

Sedymentologiczna i geochemiczna charakterystyka dolnych warstw krośnieńskich fałdu Gorlic i łuski Stróż (jednostka śląska, Karpaty zewnętrzne)

Sedimentological and geochemical characteristics of the Lower Krosno Beds from the Gorlice fold and the Stróże Thrust Sheet (Silesian Unit, Polish Outer Carpathians)

Arkadiusz Drozd, Wojciech Bieleń

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Praca prezentuje sedymentologiczną i geochemiczną charakterystykę warstw krośnieńskich z fałdu Gorlic oraz łuski Stróż. Na podstawie prac terenowych wykonano dwa profile: Stróże o miąższości rzeczywistej 300 m oraz Lipinki o miąższości rzeczywistej 227 m. W ich obrębie rozpoznano 9 facji osadowych, które zostały w pracy opisane i zinterpretowane pod kątem mechanizmów depozycji. Zidentyfikowano i opisano występujące w profilach struktury sedymentacyjne, w tym ważne dla określania środowiska sedymentacji: kopułowe warstwowanie przekątne (HCS) oraz rynnowe warstwowanie przekątne. Zestawiono razem profile terenowe oraz krzywe geofizyki wiertniczej z otworów Gorlice-12 oraz L-OU1. Dane te poddano wzajemnej korelacji, co pozwoliło na wskazanie podobieństw w wykształceniu litologicznym w profilach z fałdu Gorlic oraz różnic w stosunku do profilu z łuski Stróż. Do badań geochemicznych pobrano 8 prób skał mułowcowo-ilastych (profil Stróże – 3 próbki: S5–S7, profil Lipinki – 5 próbek: L3–L8), które poddano analizie geochemicznej opartej na biomarkerach. Badania biomarkerów pozwoliły na uszczegółowienie typu materii organicznej, pośrednio na wskazanie warunków, w jakich dochodziło do jej akumulacji, oraz na potwierdzenie bakteryjnego pochodzenia związków. Zidentyfikowano arylowe izoprenoidy (krótko- i średniołańcuchowe), wyższe diarylowe izoprenoidy oraz wyższe aromatyczne karotenoidy C_{40} , takie jak: izorenieratan, β -paleorenieratan, β -izorenieratan, β -renierapurpuran, chlorobaktan czy okenan. Obliczono wskaźniki arylo-izoprenoidowy AIR oraz izorenieratan/fenantren, które pozwalają na określenie środowiska sedymentacji. Przebadano próbki pod kątem: charakteru środowiska sedymentacji, w tym fotycznej strefy anoksycznej (PZA) i czasu jej trwania, głębokości chemokliny i zbiornika, działalności bakteryjnej podczas sedymentacji. Wyniki analiz próbek wykorzystanych w niniejszej pracy porównano z archiwalnymi wynikami analiz próbek z obszaru fałdu Gorlic.

Słowa kluczowe: fałd Gorlic, łuska Stróż, warstwy krośnieńskie, facje, karotenoidy, arylowe izoprenoidy, izorenieratan, paleorenieratan, fotyczna strefa anoksyczna.

ABSTRACT: The main goal of this paper is to present the sedimentological and geochemical character of Krosno Beds from the Gorlice fold and the Stróże Thrust Sheet. Based on field work, two measured sections were made: western Stróże with true thickness of 300 m and eastern Lipinki with true thickness of 227 m. Within them, six sedimentary facies described in the Gorlice profile were identified and three newly recognized facies were distinguished. These facies have been interpreted in the framework of depositional mechanisms. Sedimentary structures were identified and described, including those important for reconstruct the sedimentation environment: hummocky-cross stratification (HCS) and trough cross stratification. Another element of the analysis is compilation of the measured field sections and their correlation with well logs from the Gorlice-12 and L-OU1 wells. The correlation enabled to show similarities of lithological development within the Gorlice fold and differences in relation to the Stróże Thrust Sheet profile. Eight samples of mudstone (Stróże profile 3 samples: S5–S7, Lipinki profile 5 samples: L3–L8) were collected and subjected to geochemical biomarkers analysis. The aim of the biomarkers study was to specify the character of the sedimentation environment and to confirm the biological/bacterial origin of compounds from the aryl isoprenoids group. Fifteen samples of bitumen extracts derived from two sections: Stróże in the Biała riverbed in the western part and Lipinka in the Libuszanka stream bed in the eastern part were selected for sample collection and testing. Aryl isoprenoids (short and medium chain) and higher diaryl isoprenoids have been identified. In addition, higher aromatic C_{40} carotenoids have been identified such as: isorenieratane, β -paleorenieratane, β -isorenieratane, β -renierapurpurane, chlorobactane and okenane. These are considered as a further evidence of the bacterial origin of aryl isoprenoids. The indices specifying the sedimentation

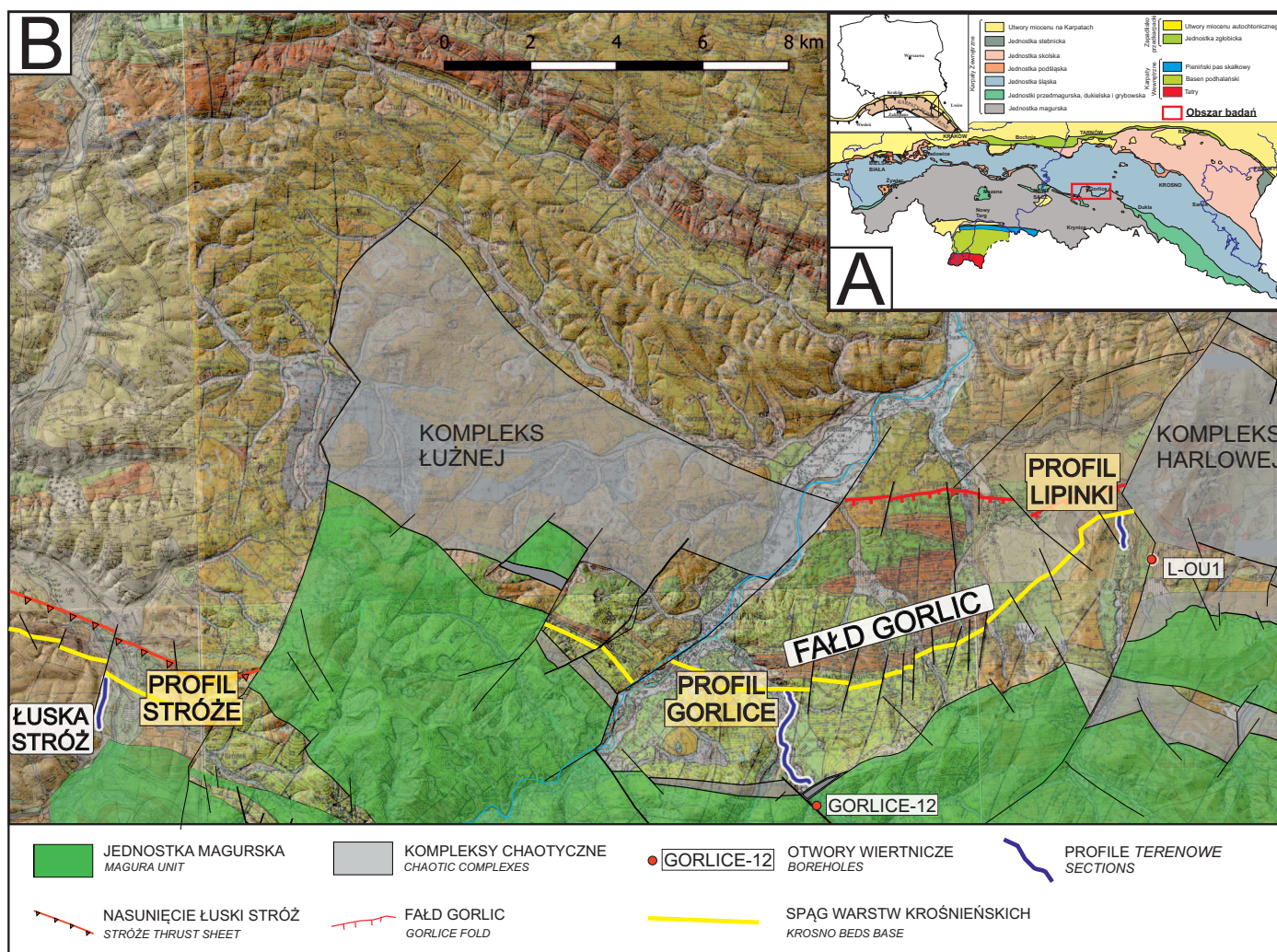
environment were calculated: AIR, and isorenieratan/phenanthrene index. Samples were tested for: the character of the sedimentary environment, including photic zone anoxia (PZA) and its duration, depth of chemocline and bacterial activity during sedimentation. The results of the samples analysis used in this work were compared with the archival results of samples analysis (the Gorlice fold area).

Key words: Gorlice fold, Stróże Thrust Sheet, Krosno Beds, facies, carotenoids, aryl isoprenoids, isorenieratane, paleorenieratane, photic zone anoxia

Wstęp

W pracy zaprezentowano wyniki analizy warstw krośnieńskich fałdu Gorlic oraz łuski Stróże (rys. 1). W celu rozpoznania warunków sedymentacji autorzy podjęli próbę połączenia analiz sedymentologicznych i wyników badań biomarkerów,

wykonanych na próbkach pobranych w czasie prac terenowych. Istnieje wiele przykładów w literaturze, szczególnie w przypadku braku lub niewystarczającej liczby wskaźników sedymentologicznych, na to, że wyniki badań geochemicznych wspomagają interpretację środowisk sedymentacyjnych (Frimmel et al., 2004; Schwark i Frimmel, 2004;



Rys. 1. A – Lokalizacja rejonu badań na zmodyfikowanej, uproszczonej mapie geologicznej Karpat zewnętrznych (na podstawie: Poprawa i Nemčok, 1989); B – Lokalizacja przebiegów wykonanych profili oraz wykorzystanych otworów wiertniczych na tle arkuszy SMGP 1019 (Leszczyński i Radomski, 1994), 1020 (Jankowski, 1997), 1021 (Wójcik et al., 1993), 1036 (Paul, 1993), 1037 (Kopciowski et al., 2014b), 1038 (Kopciowski et al., 2014a). Cyfrowy model terenu LIDAR (<https://www.geoportal.gov.pl>) oraz kontury nasunięcia jednostki magurskiej i kompleksów chaotycznych według Jankowskiego (2007)

Fig. 1. A – Location of the study area on the modified, simplified geological map of the Polish part of the Outer Carpathians (based on Poprawa and Nemčok, 1989); B – Location of the lithological sections and boreholes on the geological maps SMGP 1019 (Leszczyński and Radomski, 1994), 1020 (Jankowski, 2013), 1021 (Wójcik et al., 1993), 1036 (Paul, 1993), 1037 (Kopciowski et al., 2014b), 1038 (Kopciowski et al., 2014a). LIDAR surface model, shape of the Magura Nappe overthrust and position of chaotic beds after Jankowski (2007)

Brocks et al., 2005; Melendez et al., 2013; Sousa Júnior et al., 2013; Grba et al., 2014; Kaiho et al., 2016; Edwards et al., 2018; Bieliń, 2019).

Identyfikacja i rozróżnienie facji osadowych związanych z głębokowodnym systemem sedymentacji, gdzie dominuje depozycja z prądów zawieszinowych, od facji powstających w płytkowodnych warunkach depozycji, związanych głównie z transportem i depozycją materiału dostarczanego przez rzeki, są zadaniem trudnym z punktu widzenia wskaźników sedymentologicznych i poruszonym przez wielu autorów (np.: Mutti et al., 2007, Lamb et al., 2008; Myrow et al., 2008; Mulder et al., 2009; Basilici et al., 2012; Higgs, 2014; Dziadzio, 2015). Cykliczność występowania piaskowców i mułowców, ich geometria i podobieństwo niektórych struktur sedymentacyjnych może prowadzić do mylnego rozpoznania mechanizmów i środowisk sedymentacji (np. Basilici et al., 2012). Tego typu problemy interpretacyjne występują też w Karpatach zewnętrznych (np. w warstwach krośnieńskich), których osady, potocznie nazywane fliszem karpackim, najczęściej interpretowane były jako wynik sedymentacji prądów zawieszinowych na granicy i poniżej szelfu (Książkiewicz, 1954, 1958; Dżułyński i Ślącza, 1958; Ślącza i Kaminski, 1998; Bąk, 2005; Kotlarczyk et al., 2006; Kotlarczyk i Uchman, 2012). Nie brakowało też autorów (Bieda, 1969; Olszewska, 1985; Olszewska i Malata, 2006; Dziadzio et al., 2016), których badania i poglądy na głębokość sedymentacji utworów budujących ogniwa litostratygraficzne Karpat zewnętrznych, a w szczególności ogniwa wieku oligoceńskiego, były przeciwstawne i sugerowały środowiska szelfowe.

Zarys budowy geologicznej obszaru badań

Obszar badań obejmuje południową część jednostki śląskiej, która kontaktuje z północną strefą nasunięcia jednostki magurskiej (rys. 1). O skomplikowanej budowie geologicznej omawianego rejonu świadczą strefy tektoniczne Harklowej i Łuźnej, które interpretowane są jako kompleksy chaotyczne powstałe w dolnym bądź środkowym miocenie (Jankowski, 2007 – rys. 1).

