

## Charakterystyka zapiaszczeń oraz zmian facjalnych w utworach miocenu autochtonicznego centralnej części zapadliska podkarpackiego na bazie interpretacji profilowań geofizycznych

Characteristics of sand content and facial changes in the autochthonous Miocene formations of the central part of the Carpathian Foredeep based on well log interpretation

Wacława Piesik-Buś

*Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

**STRESZCZENIE:** Obszar badań położony jest w rejonie centralnej części zapadliska przedkarpackiego, około 12 km na południe od północnego brzegu Karpat. W podłożu miocenu autochtonicznego zalegają węglanowe utwory mezozoiku (kredy górnej i jury górnej), a w jego nadkładzie występują utwory miocenu allochtonicznego oraz utwory fliszowe jednostek karpaccich. Główny element strukturalny, z którym związana jest akumulacja gazu, ograniczony jest od strony północnej regionalną płaszczyzną dyslokacji. Omawiany obszar od kilkudziesięciu lat stanowi przedmiot intensywnych badań geologicznych, geofizycznych i prac wiertniczych, czego efektem było odkrycie kilku złóż gazu ziemnego i ropy naftowej. W obszarze badań i jego sąsiedztwie wykonano dotychczas szereg prac sejsmicznych, które pozwoliły na lepsze rozpoznanie budowy geologicznej. Skomplikowana budowa geologiczna związana z nasunięciem Karpat nie zawsze pozwala na jednoznaczną ocenę materiału sejsmicznego, szczególnie w przykarpackiej strefie zapadliska przedkarpackiego. Duża zmienność litofacjalna utworów miocenu ma związek z molasowym typem sedymentacji. Zasadniczym celem artykułu jest wykazanie możliwości wykorzystania wyników otworowych pomiarów geofizycznych do przedstawienia ilościowej i statystycznej zmienności analizowanych wartości pomiarowych. Otrzymane wyniki posłużyły do skonstruowania map zmienności litologicznej, wykresów zapiaszczenia, przekroju geologicznego i przeprowadzenia analizy statystycznej. W trakcie realizacji tematu wykonano korelację międzyotworową dla wybranych odwiertów, co pozwoliło na rozpoznanie facjalne utworów miocenu, który rozwinął się w facji ilasto-mułowcowej, z większym lub mniejszym udziałem piaskowców.

Słowa kluczowe: miocen, zapiaszczenie, litologia, analiza geologiczna.

**ABSTRACT:** The research area is located in the central part of the Carpathian Foredeep, about 12 km south of the northern bank of the Carpathians. The Mesozoic (Upper Cretaceous and Upper Jurassic) carbonate complex is located in the autochthonous Miocene basement. The upper stage is composed of the allochthonic Miocene sediments and flysch deposits belonging to the Carpathian units. The main structural element, to which the gas accumulation pertains, is limited from the north by a regional dislocation zone. The area in question has been the subject of intensive geological and geophysical research as well as drilling works for several decades, which resulted in the discovery of several deposits of natural gas and crude oil. A series of seismic works have been carried out so far in the research area and its vicinity, which allowed for better recognition of the geological structure. The complexity of the geological structure associated with the Carpathian overthrust does not always provide an accurate assessment of the seismic data, especially in the part of the Carpathian Foredeep which is located below the Carpathian overthrust. The high lithofacial variability of the Miocene deposits is related to the molasse type of sedimentation. The main aim of the article is to demonstrate the possibility of using the interpretation of well geophysical measurements to illustrate the quantitative and statistical variability of analysed values. The obtained results were used to construct maps of lithological variability, sand content graphs, geological cross-sections as well as statistical analysis. In the progress of the project, a well correlation was carried out for selected boreholes, which allowed for the facial recognition of the Miocene formations, which are developed especially in clay and silt facies with a diversified proportion of sandstones.

Key words: Miocene, sand content, lithology, geological analysis.

Autor do korespondencji: W. Piesik-Buś, e-mail: [piesik@inig.pl](mailto:piesik@inig.pl)

Artykuł nadesłano do Redakcji: 03.12.2019 r. Zatwierdzono do druku: 24.09.2020 r.

## Charakterystyka geologiczna

Początkowy okres rozwoju basenu sedymentacyjnego zapadliska przedkarpackiego na obszarze dzisiejszej Polski przypada najprawdopodobniej na koniec burdygału (Oszczypko, 1997, 1998, 2006; Kovač et al., 1998). Basen ten, o charakterze rowu przedgórskiego, tworzył się jako część basenu środkowej Tetydy, stanowiąc jednocześnie końcowy etap tektonogenezy Karpat (Oszczypko, 2006). Generalnie w pierwszym etapie sedymentacja miała miejsce przede wszystkim w południowo-zachodniej części zapadliska, a im dalej ku północy, tym wiek osadów wypełniających basen zapadliska jest coraz młodszy. Do wczesnego badenu zbiornik morski nie wykraczał poza współczesny zasięg jednostek tektonicznych Karpat zewnętrznych. W obszarze badań wiek najstarszych osadów przypada właśnie na wczesny baden. W późnym badeniu zbiornik mioceniński rozszerzył się znacznie ku północy. Na przesuwaniu się osi subsyduencji w zbiorniku zapadliska największy wpływ miało nasuwanie się na swoje przedpole jednostek tektonicznych Karpat zewnętrznych. Utwory fliszowe jednostek karpackich były niszczone, co dostarczało materiału okrucowego do zbiornika sedymentacyjnego (Krzywiec et al., 2004; Myśliwiec, 2004a, 2004b; Dziadzio et al., 2006; Krzywiec, 2006; Oszczypko, 2006).

