deformacji tektonicznej, a upady warstw są bardzo zróżnicowane, niekiedy dochodzące do 60°. Tak duży stopień deformacji powoduje, że w obrazie sejsmicznym kompleks ten charakteryzuje się na ogół dosyć jednorodnym zapisem, wyraźnym brakiem ciągłości refleksów i zróżnicowanymi kątami upadu. Zapis ten przeważnie bardzo silnie kontrastuje z obrazem sejsmicznym utworów paleozoicznych, zalegających w nakładzie neoproterozoiku, o wyraźnie uporządkowanych ciągłych refleksach sejsmicznych, sugerujących ich warstwowanie. Efekt ten doskonale odzwierciedlają i wypuklają niektóre atrybuty sejsmiczne wykorzystywane do analizy ciągłości warstw, w tym zwłaszcza *First derivative* (rys. 4) czy *Instantaneous bandwidth* (rys. 6), ale również

inne atrybuty, takie jak *Envelope* oraz *Instantaneous phase*. Generalnie atrybuty te są bardzo pomocne w precyzyjnym wyznaczeniu granicy stropowej kompleksu prekambryjskiego.

Opisane wyżej niecki o genezie tektonicznej w partii spągowej zbudowane są z utworów paleozoicznych, których ułożenie dosyć wiernie naśladuje kształt powierzchni stropowej neoproterozoiku. Zaobserwowano, że utwory paleozoiczne w analizowanym rejonie przedgórzia Karpat cechują się na ogół niskimi wartościami częstotliwości, w przeciwieństwie do utworów ediakaru i triasu, które mają silnie zróżnicowane wartości częstotliwości, dzięki czemu pakiet skał paleozoicznych może być dosyć łatwo identyfikowalny w zapisie atrybutów częstotliwościowych, takich jak np. *Dominant frequency* (rys. 7).



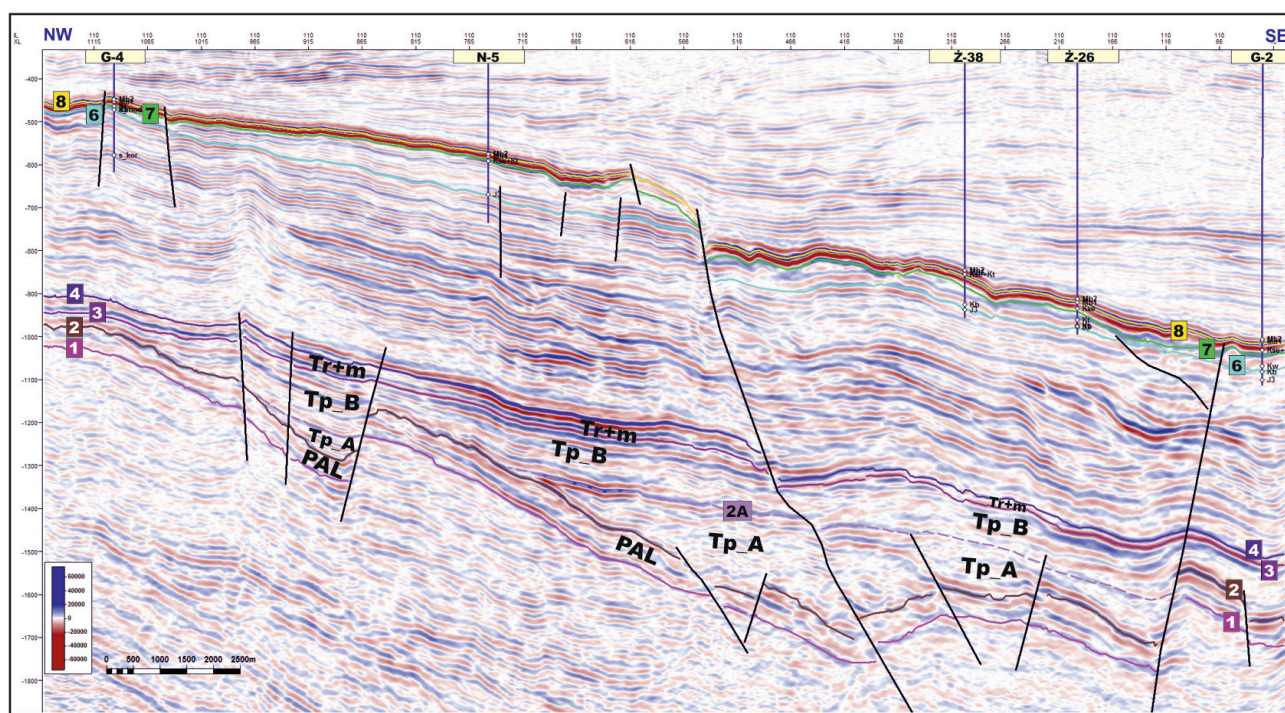
Rys. 7. Czasowy przekrój sejsmiczny L360 w wersji atrybutu *Dominant frequency*. Strzałkami wskazano kompleks utworów paleozoiku; interpretowane granice sejsmiczne jak na rys. 3

