

Przejawy migracji węglowodorów w skałach klastycznych w rejonie otworu badawczego Chrząstowice PIG 1

Ryszard Habryn¹, Paweł Kosakowski², Katarzyna Jarmołowicz-Szulc³,
Agnieszka Braclawska¹, Jacek Nowak¹, Beata Naglik¹, Artur Sosnal¹, Tomasz Tobała²



R. Habryn



P. Kosakowski



K. Jarmołowicz-Szulc



A. Braclawska



J. Nowak



B. Naglik



A. Sosnal



T. Tobała

Tracers of hydrocarbon migration in clastic rocks of the Chrząstowice PIG 1 borehole.
Prz. Geol., 73: 368–371; doi: 10.7306/2025.37

Abstract. The Chrząstowice PIG 1 borehole was drilled in 2023 in the north-eastern part of the Upper Silesian Block in the immediate vicinity of the Kraków–Lubliniec Fault Zone. The presence of hydrocarbons in the borehole was suggested by the characteristic fluorescence of vein calcite, prompting a further cycle of geochemical studies of organic matter and observations of fluid inclusions in vein-filling minerals.

Keywords: fluid inclusions, organic geochemistry, hydrocarbon inclusions, vein mineralization

Otwór badawczy Chrząstowice PIG 1, o głębokości 1502,50 m, jest zlokalizowany w północno-wschodniej części bloku górnośląskiego w bezpośrednim sąsiedztwie strefy uskokowej Kraków–Lubliniec. Został odwiercony w 2023 r. w celu rozpoznania dolnego odcinka profilu wczesnego kambru oraz osiągnięcia prekambryjskiego fundamentu krystalicznego. Rzeczywisty profil otworu okazał się bardziej złożony niż zakładano. Pod osadami mezozoiku, wczesnego kambru i ediakaru natrafiono niespodziewanie na kompleks skał klastycznych wieku karbońskiego, co skutkuje potrzebą zredefiniowania poglądów na temat budowy geologicznej tej części bloku górnośląskiego i opracowania nowych modeli tektonicznych.

Rozpoznane otworem Chrząstowice PIG 1 kompleksy wczesnopaleozoiczno–prekambryjski i karboński są silnie spękane. Obserwujemy spękania otwarte bądź wypełnione substancją węglanową, głównie kalcytem, któremu w podrzędnych ilościach towarzyszą kwarc, baryt i ankeryt. Lokalnie kalcyt wykazuje żółtoniebieską fluorescencję w świetle ultrafioletowym, wskazującą na obecność węglowodorów. Potwierdzają to wyniki badań metodą spektro-

skopii Ramana wykonywanych w ramach badań na rdzeniach z otworu. W celu poznania ich genezy, rodzaju, a także zdefiniowania potencjalnych dróg migracji, wykonano dalsze badania z zakresu petrologii i geochemii organicznej, a także obserwacje petrograficzne inkluzji fluidalnych i pomiary mikrotermometryczne.