Kryg–Lipinki

Wschodni obszar badań (profil Lipinki) znajduje się na południowo-wschodnim skrzydle fałdu Gorlic. Fałd Gorlic dzieli się na blok wschodni i zachodni, z linią podziału stanowiącą poprzeczną dyslokację strefy Ropy. W strefie przypowierzchniowej fałd ten ma kształt eliptyczny, długości 13 km i maksymalnej szerokości 5 km (dolina Ropy) (Konarski, 1980). Przebieg osi fałdu wykazuje trend równoleżnikowy, a jego maksimum wynurzenia przypada na rejon Gorlice–Kobylanka–Kryg, gdzie w jądrze występują piaskowce warstw istebniańskich górnych

(Szymakowska, 1979). Utwory budujące jednostkę śląską rejonu Gorlic to ogniwa litostratygraficzne od górnej kredy po oligocen o wybitnie piaskowcowym charakterze. W Krygu i Lipinkach Kozikowski (1966) na podstawie wierceń i obserwacji terenowych opisał dolne warstwy krośnieńskie jako 70-metrowy zespół piaskowców gruboławicowych, który w kierunku stropu przechodzi w łupki z piaskowcami na przestrzeni 90 m.

Łuska Stróż

Zachodni obszar badań (profil Stróże) znajduje się w obrębie łuski Stróż, wąskiej, rozszerzającej się ku wschodowi struktury tektonicznej o długości około 16 km (Świdziński 1950). Łuskę Stróż budują utwory warstw istebniańskich, łupki pstre i piaskowce ciężkowickie, warstwy menilitowe oraz warstwy krośnieńskie. Świdziński (1950) podaje miąższość tych ostatnich jako około 1500–1650 m. Przejście pomiędzy serią warstw menilitowych i krośnieńskich ma ostry charakter. Autor wskazuje, że dolne warstwy krośnieńskie, w postaci gruboławicowych piaskowców, osiągają od 100 m do 150 m.

Łuska Stróż – przedłużenie fałdu Gorlic

Świdziński (1950) w swojej pracy sugeruje związek łuski Stróż i fałdu Gorlic, opisując podobieństwo wykształcenia facjalnego poszczególnych ogniw litostratygraficznych. Również Dziadzio i Matyasik (2018) zaznaczają wyraźne podobieństwo serii menilitowej (wykształcenie piaskowców glaukonitowych) w obu elementach strukturalnych.

Metodyka badań

Praca jest kontynuacją badań nad wykształceniem facjalnym warstw krośnieńskich przedstawionych w publikacji *Wykształcenie facjalne i korelacja profili warstw krośnieńskich z odsłoneń i otworów wiertniczych (fałd Gorlic, jednostka śląska, Karpaty)* (Drozd et al., 2019). W celu poszerzenia wiedzy na temat warstw krośnieńskich opisane zostały pod względem wykształcenia litofacjalnego i cech sedymentologicznych ich dwa nowe profile: profil Stróże o miąższości rzeczywistej 300 m w korycie rzeki Biała oraz profil Lipinki o miąższości rzeczywistej 227 m w korycie potoku Libuszancka. Lepszym pod kątem poziomu odsłonięcia i prowadzenia prac był profil Stróże, który pozwolił na dość dokładne rozpoznanie zmian litologicznych oraz identyfikację struktur sedymentacyjnych.

W oparciu o dwa nowe profile, archiwalny profil Gorlice (Drozd et al., 2019), dane geofizyki wiertniczej z otworów Gorlice-12 (Drozd et al., 2019) oraz L-OU1, wykonana została korelacja dolnych warstw krośnieńskich. Zarówno profil terenowy, jak i zapis geofizyki wiertniczej zostały sprowadzone do miąższości rzeczywistej.

W trakcie badań terenowych pobrano 8 prób skalnych (profil Stróże – 3 próbki: S5–S7, profil Lipinki – 5 próbek: L3–L8), które poddano analizie geochemicznej opartej na biomarkarach według metodyki opisywanej w pracach Bielenia (2018, 2019). Badania biomarkerów oparte o karotenoidy i ich pochodne są ważnym narzędziem służącym do określania zmian poziomu wód morskich i interpretacji środowiska sedymentacji, co potwierdza wiele prac (m.in.: Summons i Powell, 1987; Sun et al., 2003; Frimmel et al., 2004; Lu et al., 2004; Peng et al., 2004; Wang et al., 2011; Hu et al., 2016).

Próby wytypowane zostały ze skał mułowcowych (F.II, F.III), podścielających zarówno miąższe pakiety piaskowców facji F.V, F.VII i F.IX, jak też stosunkowo cienkie warstwy piaskowców, które w pracy opisano jako trzy nowe facje. Ich położenie w profilach zostało zaznaczone na rysunku 8.

Facje warstw krośnieńskich

W wykonanych profilach litologicznych warstw krośnieńskich rozpoznano facje osadowe opisane w profilu Gorlice (tab. 1) (Drozd et al., 2019): F.III – szare mułowce, F.IV – heterolity centymetrowej skali, F.VI – piaskowce laminowane materią organiczną, F.VII – piaskowce laminowane poziomo, F.IX – piaskowce słabo związane, F.XI – ankeryt. Ponadto w profilu Stróże zidentyfikowano pakiety piaskowców, nie obserwowane w pozostałych profilach, które przez zespół struktur sedymentacyjnych i ich geometrię, mogą być ważnym wskaźnikiem diagnostycznym dla odtworzenia środowiska sedymentacji warstw krośnieńskich jednostki śląskiej. Facje te zostały w pracy opisane i zinterpretowane, ale w związku z kontynuacją badań terenowych w innych lokalizacjach, nie zostały dodane do katalogu facji (tab. 1).

Facja III – szare mułowce (rys. 4C)

Centymetrowej i decymetrowej miąższości, łupiące się, bezstrukturalne i bezwapniste mułowce, barwy od jasno- do ciemnoszarej. Stanowią one w głównej mierze element facji IV, V. Występują też oddzielnie jako indywidualne interwały o miąższości od 10 cm do 1 m.

Interpretacja: Depozycja z suspensji. Odpowiednik facji F9 według Muttiego et al. (2003) bądź S4 według Zavali i Pana (2018).

Facja IV – heterolity centymetrowej skali (rys. 4C)

Centymetrowej miąższości, wzajemnie warstwowane warstwy piaskowców i mułowców. Piaskowce barwy szarej, żółtoszarej, posiadają laminację równoległą, konwolucyjną, riplemarkową prądową, czasami riplemarkową o symetrycznym charakterze.

Interpretacja: Sedymentacja o zmiennej energii i/lub zmiennej dostawie materiału (np. Collins et al., 2017). Depozycja warstw mułowcowych z suspensji przerywana okresowo depozycją grubszej frakcji w warunkach dolnego reżimu przepływu.

Facja VI – piaskowce laminowane materią organiczną (rys. 6, 7B)

Bardzo drobnoziarniste, szare piaskowce oraz pyłowce z czarnymi laminami grubości od 1 mm do 3 mm. Czarne laminy tworzy rozdrobiona materia organiczna, porożrywane fragmenty bądź laminy węgla oraz uwęglona sieczka roślinna.

Interpretacja: Osady o charakterze rytmu hiperpiknalnego (*lofting rhythmites*). Sedymentacja z przepływu hiperpiknalnego osadu dostarczanego przez rzeki. Brak struktur trakcyjnych sugeruje sedymentację z suspensji w warunkach spokojnej sedymentacji. Odpowiednik facji S2/L według Zavali i Pana (2018).

Facja VII – piaskowce laminowane poziomo (rys. 2C)

Jasnoszare i szare bardzo drobnoziarniste pyłowce i piaskowce. Bardzo wyraźne, ostre, płasko-równoległe powierzchnie rozdzielności. Brak wewnętrznych struktur sedymentacyjnych.

Interpretacja: Depozycja w warunkach wysokoenergetycznego spływu grawitacyjnego o wysokiej koncentracji i natężeniu przepływu (Olariu et al., 2010). Odpowiednik facji F7 według Muttiego et al. (2003) bądź S2 według Zavali i Pana (2018).

Facja IX – piaskowce słabo związane (rys. 2, 7B, C)

Masywne, słabo wysortowane piaskowce, drobno- do gruboziarnistych. Barwa jasnobrązowa do zielonoszarej, zależy od składników: kwarcu, ziaren litycznych i glaukonitu. Są bezstrukturalne, amalgamowane, rzadziej warstwowane przekątnie oraz laminowane poziomo bądź niskokątowo. Występują beżowe i jasnozielone klasty ilaste, średnicy od kilku milimetrów do kilku centymetrów, jak również klasty łupków menilitowych – od kilku do kilkunastu centymetrów.

Interpretacja: Sedymentacja z wysoko gęstościowego, przydatnego spływu materiału ziarnowego. Obecność klastów ilastych o zróżnicowanej średnicy świadczy o erozyjnym charakterze czoła spływu (Mutti et al., 2003). Następstwo facjalne F.IX do F.VII (rys. 2C) może świadczyć o zmianie rodzaju transportu ze spływu gęstościowego w ruch turbulentny (Mutti et al., 2003). Odpowiednik facji F5 według Muttiego et al. (2003) bądź facji B3 według Zavali i Pana (2018).

Facja XI – ankeryt

Bezstrukturalny dolomit żelazisty w postaci warstw grubości do 40 cm lub kongrecji.

Interpretacja: Dolomity mogą powstawać w wyniku pierwotnych, jak i wtórnych procesów diagenetycznych (Einsele, 1992; Sugitani et al., 1998). Dolomity żelaziste występujące w utworach karpaccich zostały zinterpretowane przez Narębskiego (1956) jako wynik procesów wczesnodiagenetycznych.

Propozycja nowych facji

Facja piaskowców warstwowanych przekątnie (rys. 3C, D)

Szare piaskowce, od bardzo drobnoziarnistych do średnioziarnistych. Warstwowane przekątnie, występujące w obrębie całej warstwy piaskowca, bądź w jego stropowych partiach. Spągowa granica warstwy może mieć charakter ostry lub erozyjny.

Interpretacja: Migracja S-kształtnych fal piaskowych w dolnym reżimie przepływu (Collinson, 1996; Maravelis et al., 2018).

Facja piaskowców z rynnowym warstwowaniem przekątnym w małej skali (rys. 3A, B)

Jasnoszare do szare, bardzo drobno i drobnoziarniste piaskowce. Posiadają rynnowe warstwowanie przekątne tworzące zestawy do 15 cm miąższości. Miejscami występuje też laminacja riplemarkowa oraz równoległa. Granice pomiędzy rodzajami warstwowań mogą być erozyjne (kątowe powierzchnie erozyjne o zmiennej skali zasięgu) bądź płynne. Struktury są bardzo dobrze widoczne poprzez wyraźne granice pomiędzy poszczególnymi laminami i ich zestawami.

Interpretacja: Migracja przestrzennych, małoskalowych form dna, w warunkach dolnego reżimu przepływu (Harms et al. 1982)

Facja piaskowców masywnych z klastami ilastymi (rys. 4, 5)

Jasnoszare (miejscami żółtawe), drobno do gruboziarniste, średnio wysortowane piaskowce, o wyraźnie erozyjnych spągach (rys. 2, 3). Są one amalgamowane, z zaznaczającą się laminacją równoległą i niskokątową, a w stropowych partiach występuje warstwowanie przekątne lub konwolutive. Ponadto stropowe partie piaskowca przybierać mogą kształt kopułowy, dobrze widoczny w warstwach odsłoniętych na przestrzeni kilku metrów. Klasty ilaste występują w piaskowcu w formie rozproszonej, bądź koncentrują się podkreślając poziomy amalgamacji. Posiadają one erozyjny spąg o kanałowym charakterze, z wyraźnymi hieroglifami prądowymi.

Interpretacja: Depozycja z prądów zawiesinowych wysokiej gęstości (Mutti et al., 2003; Abadi et al., 2014). Obecność klastów ilastych o różnej wielkości, kształcie oraz stopniu obtoczenia, świadczy o przepływie w warunkach prądu o wysokiej gęstości, w którym lżejsze (ilaste) produkty erozyji transportowane są na czole takiego przepływu. Tego typu zjawisko najczęściej występuje w kanałach (Zuffa et al., 1995). Przejście z piaskowca masywnego w piaskowiec laminowany poziomo, faliście bądź niskokątowo, może świadczyć o zmianie reżimu przepływu ze spływu gęstościowego w spływ turbulentny (Mutti et al., 2003).