Fig. 7. Seismic time section L360 in the version of the *Dominant frequency* attribute. The arrows indicate the top of the Palaeozoic complex; interpreted seismic horizons as shown in Fig. 3

Ponad utworami paleozoiku, z niezgodnością kątową, za-
legają klastyczne utwory dolnego triasu (ogniwo pstrego pia-
skowca dolnego i środkowego), które stopniowo wypełnia-
ją wspomniane półrowy. Geometria wypełnienia osadowego
wskazuje, że w pierwszej kolejności wypełniane były najgłęb-
sze, południowe partie rowów. Kolejne partie osadów wypeł-
niających zagłębienia leżą przekraczająco na warstwach starszych.
Na rysunkach 8–11 linią przerywaną zaznaczono granicę
wewnątrztriasową (opisaną symbolem 2A), dzielącą kom-
pleks utworów pstrego piaskowca dolnego i środkowego na
dwie serie, częściowo różniące się zapisem sejsmicznym. Seria
dolna (oznaczona symbolem Tp_A) cechuje się zdecydowanie
mniejszymi wartościami amplitudy oraz zauważalnie mniej-
szą ciągłością refleksów sejsmicznych, co szczególnie dobrze
widoczne jest w odtworzeniu atrybutów *Relative acoustic im-
pedance* (rys. 9) i *First derivative* (rys. 10). Utwory tego kom-
pleksu stwierdzono wyłącznie w obrębie większych obniżzeń
tektonicznych. Natomiast w obrębie serii górnej (oznaczona
symbolem Tp_B) ciągłość refleksów jest większa, a ich dyna-
mika zróżnicowana. Kompleks ten może być śladowany już na
całym obszarze analizowanego zdjęcia sejsmicznego. W trak-
cie sedymentacji kompleksu górnego doszło najprawdopodobniej
do ujednoczenia paleomorfologii basenu sedymentacyjnego
w wyniku całkowitego wypełnienia wcześniejszych deni-
welacji tektonicznych osadami kompleksu dolnego (Tp_A).

