

Dojrzałość termiczna materii organicznej rozproszonej w oligoceńskich skałach okruchowych z odwiertu Wt-4 (Bieszczady Zachodnie) – wstępne wyniki

Marta M. Waliczek¹, Marek L. Solecki²



M.M. Waliczek



M.L. Solecki

Thermal maturity of organic matter dispersed in Oligocene clastic rocks in the Wt-4 well (Western Bieszczady Mts.) – preliminary results. *Prz. Geol.*, 73: 441–446; doi: 10.7306/2025.50

Abstract. This study used microscopic analyses to investigate the thermal maturity of organic matter dispersed in Oligocene rocks from the Wt-4 well at depths ranging from 330 to 1933 m, within the Silesian Unit of the Polish Outer Carpathians. The thermal maturity, determined through vitrinite reflectance measurements, indicates that the organic matter is mature enough for hydrocarbon generation. The maximum palaeotemperature affecting the rocks was found to be between 109 and 153°C.

Keywords: organic matter, vitrinite reflectance, Silesian Nappe, Outer Carpathians.

Pomiar refleksyjności wityryny jest powszechnie stosowanym wskaźnikiem dojrzałości termicznej materii organicznej rozproszonej w skałach osadowych (np. Taylor i in., 1998). Wskaźnik ten znajduje również zastosowanie podczas wyznaczania paleogradentu w basenach sedymentacyjnych (np. Mählmann i in., 2024 i prace tam cytowane).

Prezentowane w pracy badania mikroskopowe materii organicznej zostały wykonane na oligoceńskich próbkach skał płaszczowiny śląskiej z odwiertu Wt-4 pobranych z głęb. od 330 do 1933 m. Celem analizy było wyznaczenie stopnia dojrzałości termicznej materii organicznej przy zastosowaniu pomiarów refleksyjności wityryny (R_o [%]), ustalenie maksymalnych paleotemperatur oddziałujących na analizowane skały oraz wyznaczenie paleogradentu w profilu odwiertu Wt-4. Dotychczasowe wyniki badań mikroskopowej analizy materii organicznej rozproszonej w skałach oligoceńskich płaszczowiny śląskiej były przeprowadzane głównie na próbkach pobranych z odsłoneń powierzchniowych (Zielińska, 2017; Solecki, Waliczek, 2023; Ziemiński, Nowak, 2024). Analiza zmian termicznych materii organicznej zachodzących w profilu odwiertu Wt-4 może być wykorzystana w dalszych badaniach historii termicznej oligoceńskich skał płaszczowiny śląskiej Karpat zewnętrznych.

BUDOWA GEOLOGICZNA I LOKALIZACJA ODWIERTU WT-4

Przedmiotem badań były ilowce warstw menilitowych i warstw przejściowych pobranych z odwiertu Wt-4 (Polskie Karpaty zewnętrzne, płaszczowina śląska).

Odwiert Wt-4 został wykonany w 1991 r. do głębokości 1940 m (ryc. 1; Plezia, Ratuszniak, 1992; Jankowski i in., 2017). W jego profilu występują m.in. warstwy menilitowe i przejściowe płaszczowiny śląskiej (ryc. 2). Do

badania wykorzystano 10 próbek ilowców (tab. 1). Wszystkie analizowane skały są wieku oligoceńskiego (Jankowski i in., 2004).

Warstwy menilitowe tworzą na badanym obszarze łupki ilaste, ciemnobrunatne i rogowce. Są zbudowane z liściastych, twardych łupków o brunatnoczekoladowej barwie. Występują także łupki o grubszej łupliwości, mułowcowe, laminowane i brunatne. Piaskowce pojawiają się w mniejszym stopniu – są cienkoławicowe, rzadziej średnioławicowe, czasami o soczewkowym układzie, drobnoziarniste, pozbawione węgla wapnia i brunatne (Jankowski, Ślęczka, 2014; Jankowski i in., 2017). Warstwy menilitowe dzięki wysokiej zawartości materii organicznej są jednymi z najlepszych potencjalnych skał macierzystych w Karpatach zewnętrznych (Koltun, 1992; Krüge i in., 1996; Besserau i in., 1997; Köster i in., 1998a, b; Kotarba, Koltun, 2006; Kotarba i in., 2007; Kosakowski i in., 2009, 2018; Matyasik i in., 2015; Waliczek, 2016; Machowski i in., 2017; Feldman-Olszewska i in., 2019; Waliczek i in., 2019, 2021, 2022, 2023).