Tabela 1. Zestawienie i interpretacja facji warstw krosnieńskich opisanych w profilu Gorlice (fałd Gorlice)

Table 1. Description and interpretation of the Krosno Beds facies in the Gorlice section (Gorlice fold)

Facja		Litologia	Struktury sedimentacyjne	Miąższość warstw i ich geometria	Mechanizm depozycji
I	Iłowce/iłowce laminowane	Milimetrowej i centymetrowej skali laminowane iłowce. Barwa lamin od jasnoszarej przez szarą do ciemnoszarej, rzadziej czarna	Cykliczne i płasko-równoległe ułożenie lamin o typie „warwowym”	Milimetrowej i centymetrowej skali laminowane. Pojedyncze warstwy od 0,5 cm do kilku centymetrów	Depozycja z suspensji. Odpowiednik facji F9 (wg Mutti, 2003) bądź S4 (wg Zavalá et al., 2008; Zavalá i Pan, 2018)
II	Łupki menilitowe	Mułowce (łupki menilitowe). Barwa brązowa, wietrzejąc pozostawiają jasnoszary i żółtawy nalot	Bardzo łupliwe, o dobrej oddzielności	Milimetrowej i centymetrowej skali, w postaci wkładek o miąższości od kilku do kilkunastu centymetrów. Miejscami tworzą indywidualne pakiety grubości do około 1 metra	Depozycja z suspensji. Odpowiednik facji F9 (wg Mutti, 2003) bądź S4 (wg Zavalá i Pan, 2018)
III	Ciemnoszare i szare mułowce	Bezwapniste mułowce, jasno- do ciemnoszarych	Bezstrukturalne	Centymetrowej i decymetrowej miąższości. Występują też oddzielnie jako indywidualne interwały w profilu o miąższości od 10 cm do około 1 metra	Depozycja z suspensji. Odpowiednik facji F9 (wg Mutti, 2003) bądź S4 (wg Zavalá i Pan, 2018)
IV	Centymetrowej skali heterolity	Heterolit mułowców i bardzo drobnoziarnistych piaskowców. Piaskowce szare, żółtoszare	Piaskowce z laminacją równoległą (warstwowanie poziome), konwolutive, riplemarkową prądową, riplemarkową o symetrycznym charakterze	Centymetrowej miąższości warstwy piaskowców i mułowców	Sedymentacja o zmiennej energii i/lub zmiennej dostawie materiału (Collins et al., 2017)

cd. Tabela 1/ cont. Table 1

Facja		Litologia	Struktury sedymentacyjne	Miąszość warstw i ich geometria	Mechanizm depozycji
V	Decymetrowej skali heterolity	Heterolit piaskowców i mułowców. Barwa piaskowców od jasnoszarej do żółtoszarej	Piaskowce laminowane równoległe, riplemarkowo bądź konwolutnie, rzadziej poziomo i niskokątowo. Laminacja niskokątowa może odpowiadać kopułowemu warstwowaniu przekątnemu (HCS – <i>hummocky cross stratification</i>)	Decymetrowej grubości piaskowce i centymetrowej/decymetrowej miąszości mułowce. Wzajemnie warstwowane, z ostrym, wyraźnie zaznaczającym się kontaktem pomiędzy litotypami	Sedymentacja o zmiennej energii i/lub zmiennej dostawie materiału (Collins et al., 2017)
VI	Piaskowce laminowane rozdrobioną materią organiczną	Bardzo drobnoziarniste jasnoszare do szarżółtych piaskowce/pyłowce z czarnymi laminami	Laminacja równoległa, soczewkowa bądź zaburzona, podkreślona rozdrobioną materią organiczną	Centymetrowej i decymetrowej grubości warstwy z ciemnymi laminami grubości od 1 mm do 3 mm	Sedymentacja z suspenzji w warunkach spokojnej sedymentacji (wg Zavalá i Pan, 2018). Odpowiednik facji F9 (wg Mutti, 2003) bądź S2/L (wg Zavalá i Pan, 2018)
VII	Laminowane poziomo piaskowce	Jasnoszare i szare bardzo drobnoziarniste pyłowce i piaskowce	Bardzo wyraźne, ostre, płasko-równoległe powierzchnie rozdzielnosci. Brak wewnętrznych struktur sedymentacyjnych. Pakiety lamin tworzą czasami laminację bardzo niskokątową, mającą cechy kopułowego warstwowania przekątnego	Grubość lamin od 0,5 cm do 5 cm. Indywidualne warstwy piaskowców dochodzą do 0,5 m	Depozycja z wysokoenergetycznego spływu grawitacyjnego o wysokim stężeniu materiału o zmiennej intensywności przepływu (Olariu et al., 2010). Odpowiednik facji F7 (wg Mutti, 2003) bądź S2 (wg Zavalá i Pan, 2018)
VIII	Metrowej skali piaskowce	Szare, jasnoszare, szarżółte piaskowce wapieniste, mikowe, o frakcji od drobno- do gruboziarnistych, miejscami do bardzo gruboziarnistych	Masywne, niewyraźnie warstwowane, rzadziej amalgamowane. Wykazują cechy ciągłych zmian grubości ziarna w profilu pionowym – zmienny charakter frakcjonalny	Miąszość pakietów od 1 m do kilku metrów	Depozycja w wysoko energetycznym środowisku z wysoko gęstościowego przepływu piaskowcowego (Lowe, 1988). Odpowiednik facji F8 (wg Mutti, 2003) bądź facji S1 (wg Zavalá i Pan, 2018)
IX	Piaskowce słabo związane	Słabo związane piaskowce, bardzo drobno- do średnioziarnistych. Barwa jasnoszara do zielonoszarej, zależy od składników: kwarcu, ziaren litycznych i glaukonitu. Występują klasty ilaste, średnicy od kilku milimetrów do kilku centymetrów	Głównie masywne, bezstrukturalne. Występują amalgamacje, wielkoskalowe warstwowanie przekątne, warstwowanie poziome	Zespoły warstw od 1 m do kilku metrów	Odpowiednik facji F5 (wg Mutti, 2003) bądź facji B3 (wg Zavalá i Pan, 2018)
X	Laminowane w milimetrowej skali wapienie	Biały mikrokrystaliczny wapień amalgamowany jasnoszarym mułowcem i ilowcem	Laminacja równoległa	Miąszości poszczególnych warstw są różne i wynoszą od kilku milimetrów do kilku centymetrów	Białe laminy w większości składają się z kokolitów (np. Haczewski, 1989; Ciurej i Haczewski, 2012), przewarstwiane ciemnymi laminami (mułowce), deponowane z zawiesiny (Dziadzio et al., 2018 – niepublikowane)
XI	Ankeryt	Dolomit żelazisty	Bezstrukturalny	Eliptyczne koncentracje oraz warstwy miąszości od kilku do kilkunastu centymetrów	Dolomity mogą powstawać w wyniku pierwotnych, jak i wtórnych procesów diagenetycznych (Einsele, 1992; Sugitani et al., 1998)

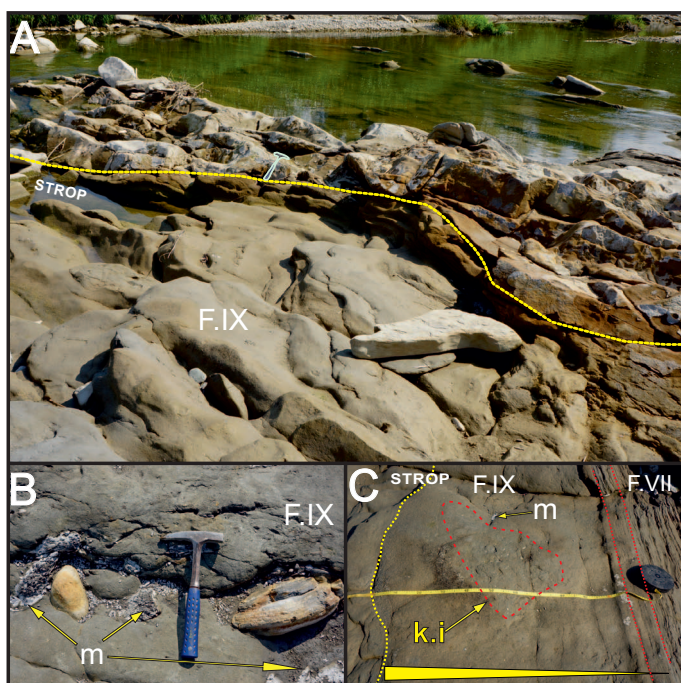
Profile warstw krośnieńskich

Profil Stróże

Profil warstw krośnieńskich w obrębie łuski Stróże różni się wykształceniem litologicznym od profili z fałdu Gorlic (profil Gorlice i Lipinki). Dolna część profilu Stróże składa się ze słabo zwięzłych ciemnoszarych piaskowców (facja IX), które wydają się stanowić tło dla współwystępujących facji, głównie piaskowcowych (facje VI i VII) i heterolitowych (facje IV i V) (rys. 2). Górna część profilu, gorzej odsłonięta niż dolna, ma charakter heterolitowy ze zmiennym udziałem piaskowców, mułowców oraz iłowców (rys. 8).

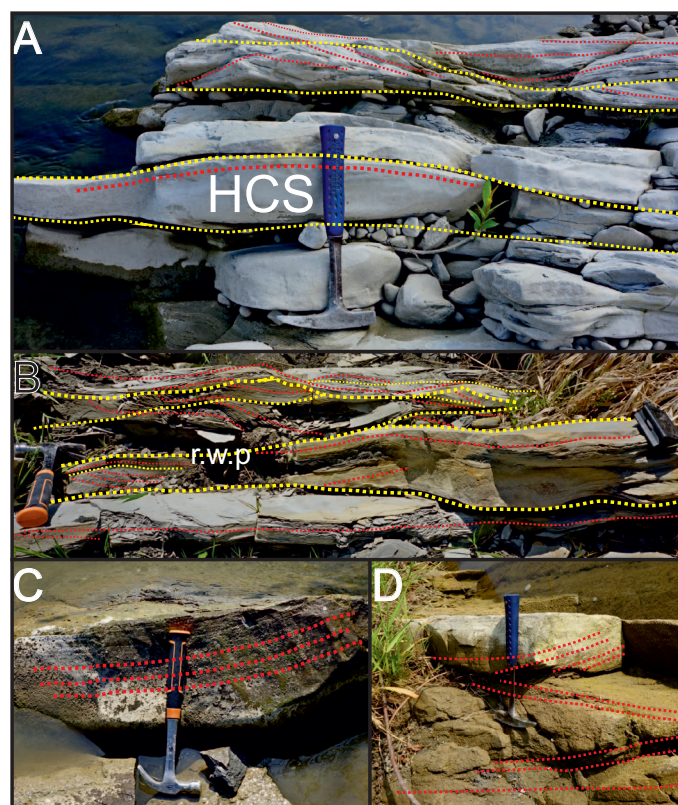
Początek profilu, kontakt warstw krośnieńskich z warstwami menilitowymi, został przyjęty w miejscu występowania ostatniej warstwy brunatnych mułowców typu menilitowego (facja F.II),

ponad którymi znajduje się mięszczy pakiet (około 30 m) ciemnoszarych, najczęściej masywnych, słabo zwięzłych piaskowców odpowiadających facji F.IX (tab. 2). Piaskowce te mają cechy zarówno piaskowców magdaleńskich, jak i piaskowców krośnieńskich. Miejscami współwystępują w stropowych partiach z piaskowcami laminowanymi poziomo (facja F.VII) (rys. 2C) oraz ze zlitfikowanymi piaskowcami bardzo drobnoziarnistymi o zmiennej miąższości i erozyjnym spągu, mającym korytowy charakter (rys. 2A). Cechą charakterystyczną tego piaskowca są amalgamacje materiałem gruboziarnistym oraz występowanie beżowych i jasnozielonych klastów ilastych o różnej wielkości (od kilku milimetrów do kilku centymetrów) (rys. 2C). Dodatkowo obserwuje się w nim też fragmenty łupków menilitowych w postaci klastów z zachowaną pierwotną laminacją oraz w postaci otoczek o średnicy do kilkunastu centymetrów (rys. 2B).



Rys. 2. Profil Stróże. Początek profilu warstw krośnieńskich. A – masywne piaskowce facji F.IX rozcinane piaskowcami o erozyjnym, korytowym charakterze; B – piaskowiec facji F.IX z fragmentami łupków menilitowych (m) (wskazanych strzałkami) oraz klastami skał mułowcowych i piaskowcowych; C – amalgamowany masywny piaskowiec facji F.IX (linia żółta przerywana) z koncentracją klastów ilastych (k.i – czerwona przerywana linia) i fragmentami łupków menilitowych (m), przykryty piaskowcem laminowanym poziomo (facja F.VII). Widoczna normalna gradacja uziarnienia i ciągłe przejście facji F.IX do F.VII (żółty trójkąt)

Fig. 2. Stróże profile. Beginning of Krosno Beds section. A – massive sandstone (F.IX facies) sharply cut by channel-shaped fine-grained sandstone; B – massive sandstone (F.IX facies) with Menilite shale (m) (marked by arrows), mudstone and sandstone clasts; C – amalgamated massive sandstone (yellow dotted line) with mud (k.i) and Menilite shale (m) clasts (marked by arrows and red dotted line) (F.IX facies) overlain by parallel laminated sandstone (red dotted lines) (F.VII facies). Normal grading and continuous transition between sandstone facies (from F.IX to F.VII facies) (yellow triangle)



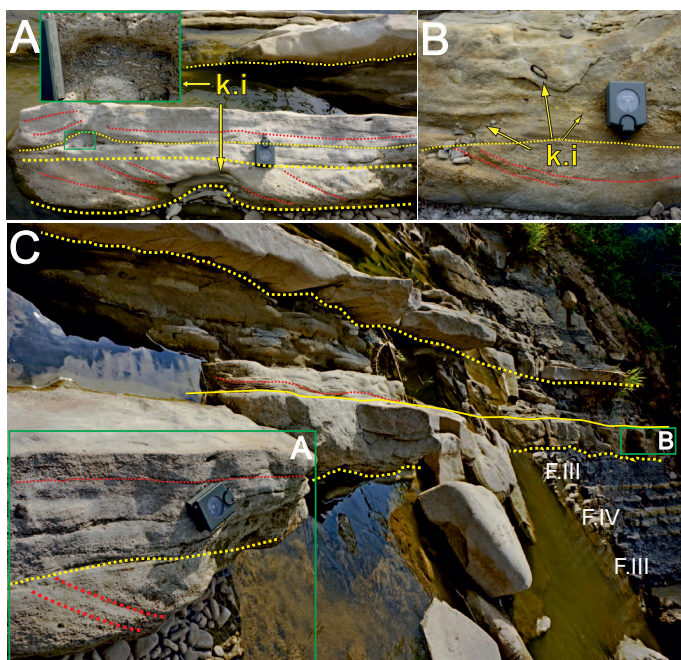
Rys. 3. Profil Stróże. Facja piaskowców przekątnie warstwowych. A – bardzo drobnoziarniste piaskowce z kopułowym warstwowaniem przekątnym (HCS) (środkowa część zdjęcia) oraz z rynnowym warstwowaniem przekątnym (górna część zdjęcia); B – bardzo drobnoziarniste piaskowce z rynnowym warstwowaniem przekątnym (r.w.p.), z wyraźnymi poziomami erozyjnymi rozdzielającymi poszczególne pakiety (linia żółta); C, D – drobnoziarniste piaskowce z warstwowaniem przekątnym