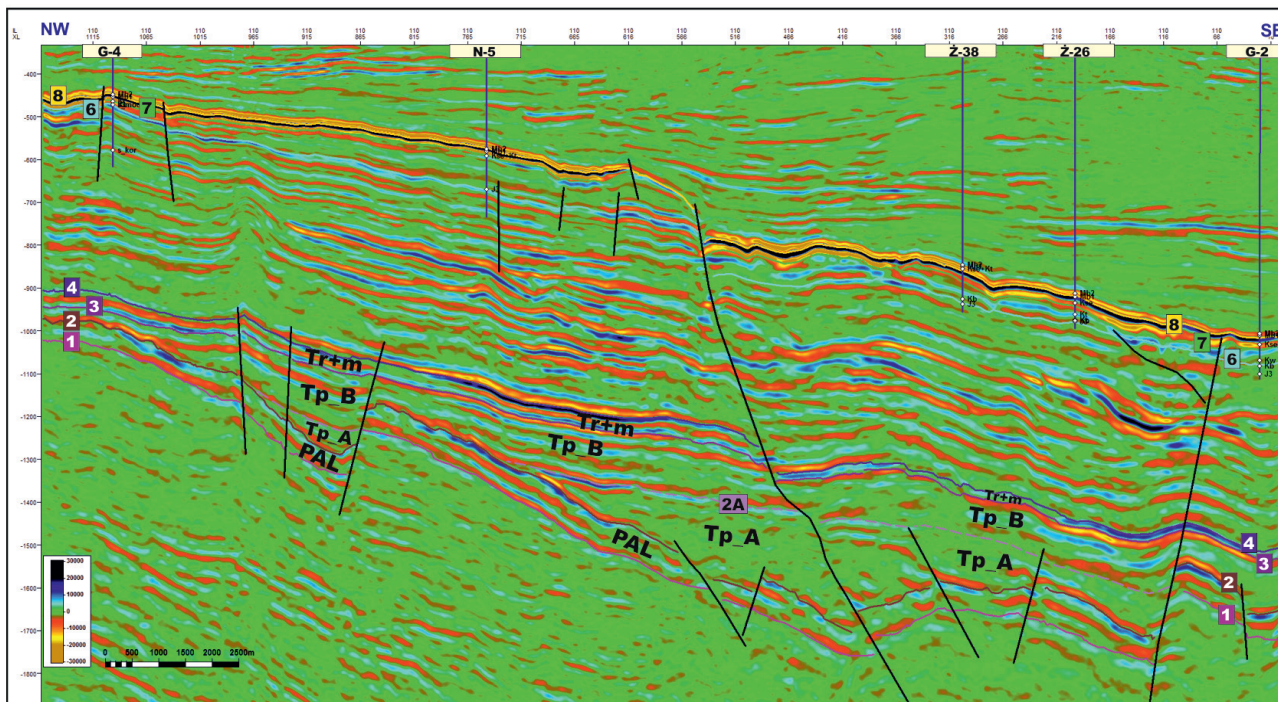
Ponad kompleksem Tp_B w obszarze badań zalega kom-
pleks utworów marglisto-wapiennych z wtrąceniami skał
siarczanowych, wyróżniany w tradycyjnym podziale lito-
stratygraficznym jako seria utworów retu i wapienia musz-
lowego (Senkowiczowa, 1959, 1965; Moryc, 1971, 2014;
Senkowiczowa i Szyperko-Śliwczynska, 1972; Urbaniec et al.,
2013). W zapisie sejsmicznym kompleks ten cechuje się
przede wszystkim wysokimi wartościami amplitudy, jak
również dużą ciągłością refleksów, dzięki czemu jest on sto-
sunkowo łatwo identyfikowalny na sekcjach sejsmicznych
(oznaczony symbolem Tr+m na rys. 8–11). Jego powierzch-
nia stropowa jest regionalną powierzchnią erozyjną, a miąż-
szość całego kompleksu wyraźnie zmniejsza się w kierunku
południowo-wschodnim wskutek coraz większego stop-
nia ścięcia erozyjnego.

Podobnego typu system bloków tektonicznych podłoża
paleozoicznego jak opisany powyżej zidentyfikował również
Złonkiewicz (2004, 2006a, 2006b, 2011) w sąsiadującym od
północy obszarze niecki niżniańskiej. Elementy tektonicz-
ne opisane przez tego autora stanowią bezpośrednią konty-
nuację bloków tektonicznych z obszaru przedgórzia Karpat.
W pracach tych Złonkiewicz wskazuje na wyraźny związek
paleogeografii basenu sedymentacyjnego w okresie jurajskim
z synsedymentacyjną aktywnością struktur kaledońsko-wary-
scyjskiego podłoża. Istotny etap aktywności tektonicznej na