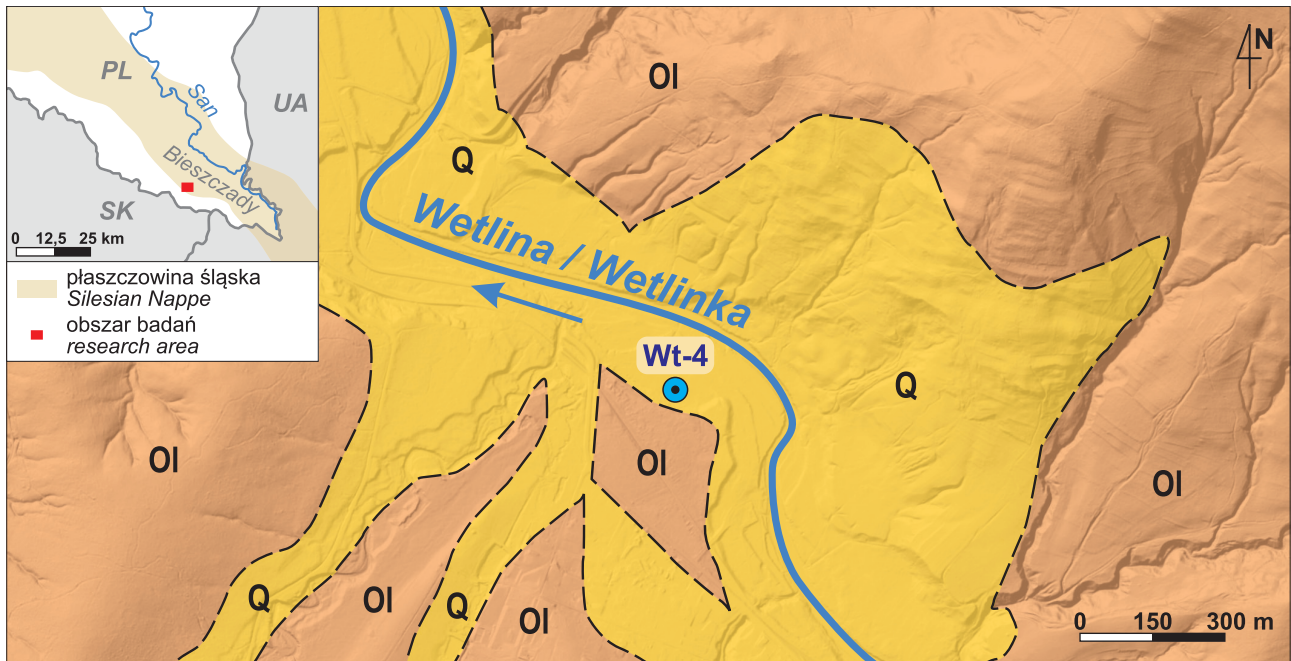
Warstwy przejściowe składają się z łupków i podrzędnie występujących piaskowców – łupki liściaste, począwszy od wyższej części warstw menilitowych, stopniowo przechodzą w łupki grubołuźliwe i mułowce, łupki wapniste i brunatne, obserwuje się również łupki szare, wapniste. Piaskowce występują rzadko, są szare, cienko- i średnioławicowe, drobnoziarniste, wapniste, laminowane, a także brunatne, średnioławicowe, średnioziarniste, frakcjonowane (Jankowski, Ślęczka, 2014).

METODYKA BADAŃ

Badania mikroskopowe materii organicznej rozproszonej w oligoceńskich skałach wykonano przy użyciu mikroskopu Axio Imager KMAT firmy Carl Zeiss, wyposażonego

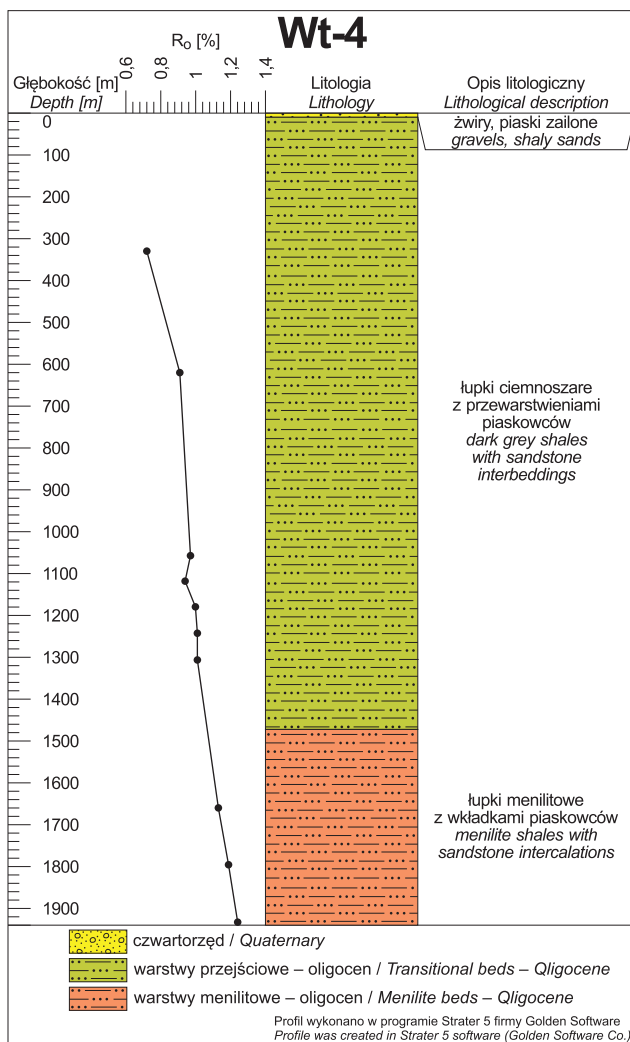
¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; waliczek@agh.edu.pl; ORCID ID: 0000-0002-5940-7986