Fig. 3. Stróże section. Cross-bedding sandstone facies. A – hummocky cross-stratified (HCS) very fine-grained sandstone overlain by very fine-grained trough stratified sandstone; B – very fine-grained trough stratified sandstone (r.w.p.), with erosion and discordance between bundles of laminae set (yellow dotted lines); C, D – cross bedding fine-grained sandstone

W środkowej części profilu (97 m) występują bardzo drobno- i drobnoziarniste jasnoszare piaskowce z szeregiem charakterystycznych struktur sedimentacyjnych: rynnowe warstwowanie przekątne (rys. 3B), kopułowe warstwowanie przekątne (HCS) (rys. 3A), niskokątowe warstwowanie przekątne. Struktury te rozdzielane są niskokątowymi powierzchniami erozyjnymi, które miejscami płynnie przechodzą w równoległe do siebie zestawy lamin (rys. 3A, B – żółte przerywane linie). Charakterystyczne jest przeciwstawne ułożenie zestawów lamin (czerwone przerywane linie) na granicach erozyjnych. Poszczególne warstwy piaskowca rozdzielone są cienkimi (5–10 cm) wkładkami szarych mułowców (facji F.II). Całość tworzy wybitnie trójwymiarową, złożoną strukturę. W spągowych partiach piaskowców rzadko obserwuje się

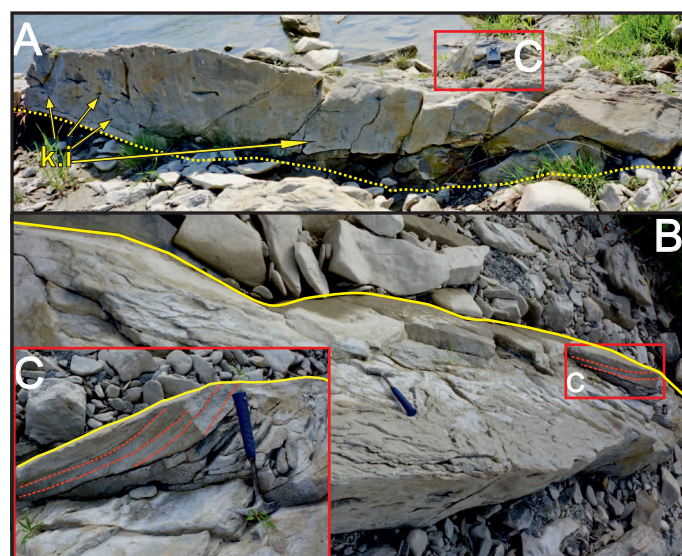
hieroglify prądowe, a nieliczne z nich wskazują transport materiału na północ.

Kolejnymi charakterystycznymi poziomami stwierdzonymi na 106. i 122. metrze profilu są jasnoszare (miejscami żółtawe), drobno- do gruboziarniste piaskowce mikowe, o wyraźnej erozyjnych spągach (rys. 4, 5). Materiał je budujący jest średnio wysortowany, występują nagromadzenia grubszych ziaren kwarcu, skaleni i klastów ilastych o różnym stopniu obtoczenia. Obserwowana miąższość piaskowców jest zmienna na przestrzeni kilku metrów wraz z ich rozciągłością, średnio od 20 cm do 60 cm. Piaskowce są amalgamowane, zaznacza się laminacja równoległa i warstwowanie przekątne (rys. 4A). Często zdarza się, że w stropowej ich części występuje laminacja falista i warstwowanie przekątne (rys. 4C, 5B), a sama powierzchnia stropowa może przybierać formę kopuły o szerokości około 1 metra (rys. 5B). Na spągowych powierzchniach piaskowców widnieją bardzo wyraźne hieroglify prądowe, które wskazują na kierunek transportu na zachód (106. metr profilu) oraz na północ (122. metr). W piaskowcu obserwuje się klasty ilaste o różnej wielkości (od kilku milimetrów do kilku centymetrów) i różnym stopniu obtoczenia, występujące w formie rozproszonej bądź nawiązującej do uławicenia (rys. 4A, B; 5A).



Rys. 4. Profil Stróże. Facja piaskowców z klastami ilastymi. A – szare piaskowce o erozyjnym charakterze z warstwowaniem przekątnym w dolnej części (linie czerwone) oraz laminacji równoległej w górnej jego części (linie czerwone). Klasty ilaste (k.i) o różnej wielkości (od kilku milimetrów do kilku centymetrów) w spągowej i centralnej części ławicy piaskowca; B – drobnoziarnisty piaskowiec z powierzchnią amalgamacji wyścieloną grubszym ziarnem (linia żółta), warstwowaniem przekątnym (linie czerwone) oraz klastami ilastymi (k.i) o różnej wielkości; C – sekwencja występowania piaskowców o kanałowym charakterze (w środkowej części zdjęcia) rozcinających facje mułowców (F.III) i heterolitów centymetrowej skali (F.IV)

Fig. 4. Stróże section. Sandstone with mud-clasts. A – grey cross bedding (on the bottom part – red dotted lines) and parallel bedding (of the top part – red dotted lines) sandstone with erosional bottom surface (yellow dotted line). Note the clay clasts (k.i – marked by arrows) on the bottom and central part; B – amalgamated (yellow dotted line) and cross-bedding (red dotted lines) fine-grained sandstone with different sizes of clay clasts (k.i – marked by arrows); C – sandy heterolithic bedding (F.IV facies) and mudstone (F.III facies) overlain by erosional channel filled cross-bedded sandstone (on the middle part)



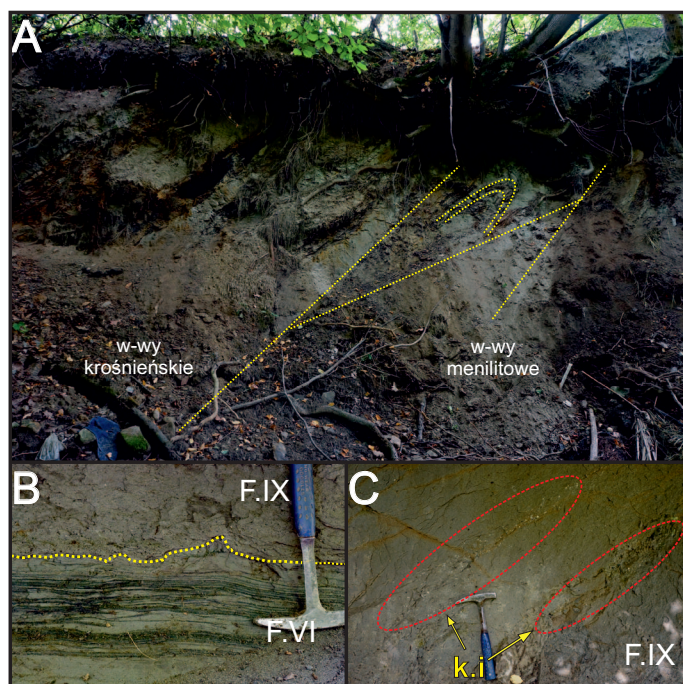
Rys. 5. Profil Stróże. Facja piaskowców z klastami ilastymi. A – ławica piaskowca o erozyjnym, kanałowym charakterze (przerwana linia żółta) z klastami ilastymi i/lub pustkami po nich (k.i); B – stropowa część ławicy piaskowca (z rys. 5A) o charakterystycznym kopułowym kształcie; C – zbliżenie na stropową część ławicy piaskowca z rys. 5A, B z podkreślonym warstwowaniem przekątnym w stropowej części (linie czerwone) oraz kopułowym charakterem jego stropu (linia żółta ciągła)

Fig. 5. Stróże section. Sandstone with mud-clasts. A – channel-shaped massive sandstone bed (yellow dotted line) with abundant mud-clasts (k.i – marked by arrows); B – hummock-like top surface of channel-shaped sandstone; C – close-up (red boxes in the 5A, B figure) of hummock-like top surface (yellow line) channel-shaped massive sandstone with cross bedding (red lines).

Profil kończy się bardzo drobno- i drobnoziarnistymi ciemnoszarymi piaskowcami z rozdrobnioną materią organiczną (facja F.IV). Zaznacza się w nich bardzo wyraźna alternacja ciemniejszych (poziomo zalegająca materia organiczna) i jaśniejszych (piaskowiec/pyłowiec) warstw, tworzących regularne kilkucentymetrowe cykle spadku grubości ziarna (rys. 6).

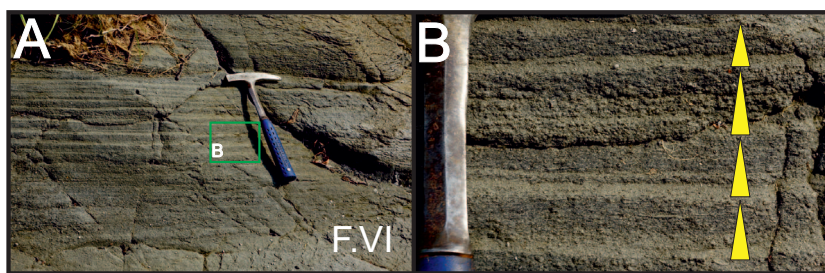
Profil Lipinki

Profil Lipinki z powodu gorszego stanu odsłonięcia nie został tak dokładnie opisany jak profil Stróże. Z tego względu zarejestrowane zostały typy litologiczne bez tak szczegółowego jak w Stróżach rozpoznania struktur sedimentacyjnych. Profil ten cechuje piaskowcowy charakter na całym jego opisanym odcinku (rys. 8), z nieczęstymi przewarstwieniami facji mułowców szarych (facja F.III) i brunatnych typu menilitowego (rys. 7).



Rys. 7. Profil Lipinki. A – kontakt warstw menilitowych i krośnieńskich z zaznaczonym jego erozyjnym/tektonicznym charakterem (przerwane żółte linie); B – erozyjny kontakt facji F.VI z F.IX. W facji piaskowców laminowanych materią organiczną (F.VI) widoczne warstwowanie soczewkowe i laminacja równoległa. W spągowej, erozyjnej części piaskowca słabo związłego (F.XI) różnej wielkości rozdrobniona materia organiczna; C – piaskowiec słabo związły (F.XI) z koncentracjami klastów ilastych (k.i) zorientowanych równoległe do uławicenia (czerwone elipsy)

Fig. 7. Lipinki section. A – erosional/tectonic contact (marked by dotted lines) zone between Krosno Beds and Menilite Beds; B – erosional contact between organic matter laminated sandstone (F.VI facies) with lenticular bedding and massive sandstone (F.IX facies); C – massive sandstone (F.IX facies) with parallel to lamination contraction of mud-clasts (k.i – marked by arrows)



Rys. 6. Profil Stróże. A – Facja piaskowców laminowanych substancją organiczną (F.VI); B – Zbliżenie na fację F.VI z dobrze widocznymi poziomami koncentracji materii organicznej leżącymi ponad bardzo drobnoziarnistym piaskowcem/pyłowcem. Żółte trójkąty podkreślają normalny cykl gradacji ziarna.

Fig. 6. Stróże section. A – organic matter parallel-laminated sandstone (F.VI facies); B – Close-up of parallel-laminated sandstone, showing normal graded of individual laminae sets (upward-pointing triangles).

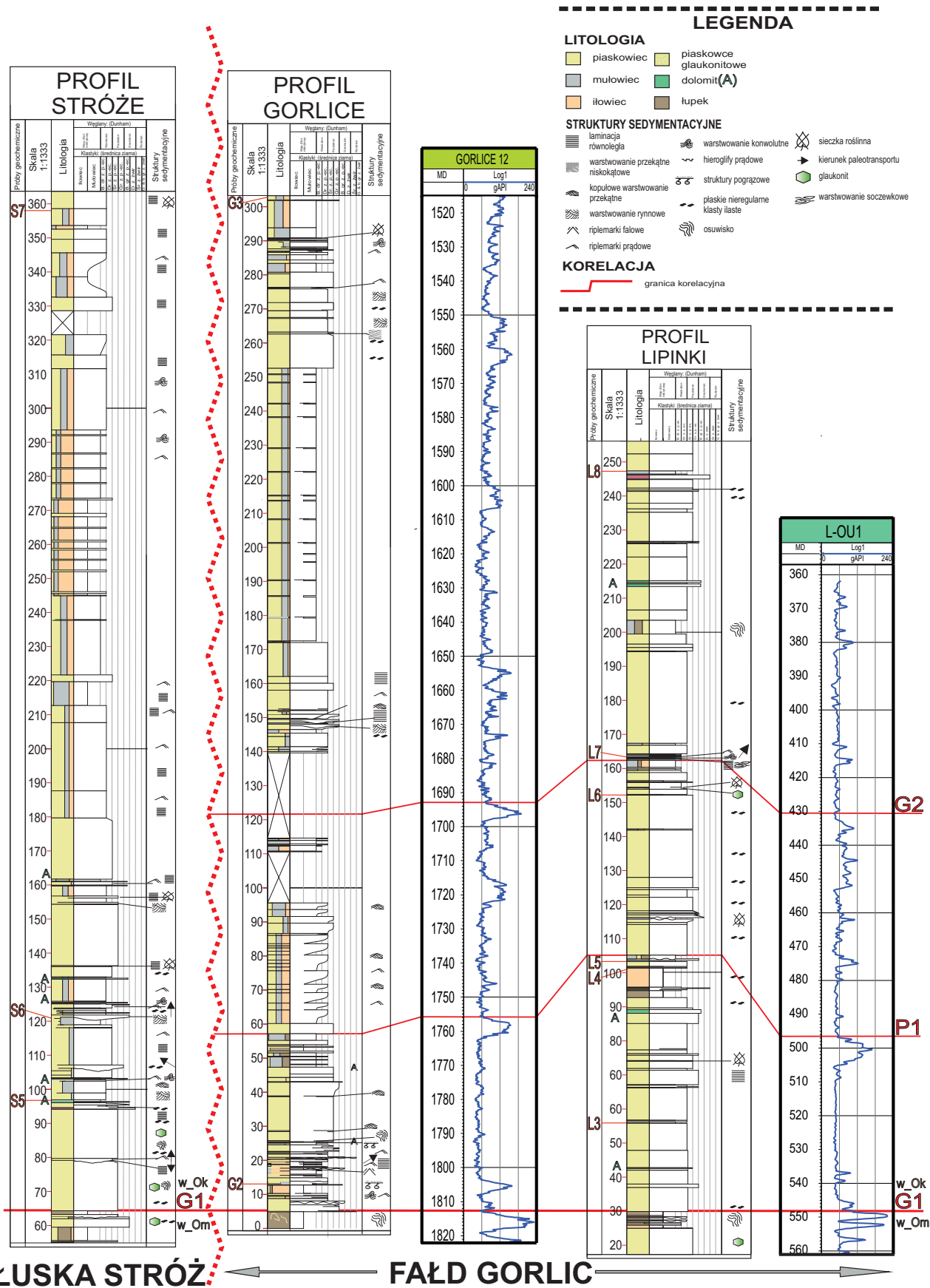
Granica warstw menilitowych i krośnieńskich występuje na kontakcie piaskowców typu magdaleńskiego, łupków menilitowych i czarnych ilowców z piaskowcem typu krośnieńskiego (rys. 7A). Charakterystyczny jest zaburzony osuwiskowo lub tektonicznie charakter tego kontaktu (rys. 7A), ze zdeformowanymi wkładkami łupków menilitowych i piaskowców, podobnie jak w profilu Gorlice (Drozd et al., 2019).