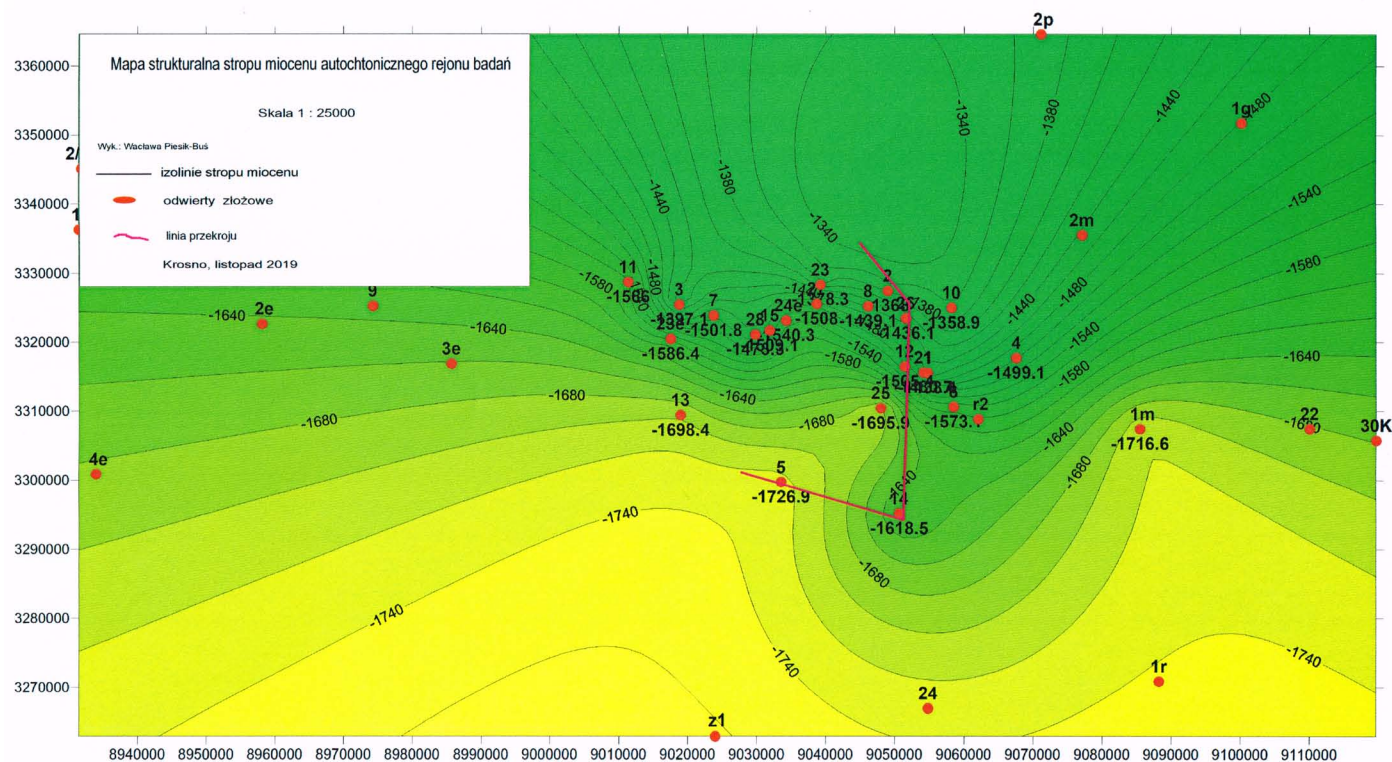
W obrębie zapadliska przedkarpackiego generalnie wydzielą się dwa baseny sedymentacyjne: wewnętrzny i zewnętrzny (Krzywiec et al., 2004; Krzywiec, 2006; Oszczypko, 2006). Osady basenu wewnętrznego zostały sfałdowane i razem

z płaszczowinami karpackimi nasunięte na osady miocenu autochtonicznego. Basen zewnętrzny został wypełniony głównie utworami molasowymi badenu i sarmatu. Rejon badań zaliczany jest do basenu zewnętrznego zapadliska przedkarpackiego. Większość złóż tego rejonu związana jest z mułowcowymi lub piaszczystymi horyzontami miocenijskimi, występującymi w pułapkach strukturalnych, litologicznych oraz typu mieszanego, usytuowanych najczęściej w bezpośrednim sąsiedztwie nasunięcia karpackiego (Karnkowski, 2002; Krzywiec et al., 2004; Miziołek, 2009; Miziołek et al., 2017).

Utwory miocenu autochtonicznego w zapadlisku podzielić można na trzy główne kompleksy litostratygraficzne (Jasionowski, 1997; Dziadzio et al., 2006; Porębski i Warchoń, 2006), od dołu profilu są to:

- podewaporatowe utwory klastyczne wieku wczesnego badenu – głównie utwory ilasto-piaszczyste;
- seria ewaporatowa wieku późnego badenu (Gaździcka, 1994; Garecka i Jugowiec, 1999; Peryt, 2006; Bukowski, 2011), reprezentowana w obszarze badań przez anhydryty i osady ilaste;
- utwory nadewaporatowe wieku późnego badenu – sarmatu, reprezentowane przez ilasto-mułowcowo-piaszczyste utwory molasowe.

W rejonie badań bezpośrednio na mezozoicznym podłożu zalegają utwory zaliczane do badenu dolnego, reprezentujące formację skawińską (Andreyeva-Grigorovich et al., 1999, 2003). Utwory badenu górnego zaliczane są do formacji



Rys. 1. Mapa strukturalna stropu utworów miocenu autochtonicznego w obszarze badań