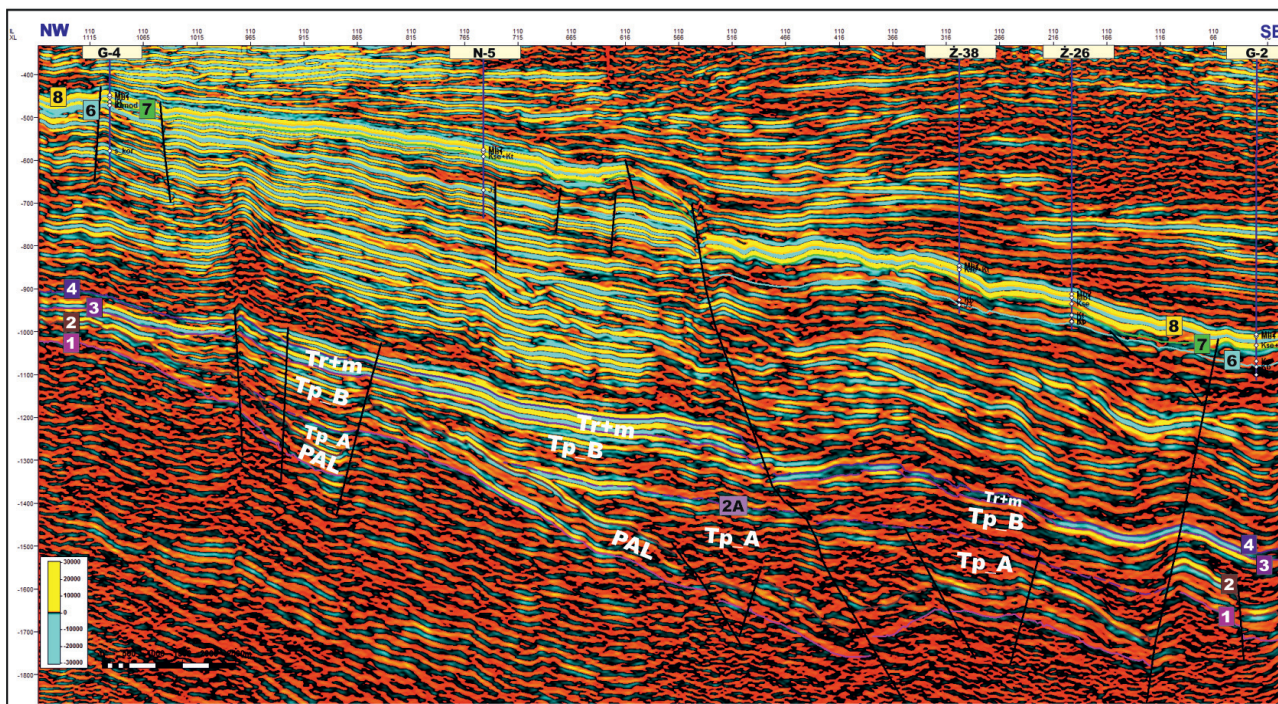
Rys. 8. Czasowy przekrój sejsmiczny L110 w wersji atrybutu *Time gain*. PAL – utwory paleozoiku, Tp – ogniwo pstrego piaskowca dolnego i środkowego (A – seria dolna, B – seria górna), Tr+m – utwory retu i wapienia muszlowego, 2A – granica wewnątrztriasowa; pozostałe interpretowane granice sejsmiczne jak na rys. 3

Fig. 8. Seismic time section L110 in the version of the Time gain attribute. PAL – Palaeozoic complex, Tp – Middle and Lower Buntsandstein formations (A – lower series, B – upper series), Tr+m – Rot and Muschelkalk formations, 2A – intra-Triassic horizon; other interpreted seismic horizons as shown in Fig. 3



Rys. 9. Czasowy przekrój sejsmiczny L110 w wersji atrybutu *Relative acoustic impedance* (objaśnienia jak na rys. 8)

Fig. 9. Seismic time section L110 in the version of the *Relative acoustic impedance* attribute (explanations as in Fig. 8)