W opisanym profilu dominują słabo związane ciemnoszare piaskowce frakcji od bardzo drobno- do średnioziarnistej (facja F.IX). Piaskowce te są często bezstrukturalne, masywne, rzadziej laminowane poziomo. Obserwuje się w nich klasty ilaste o różnej wielkości i różnym stopniu obtoczenia, tworzące czasami równoległe do uławicenia poziomy koncentracji (np. 120. metr profilu) (rys. 7C). W profilu występują również wkładki mocniej zdiagenezowanych piaskowców o różnej frakcji, laminowanych materią organiczną pyłowców (facja F.VI – rys. 7C), szarych mułowców (facja F.III), ankerytów w postaci konkrecji i lamin (facja F.XI) oraz cienkich wkładek węgla. W sporadycznie odsłoniętych spągowych powierzchniach piaskowców występują hieroglify prądowe wskazujące kierunek paleotransportu na północny wschód.

Korelacja profili

Na podstawie nowych terenowych profili litologicznych Stróże i Lipinki, uzupełnionych o profil Gorlice (Drozd et al., 2019) oraz dane geofizyki wiertniczej z otworów Gorlice-12 (Drozd et al., 2019) i L-OU1, przeprowadzona została korelacja dolnych warstw krośnieńskich (rys. 8). Całość danych została wyrównana do granicy stropu warstw menilitowych, który szczególnie w fałdzie Gorlic zaznacza się bardzo wyraźnie zarówno w terenie, jak i na profilowaniu gamma. Pewnym utrudnieniem był brak dostępu do informacji otworowych z łuski Stróż, co uniemożliwiło pełną analizę opartą na tym samym pakiecie danych w całym rejonie badań.

Terenowe profile litologiczne i dane geofizyki otworowej z fałdu Gorlic charakteryzują się dobrym stopniem korelacji.



Rys. 8. Zestawienie i korelacja profili warstw krosnieńskich (profile Stróże, Gorlice, Lipinki) z zapisem krzywych geofizyki wiertniczej z otworów Gorlice-12 (zmodyfikowany za Drozd et al., 2019) i L-OU1

Fig. 8. Correlation of lithological profile of Krosno Beds and well logs from Gorlice-12 (modified after Drozd et al., 2019) and L-OU1 wells

Pozwoliło to na przeniesienie granic korelacyjnych G1, P1, G2 z profilu Gorlice (Drozd et al., 2019) na profil Lipinki oraz na krzywą geofizyki wiertniczej z otworu L-OU1. Granica G1 jako jedyna jest wspólna dla wszystkich 3 profili terenowych i związana jest z końcem sedymentacji serii menilitowej. Wyznaczona została, podobnie jak pozostałe granice (P1 i G1), w spągu mięjszych pakietów piaskowców facji F.VIII bądź F.IX.

Bardzo wyraźne podobieństwo dolnych warstw krośnieńskich (zwłaszcza pomiędzy granicą G1 a P1) widać na krzywej gamma. Niskie wartości tego profilowania interpretowane są tu jako pakiety piaskowcowe, które w obu otworach wiertniczych mają zbliżoną miąższość. Piaskowce te rozdzielane są interwałami o wysokich wartościach profilowania gamma (rys. 8), które dzięki pracom terenowym zostały zidentyfikowane jako facje ilowców (F.I), mułowców (F.III) oraz wkładki łupków menilitowych (F.II). Tego typu przewarstwienia piaskowców krośnieńskich z facjami warstw menilitowych definiują ciągły, przejściowy charakter kontaktu warstw menilitowych i krośnieńskich w fałdzie Gorlic. Inną cechą opisaną granicy jest jej erozyjny/tektoniczny kontakt, zaznaczający się w profilu Lipinki (rys. 7A) i który ze względu na stan odsłonięcia najlepiej obserwować można w korycie rzeki Sękówka (profil Gorlice).

Profil Stróże z powodu braku możliwości powiązania go z danymi geofizyki wiertniczej mógł być porównywany z profilami z fałdu Gorlic tylko pod kątem wykształcenia litologicznego i facjalnego. Mimo generalnego podobieństwa facji tworzących badane odsłonięcia – w profilu Stróże obserwuje się różnice zarówno w ich następstwie, jak i samej litologii. Przykładem tego może być występowanie miąższego, 65-metrowego pakietu heterolitowego (245–310. m profilu) z przeważającym udziałem facji ilastych (F.I) i mułowcowych (F.III), co nie jest obserwowane w tych samych miejscach profilu w sekcjach Gorlice i Stróże. Kolejną obserwowaną różnicą jest charakter kontaktu warstw menilitowych z warstwami krośnieńskimi. Jest on ostry i nie obserwuje się, tak jak w fałdzie Gorlic, wkładki łupków menilitowych w profilu warstw krośnieńskich. Także obserwowane kierunki paleotransportu na spągowych powierzchniach piaskowców różnią się pomiędzy omawianymi strefami, wskazując na transport ku północy i zachodowi w Stróżach w przeciwieństwie do kierunków generalnie ku wschodowi w fałdzie Gorlic.

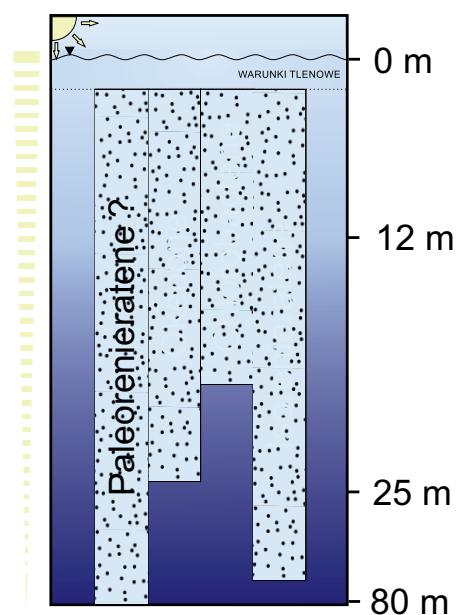
Analiza biomarkerów

Wprowadzenie

Wiele biomarkerów może być stosowanych w celu określenia środowiska sedymentacji materii organicznej. Do tej grupy należą też aromatyczne karotenoidy (Sousa Júnior et al., 2013).

Aromatyczne karotenoidy i ich pochodne są produkowane przez zielone i purpurowe bakterie siarkowe. Aromatyczne karotenoidy i ich pochodne znajdujące się w skałach osadowych są źródłem cennych informacji na temat charakteru paleośrodowiska. Przede wszystkim są wskaźnikami występowania anoksji i euksynii (wody wzbogacone w duże ilości siarkowodoru H_2S) w fotycznej strefie kolumny wody (Meyer et al., 2011).

Aromatyczne karotenoidy – m.in. renieraten, chlorobakten – są pigmentami występującymi w zielonych bakterii siarkowych (*Chlorobiaceae*), natomiast okenon – w purpurowych bakterii siarkowych (*Chromatiaceae*) (Spaak et al., 2018). Izorenieraten i β -izorenieraten występują w brązowo zabarwionej odmianie zielonych bakterii siarkowych. Izorenieraten i arylowe izoprenoidy, które są pochodnymi izorenieratenu, są łączone z zielonymi bakteriami siarkowymi *Chlorobiaceae*. Izorenieraten jest bardzo dobrym wskaźnikiem warunków euksynicznych panujących w dolnej części strefy fotycznej (Kaiho et al., 2016). Natomiast paleorenieraten jest wiązany z wymarłymi gatunkami *Chlorobiaceae* (Melendez et al., 2013; French et al., 2015; Aderoju i Bend, 2018).



Rys. 9. Zakres głębokości w zbiorniku wodnym, do jakich najprawdopodobniej występują wyższe aromatyczne karotenoidy (zmodyfikowany za Edwards et al., 2018)

Fig. 9. Range of depths in the water reservoir up to which higher aromatic carotenoids most likely occur (modified after Edwards et al., 2018)

Na rysunku 9 przedstawiono aromatyczne karotenoidy i głębokości, do jakich występują w zbiorniku wodnym. Okenon występuje do głębokości około 20 m, chlorobakten do kilkunastu metrów, izorenieraten do 80 m, paleorenieraten najprawdopodobniej również w zakresie do 80 m (French et al., 2015; Edwards et al., 2018).

Za pomocą powyższych związków można w przybliżeniu określić głębokość chemokliny w zbiorniku wodnym. Należy jednak przy tym być ostrożnym, a najlepiej wspomagać badania geochemiczne sedimentologicznymi lub/i mikrobiologicznymi. Bakterie GSB (zielone bakterie siarkowe) i PSB (purpurowe bakterie siarkowe) produkujące aromatyczne karotenoidy mogą występować w planktonie w kolumnie wody, jak również w bentosie przy dnie zbiornika (Meyer et al., 2011). W tym drugim przypadku autorzy stawiają hipotezę (za informacją ustną – Leszek Marynowski), że aromatyczne karotenoidy, występując w matach przydennych, mogą służyć do przybliżenia głębokości zbiornika wodnego, zwłaszcza w przypadku, gdy jest on stosunkowo płytki.

Karotenoidy i ich pochodne są ważnym narzędziem służącym do określania zmian głębokości wód morskich i interpretacji środowiska sedimentacji, co potwierdza wiele prac (m.in.: Summons i Powell, 1987; Sun et al., 2003; Frimmel et al., 2004; Lu et al., 2004; Peng et al., 2004; Wang et al., 2011; Hu et al., 2016).

Wyniki badań geochemicznych

Wyniki badań i wnioski dotyczące środowiska sedimentacji dla wszystkich profili podano w tabeli 2.

Profil Stróże

W badanych próbkach z profilu Stróże stwierdzono obecność trimetylowych arylowych izoprenoidów w pełnym zakresie homologów, co umożliwiło wyliczenie wskaźnika AIR ($aryl\ isoprenoid\ ratio = (C_{13} + C_{14} + C_{15} + C_{16} + C_{17}) / (C_{18} + C_{19} + C_{20} + C_{21} + C_{22})$) (Schwark i Frimmel, 2004). Na rysunku 10 znajduje się chromatogram przedstawiający trimetylowe arylowe izoprenoidy ($m/z = 133$, $m/z = 134$) w zakresie od C_{13} do C_{22} . Wartości wskaźnika arylo-izoprenoidowego AIR dla próbek z profilu Stróże podano w tabeli 2, w której znajdują się też wartości wskaźnika Pr/Ph (pristan/fitan). Wartości wskaźnika Pr/Ph dla próbek S-5 i S-7 świadczą o redukcyjnym środowisku sedimentacji materii organicznej, co również jest potwierdzone obecnością trimetylowych arylowych izoprenoidów. W próbce S-6 wartość wskaźnika Pr/Ph wskazuje na środowisko suboksyczne. Diarylowe izoprenoidy występują w bardzo ograniczonym zakresie i niewielkiej ilości lub nie występują wcale. Izoreneratan jest obecny w próbkach S-5 i S-7, lecz w niewielkich, śladowych ilościach. Nie stwierdzono występowania takich związków jak m.in.: chlorobaktan, β -izoreneratan, β -paleoreneratan, paleoreneratan.