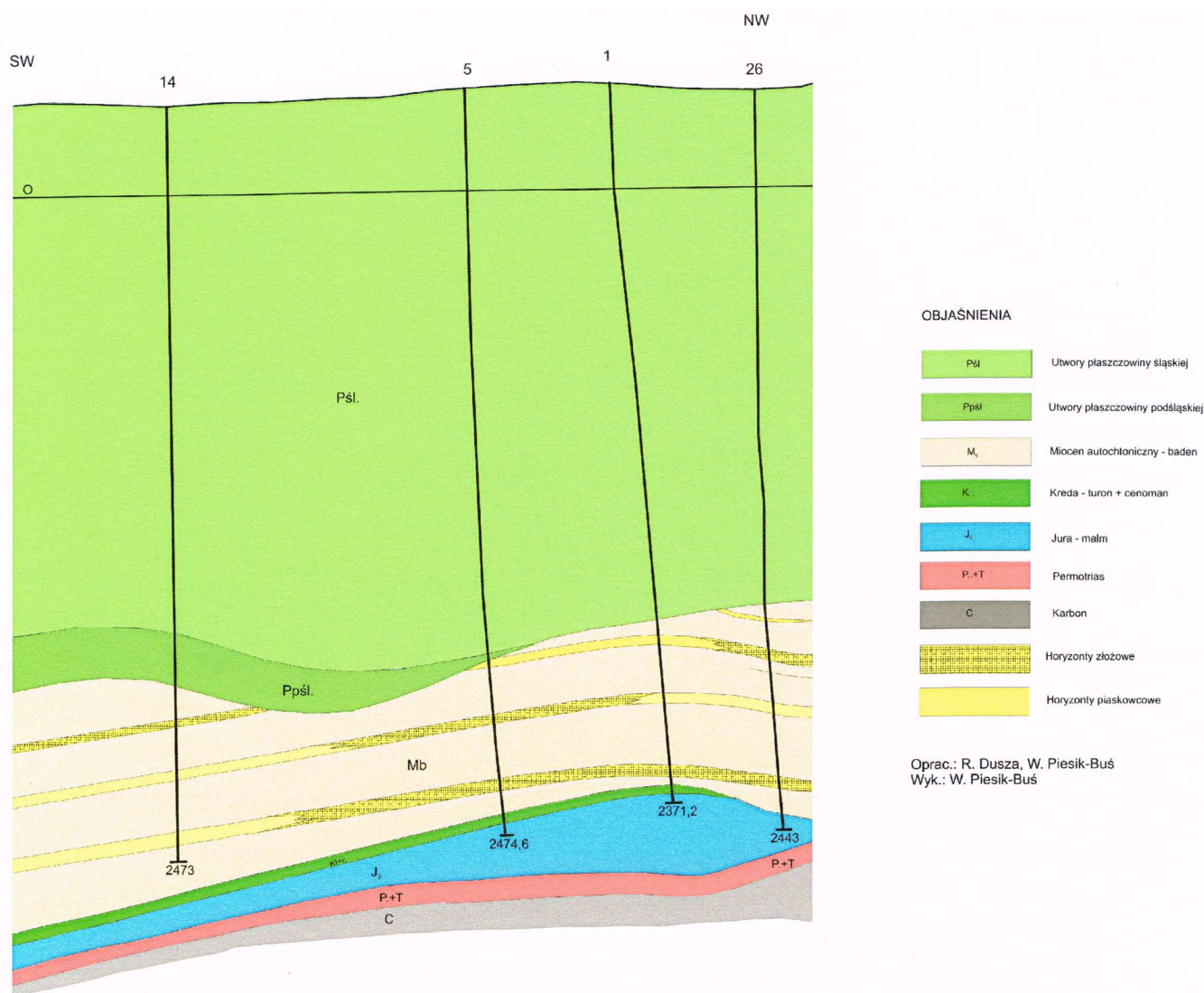
Fig 1. Structural map of the top of the autochthonous Miocene complex in the research area

z Machowa (Alexandrowicz et al., 1982; Jasionowski, 1997). Przy kontakcie z górotworem lokalnie są one silnie wyruszone, na co wskazują upady warstw osiągające wartość do 45°. W niższych częściach profilu warstwy wykazują nachylenie w granicach 5–10°. Pod względem litologicznym są to utwory ilasto-mułowcowe z podrzędnie występującymi przewarstwieniami piaskowców. Poziomy piaskowcowe na ogół podlegają dużym zmianom i często ulegają wyklinowaniu na stosunkowo niedużych przestrzeniach. W obszarze badań przy kontakcie miocenu autochtonicznego z utworami jednostek karpackich występuje również jednostka zgłobicka, której spąg stanowi granicę tektoniczną dla utworów autochtonicznych (Połtowicz, 1997, 1999, 2004). Miąższość utworów miocenu w obrębie wyniesienia morfologicznego podłoża wynosi od 380 m do 610 m, natomiast w strefach morfologicznych obniżen wzrasta. W wyniku prowadzonych prac geologiczno-wiertniczych, jak i późniejszej korelacji rozpoznano i udokumentowano występowanie czterech horyzontów gazowych,

zalegających naprzemiennie w profilu utworów miocenu. Pod względem strukturalnym poziomy gazonośne w znacznym stopniu odwzorowują ukształtowanie podłoża miocenu. Od północy strukturę ogranicza dyslokacja o zasięgu regionalnym, która przemieszcza również utwory miocenu. Od południa na osady miocenne nasunięte są utwory górotworu karpackiego, których miąższość ponad złożem wynosi około 1750 m, a w części północnej obszaru badań – ok. 2000 m. Układ strukturalny utworów miocenu autochtonicznego w analizowanym rejonie obrazuje mapa wraz z przekrojem geologicznym (rys. 1 i 2).

### Metodyka badań

Wydzielenia facjalne dla analizowanego kompleksu miocennego wykonane zostały na podstawie charakterystyki profilowań geofizyki otworowej. Strefom o większym stopniu



Rys. 2. Przekrój geologiczny przez obszar badań  
 Fig. 2. Geological cross-section through the study area

zapiaszczenia odpowiadają podwyższone amplitudy anomalii na wykresach polaryzacji naturalnej (PS) i wtórnego promieniowania gamma (PNG), a obniżone na wykresach naturalnego promieniowania gamma (PG) (Miziołek, 2006, 2009; Piesik-Buś, 2016; Piesik-Buś i Miziołek, 2016). Mułowce można odróżnić od piaskowców po obniżonych wartościach wskazań na wykresach oporności właściwej *shat* (PO) oraz po podwyższonych nieco wartościach anomalii rejestrowanych na wykresach naturalnego promieniowania gamma (PG). Iłowce w porównaniu do piaskowców charakteryzują się wysoką promieniotwórczością wtórną (PNG).