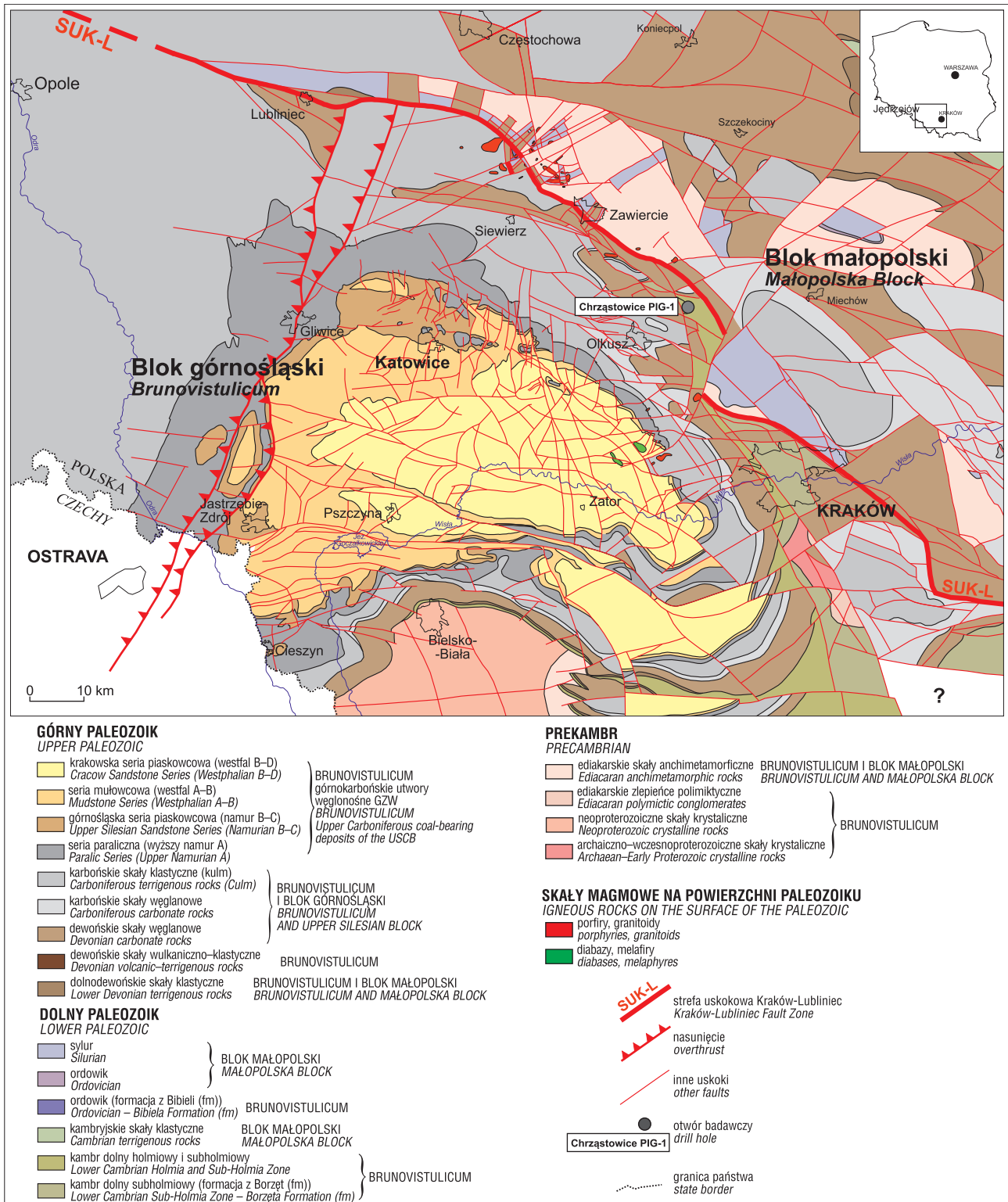
ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ W REJONIE OTWORU BADAWCZEGO CHRZĄSTOWICE PIG 1

Systematyczne badania geologiczne prowadzone na Górnym Śląsku i w zachodniej Małopolsce umożliwiły opracowanie spójnego modelu budowy geologicznej południowo-wschodniej Polski. W badaniach tych wykazano istnienie dwóch regionalnych jednostek tektonicznych – bloku górnośląskiego, który wraz z blokiem Brna na terytorium Czech tworzy większą jednostkę określaną jako złożony terran Brunovistulicum (lub Brunovistulia) oraz bloku małopolskiego (ryc. 1). Ich granicę wyznacza wąska strefa uskokowa Kraków–Lubliniec (np. Buła i in., 2008, 2015). Z aktywnością tej strefy jest związany późnokarboń-

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Górnośląski w Sosnowcu, ul. Królowej Jadwigi 1, 41-200 Sosnowiec; ryszard.habryn@pgi.gov.pl; ORCID ID: R. Habryn – 0000-0002-2699-9727, A. Braclawska – 0000-0002-6598-0420, B. Naglik – 0000-0002-4452-3378, A. Sosnal – 0000-0001-8153-6576

² Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; ORCID ID: P. Kosakowski – 0000-0003-1792-3429, T. Tobała – 0000-0002-6513-729X

³ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; ORCID ID: K. Jarmołowicz-Szulc – 0000-0001-7927-1820



Ryc. 1. Odkryta mapa geologiczna rejonu otworu wiertniczego Chrzastowice PIG 1 – bez utworów młodszych od karbonu (Jureczka, 2005; Buła, Habryn, 2008)

Fig. 1. Geological map without formations younger than the Carboniferous in the region of the Chrzastowice PIG 1 borehole (Jureczka, 2005; Buła, Habryn, 2008)

sko-permski magmatyzm (np. Żelaźniewicz i in., 2009; Nawrocki i in., 2010) oraz mineralizacja polimetaliczna (np. Oszczepalski i in., 2010; Markowiak, 2015).

W 2023 r., w celu rozpoznania potencjału złożowego kompleksów wczesnopalaeozoicznego i prekambryjskiego w strefie kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego na odcinku olkuskim, wykonano odwiert Chrzastowice

PIG 1 (ryc. 1). Po przewierceniu utworów jury i triasu, wczesnego kambru i ediakaru natrafiono na ponad 500-metrowy kompleks (nieprzewiercony) skał drobnoklastycznych karbonu. Stan faktyczny odbiega zatem od aktualnie obowiązujących geologicznych modeli strukturalnych, w myśl których miąższość utworów karbonu GZW zmniejsza się w kierunku wschodnim, a ich wschodni zasięg

i wychodnie na powierzchni podmezozoicznej wyznaczono w rejonie Olkusza intersekcyjnie. Można zatem przypuszczać, że odwiertem Chrzastowice PIG 1 nawiercono inny, dotychczas nieznan, karboński basen sedimentacyjny, maskowany nasuniętymi utworami wczesnego paleozoiku i prekambru.

INKLUZJE FLUIDALNE

Z fragmentu rdzenia otworu badawczego Chrzastowice PIG 1, pobranego z głębokości od 197,4 do 1229,1 m, wytypowano do badań mikrotermometrycznych wypełnień żyłowych (kalcyt, kwarc) 20 próbek, z których wykonano 20 preparatów (płytek dwustronnie polerowanych). Materiał ten analizowano pod kątem petrograficznym oraz wykonano pomiary na stoliku grzewczo-zamrażającym.

Inkluzje w badanych minerałach wypełniają fluidy. Przeważnie są to solanki o niewielkim stężeniu, a niekiedy węglowodory, jak metan (z domieszkami) lub ropa naftowa, przy czym inkluzje wodne są pierwotne, a węglowodory – wtórne.

Temperatury homogenizacji wyraźnie różnicują wyznaczone w profilu otworu horyzonty stratygraficzne, tj. kambru i ediakaru oraz karbonu. Temperatury homogenizacji, stwierdzone w kalcyście lub kwarcu w utworach kambru mieszczą się w zakresie 90–150°C. Podobnie jest w przypadku kompleksu ediakarskiego, gdzie temperatury oscylują wokół 120°C, natomiast węglowodory ciekłe homogenizują w temperaturach poniżej 100°C. Wyższe temperatury (rzędu 200°C) charakteryzują wypełnienia żyłowe tnące skały karbońskie. Natomiast homogenizacja inkluzji ropy naftowej (wtórnych) nastąpiła w temperaturze ok. 114°C.

Z kompleksu ediakarskiego pobrano dwie interesujące i wyróżniające się próbki, w których zaobserwowano kilkumilimetrowej wielkości kryształy automorficznego kwarcu, tkwiące w masie węglanowo-kwarcowej ze sfalerytem. Te dwie próbki skał, wraz z tkwiącymi w nich inkluzjami fluidalnymi, wykazują pewną analogię do obserwowanych w Karpatach Zachodnich żył asocjacji kwarcowo-węglanowych z kwarcem typu „diamenty marmaroskie” (por. np. Jarmołowicz-Szulc, 1999). Po uwzględnieniu wyników dodatkowych badań uzupełniających, dotyczących np. cech materiału organicznego, można będzie spróbować przeprowadzić dalsze analizy porównawcze.