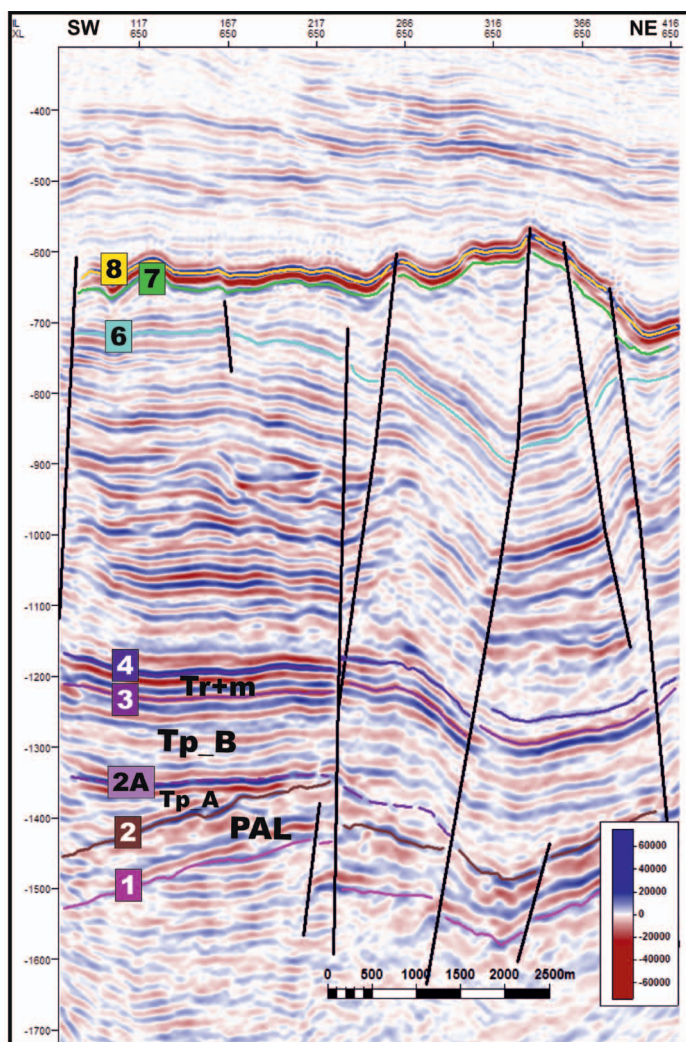


Rys. 10. Czasowy przekrój sejsmiczny L110 w wersji atrybutu *First derivative* (objaśnienia jak na rys. 8)

Fig. 10. Seismic time section L110 in the version of the *First derivative* attribute (explanations as in Fig. 8)

przełomie triasu i jury, jak i kolejne epizody zachodzące przypuszczalnie także w okresie wczesnej i środkowej jury, wiązały się z reaktywacją starszych stref uskokowych, ograniczających bloki podłoża. W obszarze przedgórzia Karpat efektem

tych wydarzeń było z pewnością ponowne zróżnicowanie paleomorfologii dna zbiornika morskiego, które miało wpływ na znaczne zróżnicowanie facjalne osadów w epoce późnojurajskiej (Urbaniec, 2018).



Rys. 11. Czasowy przekrój sejsmiczny X650 w wersji atrybutu *Time gain* (objaśnienia jak na rys. 8)

Fig. 11. Seismic time section L110 in the version of the *Time gain* attribute (explanations as in Fig. 8)

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że paleozoiczno-triasowe podłoże utworów jury w centralnej części przedgórz Karpát zbudowane jest z szeregu bloków tektonicznych o zróżnicowanej wielkości, mających charakter tzw. bloków wychylonych (*tilted blocks*), stanowiących pozostałość kaledońsko-waryscyjskiego systemu tektonicznego. Utwory paleozoiku w badanym rejonie charakteryzują się dużą ciągłością refleksów i niskimi wartościami częstotliwości. Klastyczne utwory dolnego triasu w pierwszym etapie sedymentacji wypełniały pierwotne zagłębienia, a w ich obrębie wyróżnić można dwie serie, różniące się zapisem sejsmicznym, tj. serię dolną (Tp_A), cechującą się słabą dynamiką i brakiem ciągłości refleksów sejsmicznych, oraz serię górną (Tp_B), o większej ciągłości i zróżnicowanej dynamice refleksów. W trakcie sedymentacji serii górnej doszło zapewne

do ujednoczenia paleomorfologii basenu sedymentacyjnego na skutek całkowitego wypełnienia osadami obniżek tektonicznych. Kompleks utworów węglanowych retu i wapienia muszlowego cechuje się na ogół dużymi wartościami amplitudy oraz dużą ciągłością refleksów, dzięki czemu może on być łatwo identyfikowalny na sekcjach sejsmicznych.

Przeprowadzona w ramach niniejszej pracy analiza zdjęcia sejsmicznego 3D z wykorzystaniem atrybutów sejsmicznych pozwoliła na przedstawienie generalnej charakterystyki sejsmicznej poszczególnych kompleksów litostratygraficznych triasu i paleozoiku.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Uszczegółowienie interpretacji sejsmicznej w obszarze zapadliska przedkarpackiego na podstawie kompleksowej analizy pomiarów geofizyki otworowej, część II: podłoże mezo-paleozoiczne*; praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia 0071/SR/2019, nr archiwalny DK-4100-0061/2019.