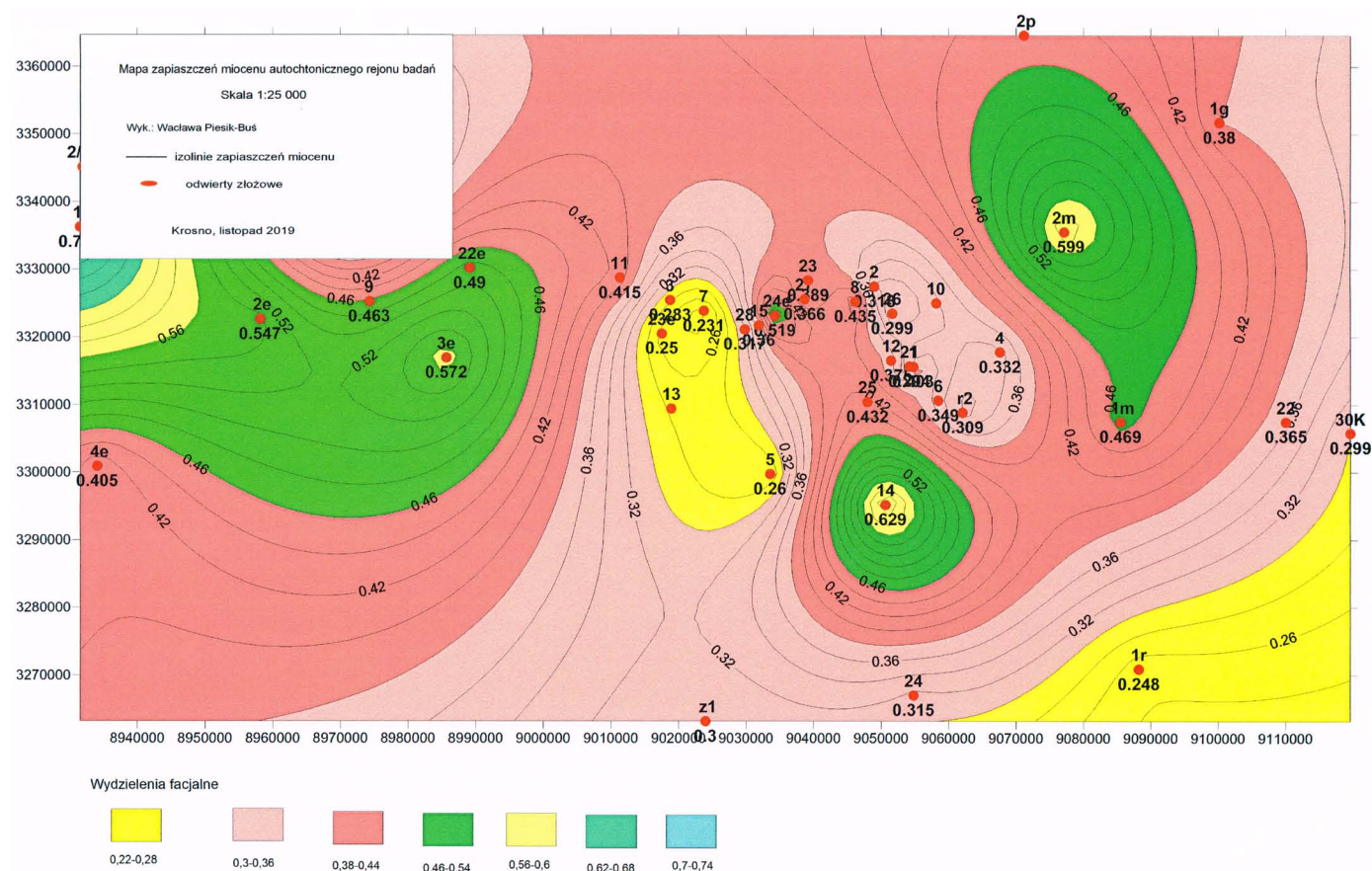
W profilu każdego wybranego do analizy odwiertu wyznaczono przedziały występowania utworów miocenu, a następnie dla wyliczonych z profilowania gamma zapiaszczeń ustalono kryteria wydzielenia poszczególnych litofacji. Cały rozkład zamyka się w przedziale wartości 0–1, przy czym wartości bliskie zera oznaczają czyste iłowce, a wartości bliskie 1 oznaczają czyste piaskowce. Na podstawie tych kryteriów dokonano następujących wydzielení facjalnych:

- 0,00–0,25 – facja ilasta;
- 0,25–0,50 – facja mułowcowo-ilasta;
- 0,50–0,75 – facja piaskowcowo-mułowcowa;
- 0,75–1,00 – facja piaskowcowa.

Obliczono również procent zapiaszczenia w całych profilach miocenu autochtonicznego dla poszczególnych odwiertów. Uzyskany w ten sposób materiał posłużył do wykreślenia mapy zapiaszczenia (rys. 3) oraz wykresów zmienności wskaźnika zapiaszczenia w profilu pionowym odwiertów, jak również zmienności wskaźnika profilowania gamma w profilu poszczególnych odwiertów. Do analizy wybrano 36 odwiertów z rozpoznanymi utworami miocenu autochtonicznego w rejonie badań. Przykładowy wykres zmienności wskaźnika zapiaszczenia w wybranym otworze przedstawiono na rysunku 4.

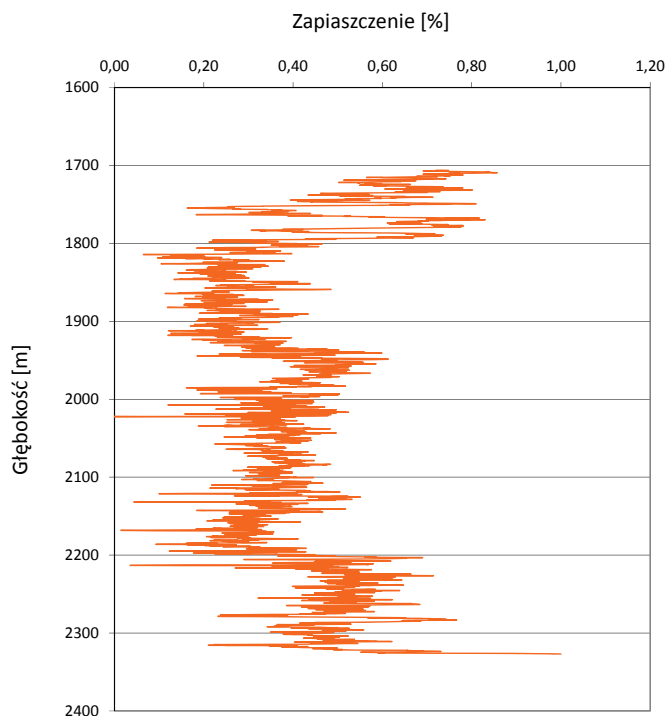
W otworach z analizowanego rejonu, dla których dostępne były cyfrowe pomiary geofizyczne, wyliczone zostały wskaźniki zapiaszczenia w obrębie utworów miocenu na podstawie analizy profilowania gamma. Należy zaznaczyć, że strop miocenu w większości rozpatrywanych otworów ma charakter tektoniczny (związany z nasunięciem jednostek karpaccich oraz obecnością jednostki zgłobickiej), w związku z czym strop miocenu w poszczególnych otworach wypada w różnych częściach profilu miocenu autochtonicznego.