Wartości wskaźnika AIR dla tych próbek wskazują na długotrwałą fotyczną strefę anoksyczną (szczególnie w próbce

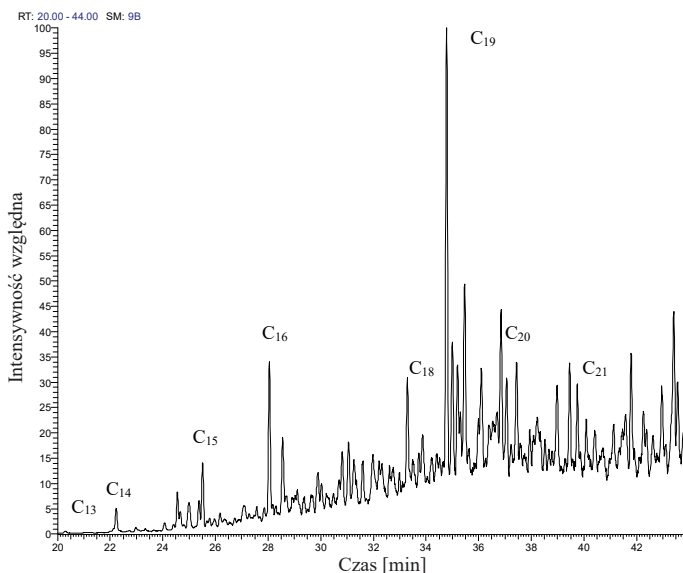
Tabela 2. Wskaźniki obliczone na podstawie izoprenoidów i arylowych izoprenoidów

Table 2. Indicators calculated on the basis of isoprenoids and aryl isoprenoids

Próbka	Pr/Ph	AIR	Opis środowiska sedimentacji	Głębokość [m]
Profil Stróże				
S-5	0,41	0,52	Stratyfikacja kolumny wody, anoksyczne, trwała fotyczna strefa anoksyczna?	–
S-6	1,02	0,51	Stratyfikacja kolumny wody, na granicy anoksyczne/suboksyczne, trwała fotyczna strefa anoksyczna	–
S-7	0,77	0,03	Stratyfikacja kolumny wody, anoksyczne, długotrwała fotyczna strefa anoksyczna	–
Profil Lipinki				
L-3	n.o.	0,62	Stratyfikacja kolumny wody, anoksyczne, trwała fotyczna strefa anoksyczna, euksyniczne (w głębszej części strefy fotycznej, brak wolnego tlenu, występowanie siarkowodoru H ₂ S w dużych ilościach)	<100
L-5	0,46	0,30	Stratyfikacja kolumny wody, anoksyczne, euksyniczne, trwała fotyczna strefa anoksyczna	<100
L-6	0,37	0,22	Stratyfikacja kolumny wody, anoksyczne, euksyniczne, trwała fotyczna strefa anoksyczna	<100
L-7	0,16	n.o.	Stratyfikacja kolumny wody, silnie anoksyczne, euksyniczne, trwała fotyczna strefa anoksyczna	<100
L-8	0,49	0,02	Stratyfikacja kolumny wody, anoksyczne, euksyniczne, trwała fotyczna strefa anoksyczna	<100
Profil Gorlice				
G-2	0,69	0,16	Stratyfikacja kolumny wody, anoksyczne, euksyniczne, trwała fotyczna strefa anoksyczna	<100
G-3	0,51	0,66	Stratyfikacja kolumny wody, anoksyczne, euksyniczne, trwała fotyczna strefa anoksyczna	<100
G-4	0,71	n.o.	Stratyfikacja kolumny wody, anoksyczne	<100
G-6	1,21	n.o.	Stratyfikacja kolumny wody, suboksyczne	<100
G-7	1,50	n.o.	Stratyfikacja kolumny wody, suboksyczne	<100
G-8	1,32	n.o.	Stratyfikacja kolumny wody, suboksyczne	<100
G-9	1,45	n.o.	Stratyfikacja kolumny wody, suboksyczne	<100

n.o. – nie obliczono ze względu na brak lub śladowe ilości krótko- i średniołańcuchowych arylowych izoprenoidów

Stróże-7, AIR = 0,03). Jednak brak wyższych karotenoidów i śladowe ilości izorenieratanu powodują wstrzymanie się z ostatecznymi wnioskami co do występowania i okresu trwania anoksji w strefie fotycznej, a tym bardziej szacowania głębokości zbiornika.



Rys. 10. Skład arylowych izoprenoidów w zakresie C₁₃ do C₂₂ we frakcji aromatycznej wydzielonej z ekstraktu bitumicznego – próbka Stróże-2

Fig. 10. Composition of aryl isoprenoids in the range from C₁₃ to C₂₂ in the aromatic fraction, separated from the bituminous extract – sample Stróże-2

Profil Lipinki

Próbki z profilu Lipinki podobnie jak z profilu Stróże są mocno zdegradowane, o czym świadczy przewaga pristanu i fitanu nad n-alkanami, w tym wyraźnie nad odpowiednimi n-alkanami: n-C₁₇ i n-C₁₈. W większości badanych próbek stwierdzono obecność trimetylowych arylowych izoprenoidów w pełnym zakresie homologów, co umożliwiło wyliczenie wskaźnika AIR ($aryl\ isoprenoid\ ratio = (C_{13} + C_{14} + C_{15} + C_{16} + C_{17}) / (C_{18} + C_{19} + C_{20} + C_{21} + C_{22})$) (Schwark i Frimmel, 2004).

Wartości wskaźnika AIR dla próbek z profilu Lipinki podano w tabeli 2, w której znajdują się też wartości wskaźnika Pr/Ph (pristan/fitan). Wartości wskaźnika Pr/Ph dla wszystkich próbek świadczą o redukcyjnym środowisku sedymentacji materii organicznej, co również jest potwierdzone obecnością trimetylowych arylowych izoprenoidów. Diarylowe izoprenoidy występują w bardzo ograniczonym zakresie i niewielkiej ilości lub nie występują wcale. Izorenieratan jest obecny we wszystkich próbkach, w ilościach dużych względem próbek z profilu Stróże. Podejrzewa się również występowanie paleorenieratanu. Obecność izorenieratanu potwierdza pochodzenie krótko- i średniołańcuchowych arylowych izoprenoidów od bakterii *Chlorobiaceae*, a także wiąże się z warunkami

euksynicznymi (występowanie siarkowodoru H₂S w dużych ilościach) w głębszej części strefy fotycznej (Kaiho et al., 2016). Nie stwierdzono obecności takich związków jak m.in.: chlorobaktan, β-izorenieratan, β-paleorenieratan. Ewentualnie występują one w śladowych ilościach, ale nie zidentyfikowano ich z całkowitą pewnością.

Wartości wskaźnika AIR (bardzo niskie) próbek L5-L8 wskazują na długotrwałą fotyczną strefę anoksydacyjną. Jedyne próbka L-3 ma trochę wyższą wartość wskaźnika AIR.

Wstępnie głębokość sedymentacji materii organicznej można oszacować na nie większą niż około 100 m (izorenieratan).

Profil Gorlice

W dwóch próbkach: G-2 i G-3 (spośród 7 badanych próbek) stwierdzono obecność wyższych aromatycznych karotenoidów, takich jak: β-paleorenieratan, β-izorenieratan, β-renierapurpuran, izorenieratan, renieratan. W największej względnie ilości występuje izorenieratan, co wskazuje na warunki euksyniczne i głębokość nie większą niż około 100 m (tabela 2). W próbce G-4 zidentyfikowano wstępnie w śladowych ilościach wymienione wyżej wyższe karotenoidy. W pozostałych próbkach nie występuje izorenieratan ani inne wyższe karotenoidy.

Podsumowanie wyników biomarkerów

Arylowe izoprenoidy

Profil Stróże

Próbki te reprezentują materię organiczną, która była deponowana w warunkach redukcyjnych, być może w trwałej anoksji w strefie fotycznej. Izorenieratan występuje w śladowych lub małych ilościach, pozostałe wyższe karotenoidy nie występują.

Profil Lipinki

Oporając się na wynikach (rys. 11, 12), stwierdza się, że próbki z profilu Lipinki reprezentują materię organiczną, która była deponowana w warunkach redukcyjnych, w trwałej anoksji w strefie fotycznej. Obecność izorenieratanu we wszystkich próbkach – potwierdza występowanie fotycznej strefy anoksydacyjnej w okresach długotrwałych. Jego obecność jest też interpretowana jako potwierdzenie euksynicznych warunków (wzbogacenie w siarkowódór) w dolnej części strefy fotycznej (rys. 12; Kaiho et al., 2016). Izorenieratan wskazuje też wstępnie na głębokość do około 100 m, na której następowała sedymentacja materii organicznej.

Profil Gorlice

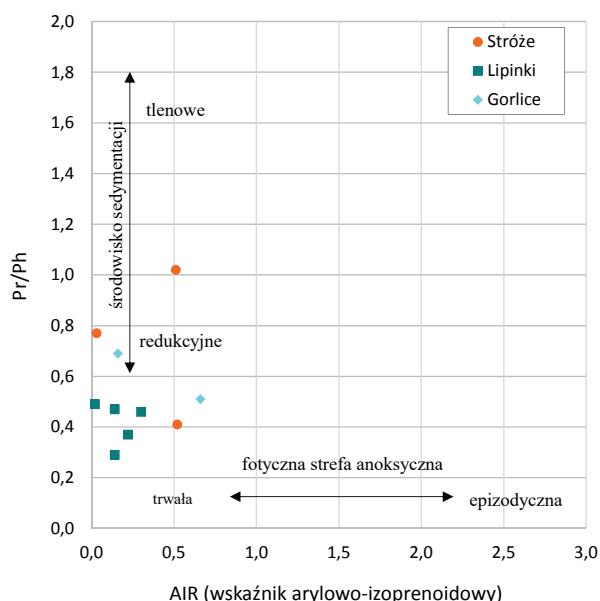
Tylko 2 próbki z warstw krośnieńskich z profilu Gorlice (G-2 i G-3) w swoim składzie posiadały cały szereg homologiczny

arylowych izoprenoidów w zakresie C₁₃ do C₂₂, dlatego tylko one mogły być wykorzystane do korelacji przedstawionej na wykresie (rys. 11). Wykazują one cechy redukcyjnego środowiska sedimentacji z trwałą fotyczną strefą anoksyczną oraz stratyfikację kolumny wody.

Wyższe karotenoidy

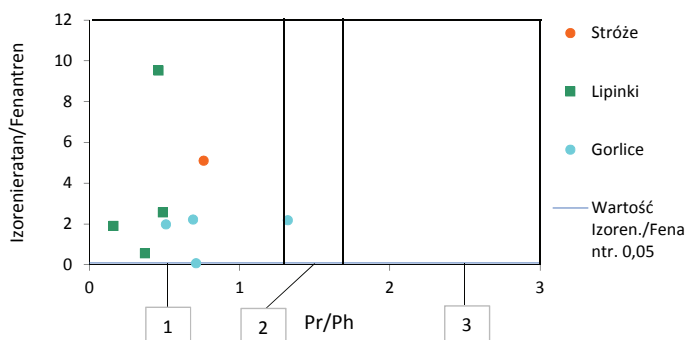
Próbki z profili Stróże, Lipinki i Gorlice wykazują cechy redukcyjnego środowiska sedimentacji materii organicznej.

Próbki z profili Lipinki i Gorlice charakteryzują się występowaniem trwałej anoksji w strefie fotycznej, co potwierdza obecność wyższych aromatycznych karotenoidów. Występowanie



Rys. 11. Zależność pomiędzy wskaźnikami AIR i Pr/Ph (zmodyfikowany za Schwark i Frimmel, 2004)

Fig. 11. Relationship between AIR and Pr/Ph indicators (modified after Schwark and Frimmel, 2004)



Rys. 12. Zależność pomiędzy wskaźnikami Pr/Ph i izoreniatan/fenantren (za Kaiho et al., 2016); 1 – środowisko anoksyczne, a dla wartości izor./fen. >0,05 również euksyniczne, 2 – środowisko dysoksydacyjne, 3 – środowisko oksydacyjne

Fig. 12. Relationship between Pr/Ph and Isor./Phen. indicators (Kaiho et al., 2016); 1 – anoxic environment, euxinic for Isor./Phenanthrene >0.05 value, 2 – dysoxic environment, 3 – oxic environment

izoreniatanu i wartości wskaźnika izoreniatan/fenantren (powyżej 0,05) wskazują na warunki euksyniczne dla większości próbek (rys. 11). Wstępnie można też stwierdzić, że głębokość chemokliny to kilkadziesiąt metrów, a szacowana/zakładana głębokość, na której była deponowana materia organiczna, nie przekracza 100 metrów.

Natomiast próbki warstw krośnieńskich z profilu Stróże nie posiadają w swoim składzie wyższych karotenoidów poza izoreniatanem (w śladowych ilościach). Jedynym wyjątkiem jest próbka S-7, w której występuje izoreniatan w większej ilości względem pozostałych próbek z tej serii. Brak wyraźnego potwierdzenia pochodzenia arylowych izoprenoidów odróżnia te próbki od powyżej opisanych, powodując, że nie można z całą pewnością stwierdzić występowania trwałej anoksji w strefie fotycznej pomimo wskaźnika AIR na to wskazującego. Z tych względów nie szacowano głębokości chemokliny, a tym bardziej zbiornika.

Dyskusja wyników

Próbki z profili Lipinki i Gorlice charakteryzują się redukcyjnym środowiskiem sedimentacji materii organicznej oraz występowaniem trwałej anoksji w strefie fotycznej. Anoksja w strefie fotycznej jest potwierdzona przez obecność wyższych aromatycznych karotenoidów. Występowanie izoreniatanu wskazuje na warunki euksyniczne dla większości próbek (wartość wskaźnika izoreniatan/fenantren >0,05) oraz prawdopodobne występowanie chemokliny na głębokości maksymalnej do 80 m. Głębokość, na której następowała sedimentacja materiału organicznego, szacowana jest na nieprzekraczającą 100 m.

Próbki z profilu Stróże charakteryzują się redukcyjnym środowiskiem sedimentacji materii organicznej. Ze względu na brak potwierdzenia pochodzenia arylowych izoprenoidów od bakterii *Chlorobiaceae* wstrzymano się z jednoznacznymi wnioskami. Prawdopodobne jest występowanie anoksji w fotycznej strefie. Karotenoidy i ich pochodne zdecydowanie poszerzają wiedzę o paleośrodowisku, występowaniu anoksji w strefie fotycznej i czasie jej trwania, stratyfikacji kolumny wody, występowaniu euksynii oraz głębokości chemokliny i szacowanej głębokości, na której zachodziła depozycja materiału organicznego z kolumny wody.