GEOCHEMIA ORGANICZNA

Z rdzenia otworu badawczego Chrzastowice PIG 1 pobrano 88 próbek, w tym 3 próbki z utworów kambru, 23 z utworów ediakaru i 62 z utworów karbonu. Materiał rdzeniowy przebadano pod kątem możliwości generowania węglowodorów. Posługując się aparatem *Rock-Eval* wykonano geochemiczne badania podstawowe 40 próbek oraz badania specjalistyczne: pomiar refleksyjności wityrynytu i analizę składu macerałowego, badania dystrybucji biomarkerów metodą GC-MS oraz badania składu trwałych izotopów węgla $\delta^{13}\text{C}$ na spektrometrze masowym. Wszystkie badania przeprowadzono w Wydziałowym Laboratorium Geochemii Organicznej i Analiz Środowiskowych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Analizowane kompleksy skał – ediakarski i karboński – charakteryzują się wysoce zróżnicowaną zawartością materii organicznej. Horyzont ediakaru wyróżnia się jedynie szczątkową zawartością węgla organicznego OWO, na poziomie setnych części procenta. W związku z tym nie rozwiązuje to problemu oceny jakości materii organicznej i jej potencjalnej macierzystości dla węglowodorów stwierdzonych makroskopowo (lampa UV) w szczelinach rdzeni. Z kolei w kompleksie karbonu stwierdzono małą i średnią zawartość OWO, rzędu 0,1–0,2% wag., chociaż analizowany horyzont nie jest jednorodny i w obrębie skał o małej lub średniej zawartości węgla organicznego notuje się horyzonty o jego większej zawartości, która osiąga do 2,6% wag.

Karbońska materia organiczna w próbkach z badanego przedziału głębokościowego rdzenia z odwiertu Chrzastowice PIG 1 jest pochodzenia morskiego. Wyniki badań dystrybucji n-alkanów wskazują na przewagę n-alkanów krótkołańcuchowych ($\text{C}_{15}\text{--}\text{C}_{20}$), co potwierdza obecność wodnej materii organicznej, wytworzonej z fitoplanktonu (Peters i in., 2005 i literatura tamże cytowana). W części karbońskiego materiału badawczego stwierdzono obecność n-alkanów średniołańcuchowych, które są związane z roślinami wodnymi (Ficken i in., 2000; Mead i in., 2005), mszakami (Pancost i in., 2002) i fitoplanktonem pelagicznym (Chen i in., 2021). Wskazuje to na zmienność warunków paleośrodowiskowych depozycji materii organicznej. Informacji o genezie materii organicznej dostarczają również sygnatury izotopowe węgla $\delta^{13}\text{C}$ niektórych n-alkanów. Analiza $\delta^{13}\text{C}$ n-alkanów długołańcuchowych, sporadycznie wykrywanych w badanym materiale, wykazała wyraźne różnice między wskazaniem izotopowymi próbek skał karbońskich i ediakarskich, co sugeruje brak istotnej migracji węglowodorów pomiędzy poszczególnymi horyzontami stratygraficznymi.

Zgodnie ze wskaźnikami biomarkerowymi materiał klastyczny badanych skał był deponowany w warunkach deficytu tlenowego, przy czym skala tego zjawiska była zróżnicowana. Stosunek Pr/Ph w większości przypadków wynosi <1 , co sugeruje anoksydacyjne warunki podczas depozycji (Didyk i in., 1978). Z kolei dystrybucja homohopánów (biomarkerów; Peters i in., 2005) sugeruje depozycję w warunkach co najmniej dysoksydacyjnych.