Informacje o zapiaszczeniu wyliczone z profilowania gamma wykorzystano do przeprowadzenia analizy statystycznej. Dla każdego otworu wykonano obliczenia średniego zapiaszczenia, na podstawie którego wydzielono litofacje, określono



Rys. 3. Mapa zapiaszczenia utworów miocenu autochtonicznego

Fig 3. Map of sand content in the autochthonous Miocene complex

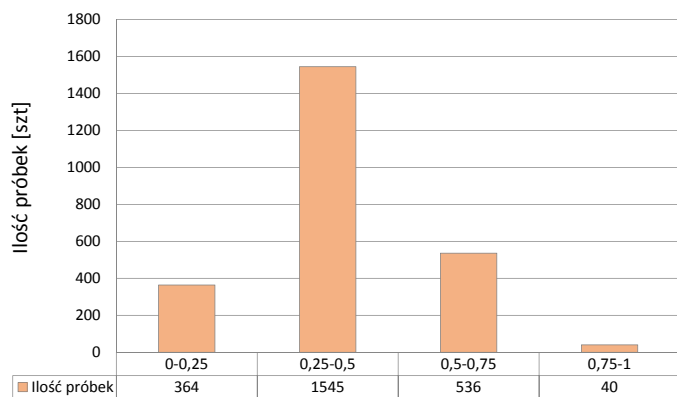


Rys. 4. Przykładowy wykres zmienności wskaźnika zapiaszczenia w profilu otworu

Fig. 4. Exemplary diagram of the changeability of the sand content in the selected well profile

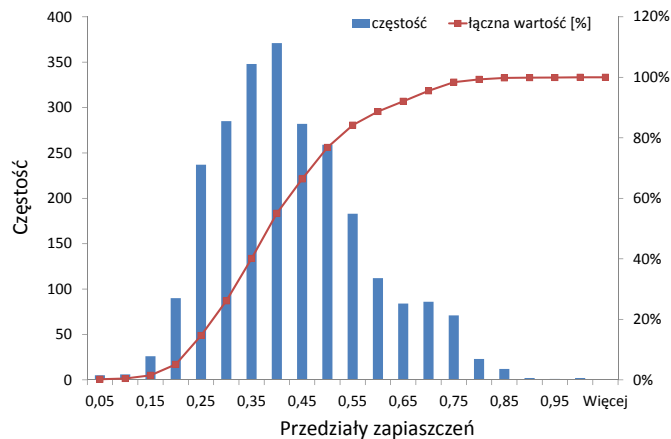
ich udział procentowy oraz obliczono histogramy zapiaszczeń. Przykładowe wyniki analizy statystycznej przedstawiono na rysunkach 5 i 6.

Ponadto, w celu określenia zmienności zapiaszczenia w profilu pionowym oraz w ujęciu przestrzennym, dla każdego otworu wykonano obliczenia średniego zapiaszczenia dla 2 m warstw profilu w odstępach 50 m, począwszy od spągu kompleksu. Uzyskane średnie wykorzystano do skonstruowania gridów w programie Surfer, a następnie do wykonania map rozkładu zapiaszczenia w obliczonych warstwach (warstwa 1 z dominującą facją mułowcowo-ilastą; warstwa 2 również



Rys. 5. Wykres częstości występowania wyróżnionych typów litologicznych w profilu miocenu autochtonicznego obszaru badań

Fig. 5. Diagram of the frequencies of the distinguished lithological types in the autochthonous Miocene profile of the research area



Rys. 6. Histogram zapiaszczenia utworów miocenu autochtonicznego i sumaryczny wykres procentowego udziału poszczególnych wartości zapiaszczenia