Porównując wyniki badań, stwierdza się, że próbki z profilu Stróże różnią się od tych z profili Lipinki i Gorlice tym, że w swoim składzie nie zawierają wyższych aromatycznych karotenoidów lub zawierają jedynie śladowe ilości izoreniatanu, a to stawia pod znakiem zapytania bakteryjne (bakterie *Chlorobiaceae*) pochodzenie arylowych izoprenoidów. Utrudnia to w tym momencie powiązanie nowo opisanych facji

osadowych w łusce Stróż z głębokością, na jakiej mogło dochodzić do sedymentacji warstw krośnieńskich. Udokumentowane w tym profilu zespoły struktur sedymentacyjnych, takie jak zestawy z rynnowym warstwowaniem przekątnym (*trough cross-stratification*) i inne, bardziej wskaźnikowe struktury, jak kopułowe warstwowanie przekątne (*hummocky cross-stratification* – HCS), oraz pozioma laminacja podkreślana materią organiczną o charakterze rytmu hiperpiknalnego (*lofting rhythmites*) przez wielu autorów opisywane są jako występujące w środowiskach szelfowych, z dominującą dostawą materiału transportowanego przez rzeki, okresowo poddawane modyfikacji przez falowanie sztormowe (Mutti et al., 2003; Zavala et al., 2008; Maravelis et al., 2018). Nie brakuje też opinii autorów, że podobne struktury (np. HCS) mogą być obserwowane w różnych, w tym głębokowodnych środowiskach sedymentacji (np. Mulder et al., 2009; Tinterri, 2011). Z tego powodu potrzebne są dalsze szczegółowe badania sedymentologiczne i analizy geochemiczne (np. identyfikacja likopenu). Może to przynieść więcej informacji na temat mat dennych (Connock et al., 2018) towarzyszących depozycji warstw krośnieńskich.

Należy też zauważyć, że nie stwierdzono biomarkerów występujących w głębszych zbiornikach wodnych, co może sugerować, że te, które rozpoznano, były jedynymi zdeponowanymi w osadzie. Procesy sztormowe i sztormowo-falowe nie spowodowały też dostawy lądowych biomarkerów, co może świadczyć o znacznej odległości linii brzegowej od miejsca depozycji.

Podsumowanie i wnioski

Szczegółowe prace terenowe w obrębie łuski Stróż i wschodniego obrzeżenia fałdu Gorlic pozwoliły na wykonanie dwóch nowych profili dolnych warstw krośnieńskich. W ich obrębie rozpoznano sześć facji osadowych wyznaczonych w profilu Gorlice (Drozd et al., 2019) oraz zidentyfikowano trzy nowe. Wszystkie dziewięć facji zostało opisanych i poddanych interpretacji pod kątem mechanizmów depozycji.

W ramach przeprowadzonej korelacji profili terenowych i zapisu krzywej gamma z otworów przewiercających opisywane z odsłoneń sukcesje warstw krośnieńskich udało się połączyć wszystkich trzy profile linią korelacyjną G1, związaną z początkiem sedymentacji warstw krośnieńskich. Dalsza wspólna korelacja profili fałdu Gorlic z profilem z łuski Stróż nie była możliwa ze względu na szereg różnic wynikających z wykształcenia litologicznego, następstw facjalnych, charakteru kontaktu warstw menilitowych i krośnieńskich. Różnice między profilami zaobserwowano również w kierunkach paleotransportu. Może to świadczyć o braku strukturalnego związku

między łuską Stróż a fałdem Gorlic, bądź o bardzo zmiennym, dynamicznym charakterze basenu sedymentacyjnego na początku sedymentacji warstw krośnieńskich.

Badania sedymentologiczne zostały wsparte analizą biomarkerów wykonanych na ośmiu nowych próbkach. Stwierdzone w nich karotenoidy i ich pochodne są ważnym narzędziem służącym do określania zmian poziomu wód morskich i interpretacji środowiska sedymentacji.

Obecne w próbkach aryłowe izoprenoidy wskazują w profilu Stróże na warunki redukcyjne, być może o trwałej anoksji w strefie fotycznej. W profilu Lipinki reprezentują one materię organiczną, która była deponowana w warunkach redukcyjnych, w trwałej anoksji strefy fotycznej. Obecność we wszystkich próbkach izorenieratanu potwierdza występowanie fotycznej strefy anoksycznej w okresach długotrwałych. Izorenieratan wskazuje też wstępnie głębokość nieprzekraczającą 100 m, na której następowała sedymentacja materii organicznej. Tylko dwie próbki z warstw krośnieńskich z profilu Gorlice (G-2 i G-3) w swoim składzie posiadają cały szereg homologiczny aryłowych izoprenoidów w zakresie C₁₃ do C₂₂ i wykazują one cechy redukcyjnego środowiska sedymentacji, z trwałą fotyczną strefą anoksyczną oraz ze stratyfikacją kolumny wody.

Wyższe karotenoidy wskazują w przypadku wszystkich trzech profili cechy redukcyjnego środowiska sedymentacji materii organicznej. Probki z profili Lipinki i Gorlice charakteryzują się występowaniem trwałej anoksji w strefie fotycznej, co jest potwierdzone obecnością wyższych aromatycznych karotenoidów. Wstępnie można też stwierdzić, że głębokość chemokliny to kilkadziesiąt metrów, a szacowana/zakładana głębokość, na której była deponowana materia organiczna, nie przekracza około 100 m. Natomiast próbki warstw krośnieńskich z profilu Stróże nie posiadają w swoim składzie wyższych karotenoidów poza izorenieratanem. Brak wyraźnego potwierdzenia pochodzenia aryłowych izoprenoidów odróżnia te próbki od wyżej opisanych, powodując, że nie można z całą pewnością stwierdzić występowania trwałej anoksji w strefie fotycznej, i z tego powodu nie szacowano głębokości chemokliny, a tym bardziej zbiornika.

Przeprowadzenie badań dwiema niezależnymi metodami, opartymi na analizie sedymentologicznej i geochemicznej, przyniosło wymierne efekty. Dla badanych profili opisano i zinterpretowano pod kątem mechanizmów depozycji facje osadowe, w tym trzy nowe. Badania biomarkerów pozwoliły na wyciągnięcie wniosków co do głębokości i warunków sedymentacji. Połączenie tych metod może być bardzo użytecznym narzędziem do odtwarzania środowisk sedymentacji i rekonstrukcji rozwoju basenów sedymentacyjnych. Aby osiągnąć taki rezultat, potrzebne są dalsze badania terenowe i rozwijanie badań i interpretacji geochemicznych.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Określenie cech fotycznej strefy anoksydacyjnej jako uściślenie charakteru środowiska sedymentacji* – praca INiG – PIB na zlecenie MNISW; nr zlecenia: 0066/SG/2019, nr archiwalny: DK-4100-0019/2019, oraz pracy statutowej pt. *Wykształcenie facjalne warstw krośnieńskich rejonu Bobowa – Gorlice – Libusza, w oparciu o badania terenowe i dane geofizyczne* – praca INiG – PIB na zlecenie MNISW; nr zlecenia: 0065/SG/2019, nr archiwalny: DK-4100-0055/2019.

Literatura

- Abadi M.S., Da Silva A.C., Amini A., Aliabadi A.A., Boulvain F., Abadi M.H.S., 2014. Tectonically controlled sedimentation: impact on sediment supply and basin evolution of the Kashafrud Formation (Middle Jurassic, Kopeh-Dagh Basin, northeast Iran). *International Journal of Earth Sciences*, 103(8), 2233–2254. DOI: 10.1007/s00531-014-1041-6.
- Aderoju T., Bend S., 2018. Reconstructing the palaeoecosystem and palaeodepositional environment within the Upper Devonian-Lower Mississippian Bakken Formation: A biomarker approach. *Organic Geochemistry*, 119: 91–100. DOI.org/10.1016/j.orggeochem.2018.03.003.
- Basilici G., de Luca P.H.V., Poiré D.G., 2012. Hummocky cross-stratification-like structures and combined-flow ripples in the Punta Negra Formation (Lower-Middle Devonian, Argentine Precordillera): a turbiditic deep-water or storm-dominated prodelta inner-shelf system? *Sedimentary Geology*, 267: 73–92. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2012.05.012.
- Bąk K., 2005. Foraminiferal biostratigraphy of the egerian flysch sediments in the Silesian Nappe, Outer Carpathians, Polish part of the Bieszczady Mountains. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 75: 71–93.
- Bieda F., 1969. Flysch formation of the Tertiary of the Polish Carpathians. *Annales de la Societé géologique de Pologne*, 39: 488–514.
- Bieleń W., 2018. Związki aryloizoprenoidowe oraz siarka elementarna jako wskaźniki charakteru środowiska sedymentacji. *Praca statutowa INiG – PIB, nr zlec. 0049/SG/2018, Archiwum Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego, Kraków*.
- Bieleń W., 2019. Związki aryloizoprenoidowe jako wskaźniki charakteru środowiska sedymentacji. *Nafta-Gaz*, 9: 546–554. DOI: 10.18668/NG.2019.09.03.
- Brocks J.J., Love G.D., Summons R.E., Knoll A.H., Logan G.A., Bowden S.A., 2005. Biomarker evidence for green and purple sulphur bacteria in a stratified Paleoproterozoic sea. *Nature*, 437: 866–870. DOI: 10.1038/nature04068.
- Ciurej A., Haczewski G., 2012. The Tylawa Limestones – a regional marker horizon in the Lower Oligocene of the Paratethys: diagnostic characteristics from the type area. *Geological Quarterly*, 56(4), 833–844. DOI: 10.7306/gq.1058.
- Collins D.S., Johnson H.D., Allison P.A., Guilpain P., Damit A.R., 2017. Coupled ‘storm-flood’ depositional model: Application to the Miocene–Modern Baram Delta Province, north-west Borneo. *Sedimentology*, 64(5): 1203–1235. DOI: 10.1111/sed.12316.
- Collinson J.D., 1996. Alluvial sediments. Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy. *Wiley-Blackwell*: 37–82.
- Connock G.T., Nguyen T.X., Philp R.P., 2018. The development and extent of photic-zone euxinia concomitant with Woodford Shale deposition. *AAPG Bulletin*, 102(6): 959–986. DOI: 10.1306/0726171602017224.
- Drozd A., Dziadzio P.S., Stadtmüller M., 2019. Wykształcenie facjalne i korelacja profili warstw krośnieńskich z odsłonięć i otworów wiertniczych (fałd Gorlic, jednostka śląska, Karpaty). *Nafta-Gaz*, 11: 663–673. DOI: 10.18668/NG.2019.11.01.
- Dziadzio P.S., 2015. Śródmienilitowe piaskowce magdaleńskie jako przykład płytkowodnej sedymentacji deltowej w Karpatach. *Nafta-Gaz*, 9: 624–631.
- Dziadzio P.S., Matyasik I., 2018. Środowisko sedymentacji i korelacja geochemiczna dolnooligocenkich utworów z obrębu jednostek dukielskiej i grybowskiej. *Nafta-Gaz*, 6: 423–434. DOI: 10.18668/NG.2018.06.02.
- Dziadzio P.S., Matyasik I., Garecka M., Szydło A., 2016. Lower Oligocene Menilite Beds, Polish Outer Carpathians: supposed deep-sea flysch locally reinterpreted as shelfal, based on new sedimentological, micropalaeontological and organic-geochemical data. *Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu – PIB*, 213: 1–120. DOI: 10.18668/PN2016.213
- Dzudyński S., Ślęczka A., 1958. Sedymentacja i wskaźniki kierunkowe transportu w warstwach krośnieńskich. *Roczn. Pol. Tow. Geol.*, 28(3): 205–256.
- Edwards D., Spaak G., Grosjean E., Boreham C.J., Zumberge A., Zumberge J., Rocher D., Summons R., Grice K., Mory A., 2018. Paleo-reconstruction of the Canning Basin epicontinental seaway using carotenoid-derived biomarkers from crude oils and source rocks. *AOGC Conference, Canberra*.
- Einsele G., 1992. Sedimentary Basins, Evolution, Facies and Sediment Budget. *Springer-Verlag Berlin, Heidelberg*.
- French K.L., Rocher D., Zumberge J.E., Summons R.E., 2015. Assessing the distribution of sedimentary C40 carotenoids through time. *Geobiology*, 13: 139–151. DOI: org/10.1111/gbi.12126.
- Frimmel A., Oschmann W., Schwark L., 2004. Chemostratigraphy of the Posidonia Black Shale, SW Germany: I. Influence of sea-level variation on organic facies evolution. *Chemical Geology*, 206: 199–230. DOI: org/10.1016/j.chemgeo.2003.12.007.
- Grba N., Šajnović A., Stojanović K., Simić V., Jovančićević B., Roglić G., Erić V., 2014. Preservation of diagenetic products of β-carotene in sedimentary rocks from the Lopare Basin (Bosnia and Herzegovina). *Chemie der Erde*, 74: 107–123. DOI: org/10.1016/j.chemer.2013.10.002.
- Haczewski G., 1989. Poziomy wapieni kokkolitowych w serii menilitowo-krośnieńskiej – rozróżnianie, korelacja i geneza. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 59(3–4): 435–523.
- Harms J.C., Southard J.B., Walker R.G., 1982. Structures and sequences in clastic rocks. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Short Course No. 9, Tulsa, USA*.
- Higgs R., 2014. Shelf model for „deep-sea” flysch turbidites and implications for outcrop analogs. *AAPG Search and Discovery Article*, 70157, 16.
- Hu S., Wilkes H., Horsfield B., Chen H., Li S., 2016. On the origin, mixing and alteration of crude oils in the Tarim Basin. *Org. Geochem.*, 97: 17–34. DOI: org/10.1016/j.orggeochem.2016.04.005.
- Jankowski L., 1997. Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000. Arkusz Rzeziennik (1020). *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa*.
- Jankowski L., 2007. Kompleksy chaotyczne w rejonie gorlickim (Polskie Karpaty Zewnętrzne). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 426: 27–52.
- Kaiho K., Saito R., Ito K., Miyaji T., Biswas R., Tian L., Sano H., Shi Z., Takahashi T., Tong J., Liang L., Oba M., Nara F.W., Tsuchiya N., Chen Z.O., 2016. Effects of soil erosion and anoxic-euxinic ocean in the Permian-Triassic marine crisis. *Heliyon*, 10: 1–42. DOI: 10.1016/j.heliyon.2016.e00137
- Konarski E., 1980. Wgłębna budowa karpackiej pokrywy fliszowej w rejonie gorlicko-krośnieńskim. *Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa*.