Wartości średniej refleksyjności wityrynytu (VR_0), oznaczone w 10 próbkach zgodnie z przedziałami generacyjnymi przyjętymi przez Lewana (1983), wskazują na tzw. główną fazę okna ropnego z przejściem w fazę późną. W pojedynczych próbkach wskazania refleksyjności wskazują na fazę okna gazowego, a nawet na fazę przejrzalą. W materiale badawczym stwierdzono niewielką ilość materii organicznej, w większości w postaci drobnych fragmentów wtrodetrynytu oraz inertodetrynytu. W pięciu próbkach przeważają macerały z grupy inertynitu oraz wityrynytu. Macerały z grupy liptynytu występują w postaci drobnych fragmentów lipotodetrynytu. W połowie z analizowanych próbek występują mikroropne objawy węglowodorów, głównie w szczelinach mineralnych. W dwóch próbkach zaobserwowano migrację stałych bituminów oraz niewielkie ilości *natural char* (Kwiecińska, Petersen, 2004), wskazujące na paleopożary i oddziaływanie na materię organiczną wysokich temperatur.

WNIOSKI

1) W materiale badawczym z otworu Chrzastowice PIG 1 (2023) natrafiono na ślady węglowodorów, które stwierdzono na podstawie charakterystycznej fluorescencji kalcytu żyłowego, co ukierunkowało dalszy cykl badań geochemicznych materii organicznej zawartej w skałach goszczących mineralizację żyłową i obserwacji inkluzji fluidalnych w minerałach wypełniających żyły.

2) Inkluzje węglowodorowe w mineralizacji żyłowej są wtórne.

3) W skałach zawierających mineralizację żyłową nie stwierdzono węglowodorów epigenetycznych, lecz jedynie węglowodory generowane *in situ*. Powstały one w warunkach morskich, beztlenowych, głównie z przeobrażenia sinic. Analiza tych węglowodorów wykazała, że pomiędzy kompleksami skał kambryjskich i ediakarskich a skałami karbońskimi nie zachodzi migracja węglowodorów.

4) Analizowany kompleks ediakaru charakteryzuje się szczątkową zawartością węgla organicznego OWO, na poziomie setnych części procenta. W kompleksie karbonu stwierdzono małą i średnią zawartość OWO, rzędu 0,1–0,2% wag., chociaż analizowany horyzont nie jest jednorodny, notuje się horyzonty o większej zawartości węgla organicznego, do nawet 2,6% wag.

5) Badania dystrybucji n-alkanów w utworach karbonu wskazują na przewagę n-alkanów krótkołańcuchowych, co potwierdza obecność wodnej materii organicznej, wytworzonej z fitoplanktonu. W części profilu karbońskiego stwierdzono obecność n-alkanów średniołańcuchowych, które są związane z roślinami wodnymi, mszakami i fitoplanktonem pelagicznym.

6) Wartości średniej refleksyjności wityrynytu wskazują, że materia organiczna jest w głównej fazie tzw. okna ropnego z przejściem w fazę okna gazowego, a nawet do fazy przejrzalej. W składzie macerałowym dominuje wiotrodetrynit i inertodetrynit. Stwierdzono również niewielkie ilości *natural char*, wskazujące na paleopożary i oddziaływanie na materię organiczną wysokich temperatur.

Autorzy serdecznie dziękują Pani Agacie Duczmal-Czernikiewicz za rzetelną recenzję i cenne uwagi. Prace były finansowane ze środków NFOŚiGW. Badania geochemiczne zostały wykonane na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH przez zespół pracowników w składzie: Adam Zakrzewski (badania chromatograficzne), Marta Waliczek (badania petrologiczne materii organicznej), Tomasz Kowalski (badania izotopowe), Hieronim Zych (badania pirolityczne) i Jan Pańczak (preparatyka próbek).