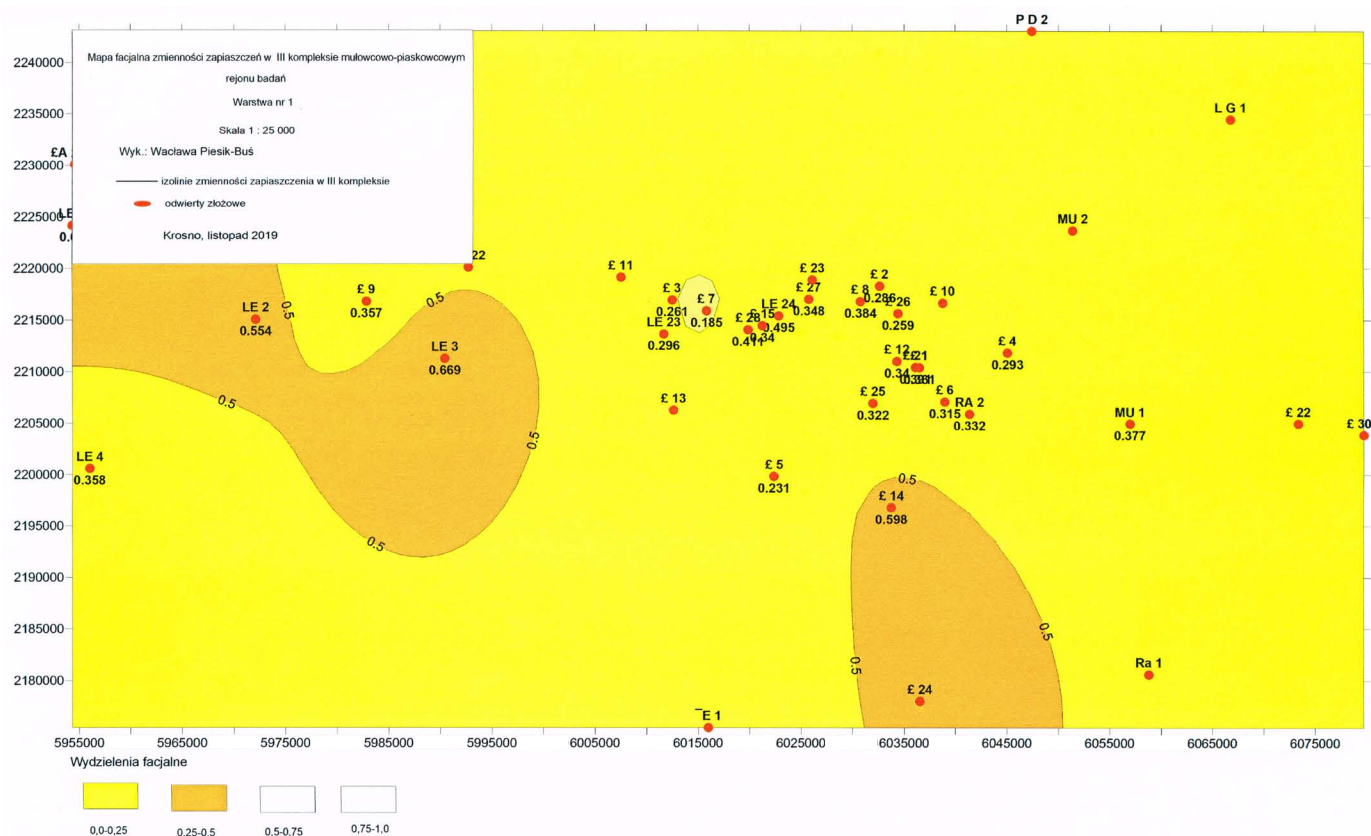
Fig. 6. Histogram of the sand content for the autochthonous Miocene formations and combined diagram of the percentage share of individual sand content values

z dominującą facją mułowcowo-ilastą; warstwa 3 z dominującą facją mułowcowo-ilastą i ilastą; warstwa 4 z dominującą facją ilastą i mułowcowo-ilastą; warstwa 5 z dominującą facją ilastą). Przykładową mapę facjalną zmienności zapiaszczenia dla warstwy nr 1 w III kompleksie mułowcowo-piaskowcowym przedstawiono na rysunku 7. Bazując na wspomnianych powyżej kryteriach, dla każdego otworu została ustalona częstość występowania poszczególnych facji i ich udział procentowy w całym profilu miocenu autochtonicznego.

### Wyniki badań

Analiza danych tabelarycznych oraz wykresów wskazuje, że rozwój poszczególnych facji w miocenie w rejonie badań przedstawia się następująco:

- *Facja ilasta* – największy udział procentowy tej facji występuje w otworach usytuowanych w zachodniej i centralnej części rejonu badań. Najmniejszy udział odnotowano w otworach zlokalizowanych w północno-wschodniej oraz wschodniej części obszaru. Pośrednie wartości uzyskano w otworach w części południowej i południowo-wschodniej.
- *Facja mułowcowo-ilasta* – ta facja z kolei najlepiej rozwinięta jest w otworach w części wschodniej obszaru. Najmniejszy udział tej facji występuje w otworach w centralnej części obszaru.
- *Facja piaskowcowo-mułowcowa* – udział tej facji w otworach zmienia się w zakresie od około 0% do niemal 58%. Najbardziej rozwinięta jest w otworach w części centralnej. Najmniejszy udział procentowy występuje w otworach w części południowo-wschodniej obszaru. W pozostałych rejonach udział przyjmuje wartości pośrednie, tj. około 20%.



Rys. 7. Mapa facjalna zmienności zapiaszczeń w III kompleksie mułowcowo-piaskowcowym (warstwa nr 1)

Fig. 7. Facial map of sand variability in the mudstone-sandstone complex III (Layer no. 1)

- *Facja piaskowcowa* – udział tej facji zmienia się w przedziale od około 2% do 73%. Największy występuje w otworach w części centralnej. Najmniejszy udział serii piaskowcowej odnotowano w otworach w części zachodniej, wschodniej i południowo-wschodniej.

Na rysunku 6 przedstawiono histogram obrazujący rozkład zakresów zapiaszczeń w profilu miocenu autochtonicznego dla analizowanych otworów. Analiza wykresów wskazuje, że rozkład zapiaszczenia w otworach jest zróżnicowany, stwierdzono występowanie rozkładów zarówno jedno-, jak i bimodalnych (Miziołek, 2006). *Rozkład jednomodalny* dominuje w otworach położonych w części zachodniej, częściowo w części centralnej, a także wschodniej obszaru badań. Jest on związany z utworami ilastymi, piaskowcowo-mułowcowymi i piaskowcowymi. *Rozkład bimodalny* występuje przede wszystkim w centralnej części obszaru badań. Na przedstawionych wykresach rozkład bimodalny zaznacza się w różny sposób. Maksimum występuje zarówno po stronie piaskowcowo-mułowcowej, jak i po stronie mułowcowo-ilastej (rys. 6).

Typ histogramu jest efektem różnych czynników, z których dwa wydają się najważniejsze, a są to:

- *środowisko sedymentacji i położenie otworu w obrębie tego środowiska*: obszar badań znajduje się w centralnej części zapadliska przedkarpackiego, w którym dominowała

sedymentacja molasowa. Histogramy jednomodalne obrazujące facje mułowcowo-ilastą oraz ilastą należą do otworów położonych na obszarze lobów depozycyjnych o charakterze mułowcowo-ilastym. Z kolei histogramy bimodalne wskazują, że otwory były położone na obszarze, gdzie facje często ulegały zazębieniu (Miziołek, 2006; Piesik-Buś, 2018);

- *zróżnicowanie obszaru alimentacyjnego basenu sedymentacyjnego*: w basenie sedymentacyjnym deponowane są osady pochodzące z różnych obszarów alimentacyjnych, które ze względu na różnice litologiczne dostarczają odmienny materiał sedymentacyjny. Otwory położone w strefie zazębienia się stref depozycyjnych w zależności od lokalizacji mogą zawierać zróżnicowane typy osadów. Obydwa przedstawione mechanizmy mogą się również zazębiać, tworząc jeszcze bardziej skomplikowany system depozycyjny (Miziołek, 2006; Piesik-Buś, 2018).