- Kopciowski R., Jankowski L., Zimnal Z., 2014a. Mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000. Arkusz Osiek Jasielski (1038). *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa*.
- Kopciowski R., Zimnal Z., Chrzastowski J., Jankowski L., Szymakowska F., 2014b. Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000. Arkusz Gorlice (1037). *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa*.
- Kotlarczyk J., Jerzmańska A., Świdnicka E., Wiszniowska T., 2006. A framework of ichthyofaunal ecostratigraphy of the Oligocene–Early Miocene strata of the Polish Outer Carpathian basin. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 76: 1–111.
- Kotlarczyk J., Uchman A., 2012. Integrated ichnology and ichthyology of the Oligocene Menilite Formation, Skole and Subsilesian nappes, Polish Carpathians: a proxy to oxygenation history. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 331–332: 104–118. DOI: 10.1016/j.palaeo.2012.03.002
- Kozikowski H., 1966. Zarys geologii obszaru Krygu–Lipinek koło Gorlic. *Kwartalnik Geologiczny*, 10(2): 407–430.
- Książkiewicz M., 1954. Graded and laminated bedding in the Carpathian flysch. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 22: 399–449.
- Książkiewicz M., 1958. Sedimentation in the Carpathian Flysch sea. *Geologische Rundschau*, 47: 418–425.
- Lamb M.P., Myrow P.M., Lukens C., Houck K., Strauss J., 2008. Deposits from wave-influenced turbidity currents: Pennsylvanian Minturn Formation, Colorado, USA. *Journal of Sedimentary Research*, 78(7): 480–498. DOI: 10.2110/jsr.2008.052.
- Leszczyński S., Radomski A., 1994. Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000. Arkusz Ciężkowice (1019). *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa*.
- Lowe D.R., 1988. Suspended-load fallout rate as an independent variable in the analysis of current structures. *Sedimentology*, 35(5): 765–776.
- Lu H., Sun Y.G., Peng P.A., 2004. Occurrences and implications of aryl isoprenoids detected in the crude oils from Lunnan Oilfield, Tarim Basin, NW China (in Chinese). *Geol. J. China Univ.*, 10: 283–289.
- Maravelis A.G., Catuneanu O., Nordsvan A., Landenberger B., Zelilidis A., 2018. Interplay of tectonism and eustasy during the Early Permian icehouse: Southern Sydney Basin, southeast Australia. *Geological Journal*, 53(4): 1372–1403. DOI: 10.1002/gj.2962.
- Melendez I., Grice K., Trinajstić K., Ladjavardi M., Greenwood P., Thompson K., 2013. Biomarkers reveal the role of photic zone euxinia in exceptional fossil preservation: an organic geochemical perspective. *Geology*, 41: 123–126. DOI: org/10.1130/G33492.1
- Meyer K.M., Macalady J.M., Fulton J.M., Kump L.R., Schaperdoth I., Freeman K.H., 2011. Carotenoid biomarkers as an imperfect reflection of the anoxygenic phototrophic community in meromictic Fayetteville Green Lake. *Geobiology*, 9: 321–329. DOI: 10.1111/j.1472-4669.2011.00285.x.
- Mulder T., Razin P., Faugeres J.C., 2009. Hummocky cross-stratification-like structures in deep-sea turbidites: Upper Cretaceous Basque basins (Western Pyrenees, France). *Sedimentology*, 56(4): 997–1015. DOI: 10.1111/j.1365-3091.2008.01014.x.
- Mutti E., Tinterri R., Benevelli G., di Biase D., Cavanna G., 2003. Deltaic, mixed and turbidite sedimentation of ancient foreland basins. *Marine and Petroleum Geology*, 20(6–8): 733–755. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2003.09.001.
- Mutti E., Tinterri R., Magalhaes P.M., Basta G., 2007. Deep-water turbidites and their equally important shallower water cousins. *Search and Discovery Article*, 50057. DOI: 10.13140/2.1.1208.9601.
- Myrow P.M., Lukens C., Lamb M.P., Houck K., Strauss J., 2008. Dynamics of a transgressive prodeltaic system: Implications for geography and climate within a Pennsylvanian intracratonic basin, Colorado, USA. *Journal of Sedimentary Research*, 78(8): 512–528. DOI: 10.2110/jsr.2008.061.
- Narębski W., 1956. O diagenetycznych dolomitach żelazistych z Karpat fliszowych. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 26(1): 29–50.
- Olariu C., Steel R.J., Petter A.L., 2010. Delta-front hyperpycnal bed geometry and implications for reservoir modeling: Cretaceous Panther Tongue delta, Book Cliffs, Utah. *AAPG Bulletin*, 94(6): 819–845. DOI: 10.1306/11020909072.
- Olszewska B., 1985. Foraminifera of the Menilite Beds (Polish External Carpathians). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 55: 201–250.
- Olszewska B., Malata E., 2006. Analiza paleośrodowiskowa i paleobotymetryczna zespołów mikroskamieniałości Polskich Karpat Zewnętrznych. [W:] Oszczytko N., Uchman A. i Malata E. (eds.). *Rozwój paleotektoniczny basenów Karpat Zewnętrznych i Pienińskiego Pasa Skałkowego*. *Inst. Nauk Geol. UJ, Kraków*: 61–84.
- Paul Z., 1993. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000. Arkusz Grybów (1036). *Polska Agencja Ekologiczna, Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa*.
- Peng P.A., Sheng G.Y., Jiang J.G., Fu J.M., Bao J.P., Yu Z.Q., 2004. Hydrocarbon compositions of soluble organic matter and characteristics of biomarkers in source rocks in a hypersaline lacustrine basin. [W:] Jiang J.G., Peng P.A., Fu J.M., Sheng G.Y. (eds.). *Generation, Migration and Accumulation of Oils and Gases in Hypersaline Lacustrine Basin, China*. *Guangdong Science and Technology Press: Guangzhou, China*: 139–188.
- Poprawa D., Nemčok J., 1989. Geological Atlas of the Outer Carpathians and Their Foreland 1:500 000. *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa*.
- Schwark L., Frimmel A., 2004. Chemostratigraphy of the Posidonia black shale, SW-Germany: II. Assessment of extent and persistence of photic-zone anoxia using aryl isoprenoid distributions. *Chemical Geology*, 206: 231–248. DOI: org/10.1016/j.chemgeo.2003.12.008.
- Sousa Júnior G.R., Santos A.L.S., de Lima S.G., Lopes J.A.D., Reis F.A.M., Santos Neto E.V., Chang H.K., 2013. Evidence for euphotic zone anoxia during the deposition of Aptian source rocks based on aryl isoprenoids in petroleum, Sergipe – Alagoas Basin, northeastern Brazil. *Org. Geochem.*, 63: 94–104. DOI: org/10.1016/j.orggeochem.2013.07.009.
- Spaak G., Edwards D.S., Allen H.J., Grotheer H., Summons R.E., Coolen M., Grice K., 2018. Extent and persistence of photic zone euxinia in Middle-Late Devonian seas – Insights from the Canning Basin and implications for petroleum source rock formation. *Marine and Petroleum Geology*, 93: 33–56. DOI: org/10.1016/j.marpetgeo.2018.02.033.
- Sugitani K., Yamamoto K., Adachi M., Kawabe I., Sugisaki R., 1998. Archean cherts derived from chemical, biogenic and clastic sedimentation in a shallow restricted basin: examples from the Gorge Creek Group in the Pilbara Block. *Sedimentology*, 45: 1045–1062.
- Summons R.E., Powell T.G., 1987. Identification of aryl isoprenoids in source rocks and crude oils: Biological markers for the green sulphur bacteria. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51: 557–566. DOI: org/10.1016/0016-7037(87)90069-X.
- Sun Y.G., Xu S.P., Lu H., Chai P.X., 2003. Source facies of the Paleozoic petroleum systems in the Tabei uplift, Tarim Basin, NW China: implications from aryl isoprenoids in crude oils. *Org. Geochem.*, 34: 629–634. DOI: 10.1016/S0146-6380(03)00063-9
- Szymakowska F., 1979. Budowa geologiczna południowego skrzydła fałdu Gorlic między Gorlicami a Krygiem (Karpaty środkowe). *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego*: 85–103.

- Ślęczka A., Kaminski M.A., 1998. A Guidebook to Excursions in the Polish Flysch Carpathians. Field Trips for Geoscientists. *Grzybowski Foundation Special Publications*, 6: 1–173.
- Świdziński H., 1950. Łuska Stróż koło Grybowa. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 59: 1–70.
- Tinteri R., 2011. Combined flow sedimentary structures and the genetic link between sigmoidal- and hummocky-cross stratification. *GeoActa*, 10(4): 1–43.
- Wang L., Song Z.G., Yin Q., George S.C., 2011. Paleosalinity significance of occurrence and distribution of methyltrimethyltridecyl chromans in the Upper Cretaceous Nenjiang Formation, Songliao Basin, China. *Org. Geochem.*, 42: 1411–1419. DOI: org/10.1016/j.orggeochem.2011.08.012.
- Wójcik A., Jasiniowicz J., Szymakowska F., 1993. Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000 (SMGP). Arkusz: Jasło. *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa*.
- Zavala C., Pan S.X., 2018. Hyperpycnal flows and hyperpycnites: Origin and distinctive characteristics. *Lithologic Reservoirs*, 30(1): 1–27. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8926.2018.01.001.
- Zavala C., Valiente L.B., Vallez Y., 2008. The origin of lofting rhythmites: Lessons from thin sections. *AAPG Hedberg Conference*: 3–7.

Zuffa G.G., Cibin U., Di Giulio A., 1995. Arenite petrography in sequence stratigraphy. *The Journal of Geology*, 103(4): 451–459. DOI: 10.1086/629763.



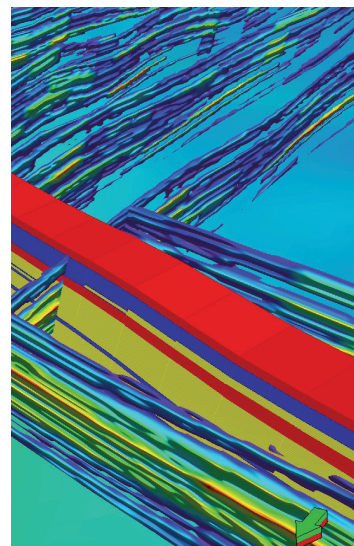
Mgr inż. Arkadiusz DROZD
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Geologii i Geochemii
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: arkadiusz.drozd@inig.pl



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

OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU GEOLOGII I GEOCHEMII

- petrofizyczne analizy laboratoryjne: gęstość, porowatość, parametry przestrzeni porowej, analizy przepuszczalności, analiza mikro i makro szczelinowości na płytkach cienkich i fragmentach rdzeni, petrograficzna ocena składu mineralnego, procesów diagenetycznych, analiza rozmieszczenia i geometrii przestrzeni porowej na podstawie płytek cienkich, przepływy fazowe, zwilżalność, ściśliwość;
- geochemiczne analizy laboratoryjne: ocena składu maceratowego i refleksyjności wityritu, piroliza Rock-Eval (oznaczenie zawartości TOC, wolnych węglowodorów, węgla rezydualnego), określenie potencjału węglowodorowego skał macierzystych, analiza elementarna węglowodorów i kerogenu (C,H,N,S, współczynniki H/C i O/C), skład chemiczny i izotopowy gazów, badania gazu wolnego (desorbowanego) i resztkowego, badania ekstrahowalnej substancji organicznej oraz analiza składu grupowego, analiza biomarkerów GC-MS (frakcja nasycona i aromatyczna, analiza GC-FID frakcji nasyconej), korelacja rop ze skałami macierzystymi;
- modelowanie geologiczne 3D złóż i obszarów poszukiwawczych: interpretacja danych geofizyki wiertniczej (petrofizyczna, geochemiczna, geomechaniczna, szczelinowatości), modelowanie strukturalne, facjalne i parametrów petrofizycznych z wykorzystaniem danych otworowych i sejsmicznych, modelowanie geomechaniczne, obliczanie zasobów na bazie modeli 3D złóż wraz z analizą niepewności;
- sedimentologia dla geologii naftowej: analizy sedimentologiczne rdzeni wiertniczych, analizy środowisk depozycyjnych facji osadowych, stratygrafia sekwencji, analizy sedimentologiczne odstonień powierzchniowych oraz ich integracja z danymi otworowymi (rdzenie, pomiary geofizyki otworowej) i sejsmicznymi, dystrybucja rozkładu facji w basenach sedimentacyjnych, predykcja występowania ciał zbiornikowych i ich orientacja przestrzenna w skali basenu sedimentacyjnego;
- modelowanie 1D/2D/3D systemów naftowych: odtwarzanie ewolucji strukturalnej, termicznej i parametrycznej basenu sedimentacyjnego w skali czasu geologicznego, rekonstrukcja czasu i przebiegu procesów generowania i ekspulsji węglowodorów, modelowanie dróg migracji węglowodorów i miejsc ich akumulacji, ocena zasobów prognostycznych, analiza niepewności, ranking obiektów poszukiwawczych;
- zintegrowana platforma: Petrel, PetroMod, Techlog, Interactive Petrophysics, ProGeo, Petrel Reservoir Geomechanics (Visage).



Kierownik: dr inż. Grzegorz Leśniak Adres: ul. Lubicz 25 A, 31-503 Kraków
Telefon: 12 617 76 87 Faks: 12 430 38 85 E-mail: grzegorz.lesniak@inig.pl



INSTYTUT NAFTY I GAZU
– Państwowy Instytut Badawczy