Literatura

- Becker A., Nawrocki J., 2007. Buntsandstein. [W:] Szulc J., Becker A. (eds.). International workshop on the Triassic of Southern Poland, September 03–08.2007. Fieldtrip guide. *Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, Cracow*: 7–16.
- Bobrek L., 2015. Opracowanie mikropaleontologiczne i mikrofacjalne próbek z odwiertu O-1. [W:] Dokumentacja wynikowa otworu poszukiwawczego O-1. *Archiwum PGNiG S.A., Warszawa*.
- Buła Z., Żaba J., Habryn R., 2008. Regionalizacja tektoniczna Polski – Polska południowa (blok górnośląski i małopolski). *Przegląd Geologiczny*, 56(10): 912–920.
- Głowacki E., Senkowiczowa H., 1969. Uwagi o rozwoju triasu na obszarze południowo-wschodniej Polski. *Kwartalnik Geologiczny*, 13(2): 338–356.
- Jachowicz-Zdanowska M., 2011. Organic microfossil assemblages from the late Ediacaran rocks of the Małopolska Block, south-eastern Poland. *Geological Quarterly*, 55(2): 85–94.
- Jasionowski M., 1997. Zarys litostratygrafii osadów miocenijskich wschodniej części zapadliska przedkarpackiego. *Biuletyn Państw. Inst. Geol.*, 375: 43–60.
- Jawor E., Baran U., 2004. Budowa geologiczna i charakterystyka utworów karbonu w południowej części bloku małopolskiego. [W:] Kotarba M.J. (red.). *Możliwości generowania węglowodórów w skałach karbonu w południowej części bloku górnośląskiego i małopolskiego*. Wyd. Naukowe „Akapit”, Kraków: 25–48.
- Karnkowski P., Głowacki E., 1961. O budowie geologicznej utworów podmiocenijskich przedgórz Karpát środkowych. *Kwartalnik Geologiczny*, 5(2): 372–419.
- Kwiatkowski S., Moryc W., Tomczyk H., 1966. Osady paleozoiczne wiercenia Zalesie 1 koło Szczucina. *Kwartalnik Geologiczny*, 10(2): 283–295.
- Moryc W., 1971. Trias przedgórz Karpát środkowych. *Rocznik Pol. Tow. Geol.*, 41(3): 419–486.
- Moryc W., 1992. Budowa geologiczna utworów podłoża miocenu w rejonie Sędziszów Małopolski–Rzeszów i ich perspektywiczność. *Nafta-Gaz*, 9–10: 205–223.
- Moryc W., 1996. Budowa geologiczna podłoża miocenu w rejonie Pilzno–Dębica–Sędziszów Małopolski. *Nafta-Gaz*, 12: 521–550.
- Moryc W., 2006a. Budowa geologiczna podłoża miocenu w rejonie