Podsumowując przeprowadzoną analizę, należy stwierdzić, że otrzymane rozkłady przestrzenne obliczonych parametrów zapiaszczenia wskazują, że w rozpatrywanej części profilu utworów miocenu zaznacza się dość duże zróżnicowanie facjalne. W części środkowo-zachodniej i częściowo centralnej obszaru badań występują facje piaskowcowo-mułowcowe i mułowcowo-ilaste. Natomiast w części zachodniej zapiaszczenie wyraźnie rośnie i dominuje facja piaskowcowo-mułowcowa,

a lokalnie – piaskowcowa. W części wschodniej dominuje facja piaskowcowo-mułowcowa, jak i mułowcowo-ilasta. Wraz z histogramami przedstawiono zróżnicowanie facjalne utworów miocenu w ich profilu pionowym oraz w przestrzeni. Zaznacza się wyraźny trend spadku zapiaszczeń w środkowej części profilu oraz w strefie środkowej i wschodniej obszaru badań.

Najwyższe wartości zapiaszczenia związane są z otworami usytuowanymi w SE i E części obszaru badań. Przeprowadzona analiza zapiaszczeń jest stosunkowo prosta, ale dzięki temu możliwa do wykonania w dowolnej strefie z obszaru zapadliska przedkarpackiego, gdyż pomiary gamma były podstawowymi pomiarami wykonywanymi w otworach i są łatwo dostępne. Rozkład przestrzenny zapiaszczeń oraz ich histogramy pozwalają na bardzo szybką ocenę zmienności zapiaszczenia, umożliwiając wyznaczenie trendów, a także określenie różnorodności i zmienności w obrębie basenów sedymentacyjnych oraz w obszarach alimentacyjnych. W połączeniu z analizą budowy strukturalnej, oceną parametrów petrofizycznych, wynikami prób złożowych oraz przebiegiem dotychczasowej eksploatacji analiza statystyczna stanowi bardzo przydatne narzędzie do poszukiwań nowych złóż, w tym złóż niekonwencjonalnych, jak również do analizy geologiczno-złożowej złóż już eksploatowanych.

W trakcie realizacji tematu wykonano korelację między-otworową dla wybranych otworów z obszaru badań, co pozwoliło na dokładne rozpoznanie kompleksu miocenu autochtonicznego, który rozwinięty jest w tej strefie głównie w facji ilasto-mułowcowej ze zróżnicowanym udziałem piaskowców. Przeprowadzone korelacja i analiza rozwoju litologiczno-facjalnego pozwoliły na opracowanie mapy strukturalnej oraz map miąższości całkowitej i efektywnej, porowatości, przepuszczalności, zapiaszczeń, jak również przekrojów geologicznych, a także na wykonanie analizy statystycznej.

### Podsumowanie

Przeprowadzone badania i analizy umożliwiły sformułowanie następujących wniosków:

1. Na podstawie danych głębokościowych dotyczących położenia stropu miocenu autochtonicznego w poszczególnych odwiertach skonstruowano mapę strukturalną metodą „gridową” w programie Surfer (rys. 1).
2. Opierając się na przeprowadzonej analizie, wykonano mapę zapiaszczeń dla utworów miocenu w badanym obszarze, stwierdzając, że udział piaskowców nie przekracza 25%.
3. Na podstawie analizy profilowań geofizyki otworowej sporządzono wykresy zmienności wartości profilowania gamma oraz wykresy zmienności wskaźnika zapiaszczenia w profilach otworów, co pozwoliło na określenie zmienności facjalnej w przedziałach głębokościowych odpowiadających utworom miocenu.
4. Opierając się na interpretacji profilowania gamma, w utworach miocেনских rejonu badań wyróżniono 4 podstawowe facje: ilastą, mułowcowo-ilastą, piaskowcowo-mułowcowa oraz piaskowcowa.
5. Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej wielkości zapiaszczenia obliczono wielkości występowania i udziału procentowego wydzielonych facji, określono ich rozpręstrzenie, jak również obliczono histogramy zapiaszczeń.
6. Opracowane histogramy zapiaszczeń dla utworów miocenu wskazują zarówno na jedno-, jak i na bimodalny rozkład zapiaszczeń. Rozkład bimodalny sugeruje ząębienie się osadów pochodzących z dwóch różnych obszarów alimentacyjnych.
7. Na podstawie opracowanych map facjalnych stwierdzono, że najwyższe wartości zapiaszczenia koncentrują się w zachodniej części obszaru badań, obniżają się one w kierunku N i S, a w części wschodniej analizowanego obszaru wielkość zapiaszczenia znów wzrasta.
8. Generalnie w profilu utworów miocenu autochtonicznego badanego rejonu dominuje głównie facja mułowcowo-ilasta z podrzędnym udziałem facji ilastej i piaskowcowo-mułowcowej, a lokalnie również piaskowcowej.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Analiza i charakterystyka zapiaszczeń oraz ich zmian facjalnych w utworach miocenu autochtonicznego w zachodniej części zapadliska przedkarpackiego* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0039/KP/2019, nr archiwalny: KP-4100-0029/2019.

### Literatura

- Alexandrowicz S.W., Garlicki A., Rutkowski J., 1982. Podstawowe jednostki litostratygraficzne miocenu zapadliska przedkarpackiego. *Kwartalnik Geologiczny*, 26(2): 470–471.
- Andreyeva-Grigorovich A.S., Oszczypko N., Savitskaya N.A., Ślącza A., Trofimovich N.A., 2003. Correlation of Late Badenian salts of the Wieliczka, Bochnia and Kalush areas (Polish and Ukrainian Carpathian Foredeep). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 73(2): 67–89.
- Andreyeva-Grigorovich A.S., Oszczypko N., Ślącza A., Savitskaya N.A., Trofimovich N.A., 1999. The age of the Miocene salt deposits of the Wieliczka, Bochnia and Kalush areas (Polish and Ukrainian Carpathian Foredeep). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 387: 85–86.
- Bukowski K., 2011. Badeńska sedymentacja salinarna na obszarze między Rybnikiem a Dębicą w świetle badań geochemicznych, izotopowych i radiometrycznych. *Rozprawy i monografie, Wydawnictwa AGH w Krakowie*, 236: 1–184.
- Dziedzic P., Maksym A., Olszewska B., 2006. Sedymentacja utworów miocenu we wschodniej części zapadliska przedkarpackiego. *Przełąd Geologiczny*, 54(5): 413–420.
- Garecka M., Jugowiec M., 1999. Wyniki badań biostratygraficznych miocenu zapadliska przedkarpackiego na podstawie nanoplanktonu wapiennego. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 68: 29–42.