LITERATURA

- BUŁA Z., HABRYN R. 2008 (red.) – Atlas geologiczno-strukturalny podłoża paleozoicznego Karpat zewnętrznych i zapadliska przedkarpackiego. Państwowy Instytut Geologiczny.
- BUŁA Z., ŻABA J., HABRYN R. 2008 – Regionalizacja tektoniczna Polski – Polska południowa (blok górnośląski i blok małopolski). *Przegląd Geologiczny*, 56 (10): 912–920.
- BUŁA Z., HABRYN R., JACHOWICZ-ZDANOWSKA M., ŻABA J., 2015 – The Precambrian and lower Paleozoic of the Brunovistulicum (eastern part of the Upper Silesian Block, southern Poland) – the state of the art. *Geological Quarterly*, 59 (1): 123–134.
- CHEN X., LIU X., LIN D., WANG J., CHEN L., YU P., WANG L., XIONG Z., CHEN M. 2021 – A potential suite of climate markers of long-chain n-alkanes and alkenones preserved in the top sediments from the Pacific sector of the Southern Ocean. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8: 23.
- DIDYK B.M., SIMONEIT B.R.T., BRASSELL S.C., EGLINTON G. 1978 – Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature*, 272: 216–222.
- FICKEN K.J., LI B., SWAIN D.L., EGLINTON G. 2000 – An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Organic Geochemistry*, 31: 745–749.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. 1999 – Systematyka inkluzji fluidalnych w wypełnieniach przestrzeni porowej skał osadowych paleozoiku Niżu Polskiego. *Przegląd Geologiczny*, 47 (6): 542–546.
- KWIECIŃSKA B., PETERSEN H. 2004 – Graphite, semi-graphite, natural coke, and natural char classification – ICCP system. *International Journal of Coal Geology*, 57: 99–116.
- LEWAN M.D. 1983 – Effects of thermal maturation on stable organic carbon isotopes as determined by hydrous pyrolysis of Woodford Shale. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47: 1471–1479.
- JURECZKA J. 2005 – Atlas geologiczno-złożowy polskiej i czeskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, 1: 200 000. Państwowy Instytut Geologiczny.
- MEAD R., XU Y., CHONG J., JAFFE R. 2005 – Sediment and soil organic matter source assessment as revealed by the molecular distribution and carbon isotopic composition of n-alkanes. *Organic Geochemistry*, 36: 363–370.
- MARKOWIAK M. 2015 – Charakterystyka mineralizacji kruszcowej na tle przeobrażeń termiczno-metasomatycznych skał w rejonie Żarek–Kotowic. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 203: 1–74.
- NAWROCKI J., KRZEMIŃSKI L., PAŃCZYK M. 2010 – ⁴⁰Ar–³⁹Ar ages of selected rocks and minerals from the Kraków–Lubliniec Fault Zone, and their relation to the Paleozoic structural evolution of the Małopolska and Brunovistulian Terranes (S Poland). *Geological Quarterly*, 54: 289–300.
- OSZCZEPALSKI S., MARKOWIAK M., MIKULSKI S.Z., LASON K., BUŁA Z., HABRYN R. 2010 – Porfirowa mineralizacja Mo-Cu-W w prekambryjsko-paleozoicznych utworach – analiza prognostyczna strefy kontaktów bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 439 (2): 339–354.
- PANCOST R.D., BAAS M., VAN GEEL B., SINNINGHE DAMSTE J.S. 2002 – Biomarkers proxies for plant inputs to peats: an example from a sub-boreal ombrotrophic bog. *Organic Geochemistry*, 22: 675–690.
- PETERS K.E., WALTERS C.C., MOLDOWAN J.M. 2005 – *The Biomarker Guide*, wyd. 2, t. 2. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- ŻELAŻNIEWICZ A., BUŁA Z., FANNING M., SEGHEDI A., ŻABA J. 2009 – More evidence on Neoproterozoic terranes in Southern Poland and southeastern Romania. *Geological Quarterly*, 58 (1): 93–124.

Praca wpłynęła do redakcji 10.03.2025 r.
Akceptowano do druku 25.03.2025 r.