- Kraków–Pilzno. Część I. Prekambr i paleozoik (bez permu). *Nafta-Gaz*, 5: 197–216.
- Moryc W., 2006b. Budowa geologiczna podłoża miocenu w rejonie Kraków–Pilzno. Część II. Perm i mezozoik. *Nafta-Gaz*, 6: 263–282.
- Moryc W., 2014. Perm i trias przedgórza Karpat polskich. *Biuletyn Państw. Inst. Geol.*, 457: 43–67.
- Moryc W., 2018. Utwory jury środkowej przedgórza Karpat na obszarze Wadowice–Busko–Rzeszów, południowa Polska. *Prace Państw. Inst. Geol.*, 205: 1–55.
- Moryc W., Jachowicz M., 2000. Utwory prekambryjskie w rejonie Bochnia–Tarnów–Dębica. *Przegląd Geologiczny*, 48(7): 601–606.
- Narkiewicz K., Szulc J., 2004. Controls of migration of conodont fauna in peripheral oceanic areas. An example from the Middle Triassic of the Northern Peri-Tethys. *Geobios*, 37(4): 425–436.
- Nawieśniak E. (kierownik zesp.), 2016. Dokumentacja wyników badań sejsmicznych, Temat: Przetwarzanie i interpretacja danych sejsmicznych 3D Jastrząbka–Żarówka, rok 2015. *Archiwum PGNiG SA., Warszawa*.
- Paszowski M., 1988. Basen dinantu w okolicach Krakowa – próba syntezy. *Przegląd Geologiczny*, 36(4): 200–207.
- Senkowiczowa H., 1959. Środkowy trias na obszarze zapadliska przedkarpackiego. *Kwartalnik Geologiczny*, 3(1): 57–70.
- Senkowiczowa H., 1965. Podział i rozwój facjalny osadów retu na obszarze południowej Polski. *Kwartalnik Geologiczny*, 9(2): 241–260.
- Senkowiczowa H., Szyperko-Śliwczyńska A., 1972. Stratygrafia i paleogeografia triasu. *Biuletyn Inst. Geol.*, 252: 135–151.
- Szulc J., 2007. Chronological outline of evolution of the eastern Germanic Basin in late Olenekian – early Ladinian times. [W:] Szulc J., Becker A. (eds.). International workshop on the Triassic of Southern Poland, September 03–08.2007. Fieldtrip guide. *Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, Cracow*: 28–33.
- Szyperko-Teller A., Moryc W., 1988. Rozwój basenu sedymentacyjnego pstręgo piaskowca na obszarze Polski. *Kwartalnik Geologiczny*, 32(1): 53–72.
- Świetlik B., 2013. Opracowanie mikropaleontologiczne i mikrofacjalne próbek z odwiertu Wadowice Dolne-1. [W:] Dokumentacja wynikowa otworu poszukiwawczego Wadowice Dolne-1. *Archiwum PGNiG S.A., Warszawa*.
- Tomczyk H., 1963. Ordowik i sylur w podłożu zapadliska przedkarpackiego. *Rocznik Pol. Tow. Geol.*, 33(3): 289–320.
- Urbaniec A., 2018. Rozwój litofacjalny utworów jury górnej i kredy dolnej w rejonie Dąbrowa Tarnowska–Dębica na podstawie interpretacji sejsmiki 3D. *Rozprawa doktorska. Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków*: 211.
- Urbaniec A., Polakowski T., Sierant H., Wąsiel M., 2013. Rola utworów triasu w mezo-paleozoicznym systemie naftowym przedgórza Karpat w rejonie Dąbrowa Tarnowska–Mielec–Dębica. *Wiadomości Naftowe i Gazownicze*: 1(177): 4–7.
- Urbaniec A., Stadtmüller M., Bartoń R., 2019. Possibility of a more detailed seismic interpretation within the Miocene formations of the Carpathian Foredeep based on the well logs interpretation. *Nafta-Gaz*, 9: 527–544. DOI: 10.18668/NG.2019.09.02.
- Wagner R. (red.), 2008. Tabela stratygraficzna Polski. *Wyd. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa*.
- Zajac R., 1981. Korelacja utworów dewonu i karbonu dolnego podłoża środkowej części zapadliska przedkarpackiego. *Biuletyn Inst. Geol.*, 331: 39–56.
- Zajac R., 1984. Stratygrafia i rozwój facjalny dewonu i dolnego karbonu południowej części podłoża zapadliska przedkarpackiego. *Kwartalnik Geologiczny*, 28(2): 291–316.
- Złonkiewicz Z., 2004. Rozwój paleotektoniczny niecki miechowskiej na tle basenu jurajskiego bruzdy śródpolskiej. *Tomy Jurajskie*, 2: 162–163.
- Złonkiewicz Z., 2006a. Ewolucja basenu niecki miechowskiej w jurze jako rezultat regionalnych przemian tektonicznych. *Przegląd Geologiczny*, 54(6): 534–540.
- Złonkiewicz Z., 2006b. Palaeogeography of the NW and central part of the Miechów Depression during the Jurassic as a result of the palaeotectonic development. *Volumina Jurassica*, 4: 72.
- Złonkiewicz Z., 2011. Co z tą bruzdą? – czyli jurajski basen epikontynentalny widziany z niecki Nidy. [W:] Zieliński A. (red.). Znane fakty – nowe interpretacje w geologii i geomorfologii. *Wyd. Instytut Geografii Uniw. J. Kochanowskiego w Kielcach*: 89–103.
- Żelaźniewicz A., Buła Z., Fanning M., Seghedi A., Żaba J., 2009. More evidence on Neoproterozoic terranes in southern Poland and southeastern Romania. *Geological Quarterly*, 53(1): 93–124.



Dr Andrzej URBANIEC
 Adiunkt; kierownik Zakładu Sejsmiki
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25 A
 31-503 Kraków
 E-mail: andrzej.urbaniec@inig.pl



Dr inż. Robert BARTOŃ
 Adiunkt w Zakładzie Sejsmiki
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25 A
 31-503 Kraków
 E-mail: robert.barton@inig.pl



Mgr inż. Łukasz BAJEWSKI
 Główny specjalista inżynierjno-techniczny
 w Zakładzie Sejsmiki
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25 A
 31-503 Kraków
 E-mail: lukasz.bajewski@inig.pl



Mgr inż. Aleksander WILK
 Główny specjalista inżynierjno-techniczny
 w Zakładzie Sejsmiki
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25 A
 31-503 Kraków
 E-mail: wilka@inig.pl