- Gaździcka E., 1994. Nannoplankton stratigraphy of the Miocene deposits in Tarnobrzeg area (northeastern part of the Carpathian Foredeep). *Geological Quarterly*, 38(3): 553–570.
- Jasionowski M., 1997. Zarys litostratygrafii osadów mioceńskich wschodniej części zapadliska przedkarpackiego. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 375: 43–60.
- Karnkowski P.H., 2002. Paleomorfologiczne uwarunkowania sedymentacji w mioceńskim basenie podkarpackim (obszar między Krakowem a Przemyślem). *Przegląd Geologiczny*, 50(9): 803–804.
- Kovač M., Nagymarosy A., Oszczytko N., Ślącza A., Csontos L., Marunteanu M., Matenco L., Marton E., 1998. Palinspastic reconstruction of the Carpathian-Pannonian region during the Miocene. [W:] Rakus M. (ed.). Geodynamic development of the Western Carpathians. *Slovak Geol. Surv., Bratislava*: 189–217.
- Krzywiec P., 2006. Geodynamiczne i tektoniczne uwarunkowania ewolucji basenów przedgórskich z odniesieniami do zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny*, 54(5): 404–412.
- Krzywiec P., Aleksandrowski P., Florek R., Siupik J., 2004. Budowa brzeżnej strefy Karpat zewnętrznych na przykładzie mioceńskiej jednostki Zgłobiec w rejonie Brzeska–Wojnicz – nowe dane, nowe modele, nowe pytania. *Przegląd Geologiczny*, 52(11): 1051–1059.
- Miziołek M. (kier. zespołu), 2006. Badania litologiczno-facjalne utworów miocenu autochtonicznego w rejonie złóż Tarnów, Łękawica, Jaśniny i Podgórska Wola celem rozpoznania warunków akumulacji gazu oraz perspektywy prac poszukiwawczo-rozpoznawczych. *Archiwum Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego, Kraków*.
- Miziołek M., 2009. Analiza geologiczno-złożowa wytypowanych złóż gazu ziemnego w rejonie zapadliska przedkarpackiego, pod kątem konwersji na małe, lokalne magazyny gazu. *Nafta-Gaz*, 3: 207–212.
- Miziołek M., Filar B., Cierznia M., 2017. Pułapki złożowe zapadliska przedkarpackiego w czołowej strefie nasunięcia Karpat. *Nafta-Gaz*, 8: 551–557. DOI: 10.18668/NG.2017.08.
- Myśliwiec M., 2004a. Mioceńskie skały zbiornikowe zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny*, 52(7): 581–592.
- Myśliwiec M., 2004b. Poszukiwania złóż gazu ziemnego osadach miocenu zapadliska przedkarpackiego na podstawie interpretacji anomalii sejsmicznych – podstawy fizyczne i dotychczasowe wyniki. *Przegląd Geologiczny*, 52(4): 299–306.
- Oszczytko N., 1997. The Early – Middle Miocene Carpathian peripheral foreland basin (Western Carpathians, Poland). *Przegląd Geologiczny*, 45(10): 1054–1063.
- Oszczytko N., 1998. The Western Carpathian foredeep – development of the foreland basin in front of the accretionary wedge and its burial history (Poland). *Geologica Carpathica*, 49(6): 415–431.
- Oszczytko N., 2006. Powstanie i rozwój polskiej części zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny*, 54(5): 396–403.
- Peryt T.M., 2006. Sedymentacja ewaporatów badeńskich w zbiorniku przedkarpackim. *Przegląd Geologiczny*, 54(5): 438–444.
- Piesik-Buś W., 2016. Analiza przydatności wybranych złóż gazu ziemnego zapadliska przedkarpackiego do konwersji na PMG. *Nafta-Gaz*, 2: 95–101. DOI: 10.18668/NG.2016.02.
- Piesik-Buś W., 2018. Opracowanie zmienności litologicznej utworów miocenu nadewaporatowego w rejonie zapadliska przedkarpackiego na bazie pomiarów geofizycznych. *Archiwum Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego, Kraków*.
- Piesik-Buś W., Miziołek M., 2016. Bilans stanu zasobów gazu ziemnego na przykładzie złóż zapadliska przedkarpackiego. *Nafta-Gaz*, 11: 48–54. DOI: 10.18668/NG.2016.11.
- Połtowicz S., 1997. Grawitacyjna tektonika jednostki zgłobickiej między Brzeskiem a Wojniczem w świetle wyników badań sejsmicznych. *Geologia, Kwartalnik AGH*, 23(3): 307–329.
- Połtowicz S., 1999. Badeńskie olistostromy i stożki turbidytowe okolic Tarnowa (przedgórze Karpat środkowych). *Geologia, Kwartalnik AGH*, 25(2): 153–187.
- Połtowicz S., 2004. Jednostki stebnicka i zgłobicka w budowie Karpat Polskich. *Geologia, Kwartalnik AGH*, 30(1): 85–120.
- Porębski S.J., Warchoł M., 2006. Znaczenie przepływów hiperpyknaalnych i klinoform deltowych dla interpretacji sedymentacyjnych formacji z Machowa. *Przegląd Geologiczny*, 54(5): 421–429.



Mgr inż. Wacława PIESIK-BUŚ  
 Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie  
 Podziemnego Magazynowania Gazu  
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
 ul. Lubicz 25 A  
 31-503 Kraków  
 E-mail: piesik@inig.pl