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; marek.solecki@agh.edu.pl; ORCID ID: 0000-0001-8637-8300



Ryc. 1. Mapa lokalizacyjna odwiertu Wt-4 na tle uproszczonej budowy geologicznej na podstawie Jankowskiego i Ślączi (2000); Ol – oligocen, Q – czwartorzęd

Fig. 1. Location of the Wt-4 well and the simplified geological setting after Jankowski and Ślączi (2000); Ol– Oligocene, Q– Quaternary



←

Ryc. 2. Uproszczony profil litologiczno-stratygraficzny otworu Wt-4 (na podstawie Plezia, Ratuszniaka, 1992) wraz z wynikami pomiarów refleksyjności wityrynytu

Fig. 2. Simplified lithological-stratigraphic section of the Wt-4 well (based on Plezia, Ratuszniak, 1992) and the results of vitrinite reflectance measurements

w fotometr PMT umożliwiającą pomiar refleksyjności wityrynytu. Analizę mikroskopową przeprowadzono w świetle odbitym białym, przy zastosowaniu obiektywu immersyjnego o 50-krotnym powiększeniu. Pomiary zdolności odbicia światła zostały wykonane na wypolerowanych zgodnie z wytycznymi ASTM (2015) fragmentach skalnych wg procedury ASTM (2011). Maksymalne paleotemperature oddziałujące na badane skały zostały oszacowane przy użyciu przelicznika zaproponowanego przez Barkera i Pawlewicza (1994).

WYNIKI BADAŃ

Pomierzone średnie wartości refleksyjności wityrynytu w analizowanych próbkach z otworu Wt-4 mieszczą się w przedziale od 0,72% dla próbki pobranej z głębokości 330 m, a 1,24% dla próbki pobranej z głębokości 1933 m (tab. 1; ryc. 2 i 3). Maksymalne paleotemperature oddzia-

Tab. 1. Pomiary refleksyjności materii organicznej rozproszonej w analizowanych skałach
Table 1. Reflectance measurements of organic matter dispersed in analysed rocks

Próbka Sample	Stratygrafia Stratigraphy	Głębokość Depth [m]	Średnia wartość refleksyjności witrynytu Average vitrinite reflectance value R_o [%]	Liczba pomiarów Number of measurements	Odchylenie standardowe Standard deviation	Zakres refleksyjności witrynytu Vitrinite reflectance range R_o [%]	T [°C]
Wt-4/1	warstwy przejściowe transitional beds	330	0,72	29	0,02	0,68–0,73	109
Wt-4/2	warstwy przejściowe transitional beds	620	0,91	55	0,05	0,80–1,05	128
Wt-4/3	warstwy przejściowe transitional beds	1057	0,97	20	0,07	0,85–1,09	133
Wt-4/4	warstwy przejściowe transitional beds	1118	0,94	33	0,06	0,85–1,10	130
Wt-4/5	warstwy przejściowe transitional beds	1179	1,00	21	0,05	0,93–1,12	135
Wt-4/6	warstwy przejściowe transitional beds	1242	1,01	34	0,07	0,91–1,16	136
Wt-4/7	warstwy przejściowe transitional beds	1306	1,01	62	0,06	0,91–1,14	136
Wt-4/10	warstwy menilitowe menilite beds	1660	1,13	43	0,08	0,94–1,32	145
Wt-4/12	warstwy menilitowe menilite beds	1796	1,19	26	0,08	1,01–1,33	150
Wt-4/14	warstwy menilitowe menilite beds	1933	1,24	41	0,07	1,12–1,42	153

T – maksymalna paleotemperatura oszacowana na podstawie wskaźnika R_o przy użyciu logarytmu $T = (\ln(R_o) + 1,68) / 0,0124$ (Barker, Pawlewicz, 1994).

T – palaeotemperature calculated from R_o based on the Barker and Pawlewicz (1994) equation $T = (\ln(R_o) + 1,68) / 0,0124$.

Łącząc na analizowane skały zostały oszacowane przy zastosowaniu przelicznika zaproponowanego przez Barkera i Pawlewicza (1994) i zawierają się w przedziale od 109 do 153°C (tab. 1). Wartość refleksyjności witrynytu (R_o) wzrasta najszybciej wraz z głębokością dla próbek pobranych z górnej części profilu (głęb. 330 i 620 m), przy średnim wzroście paleotemperatury 0,065°C na metr. Dla próbek pobranych z głębokości od 1057 do 1306 m i od 1660 do 1933 m średni przyrost temperatury na metr w profilu wynosi odpowiednio 0,012 i 0,029°C. Dla całego analizowanego profilu otworu Wt-4 średni przyrost temperatury dla próbek pobranych z głębokości od 330 do 1933 m wynosi 27°C na 1000 m.

PODSUMOWANIE

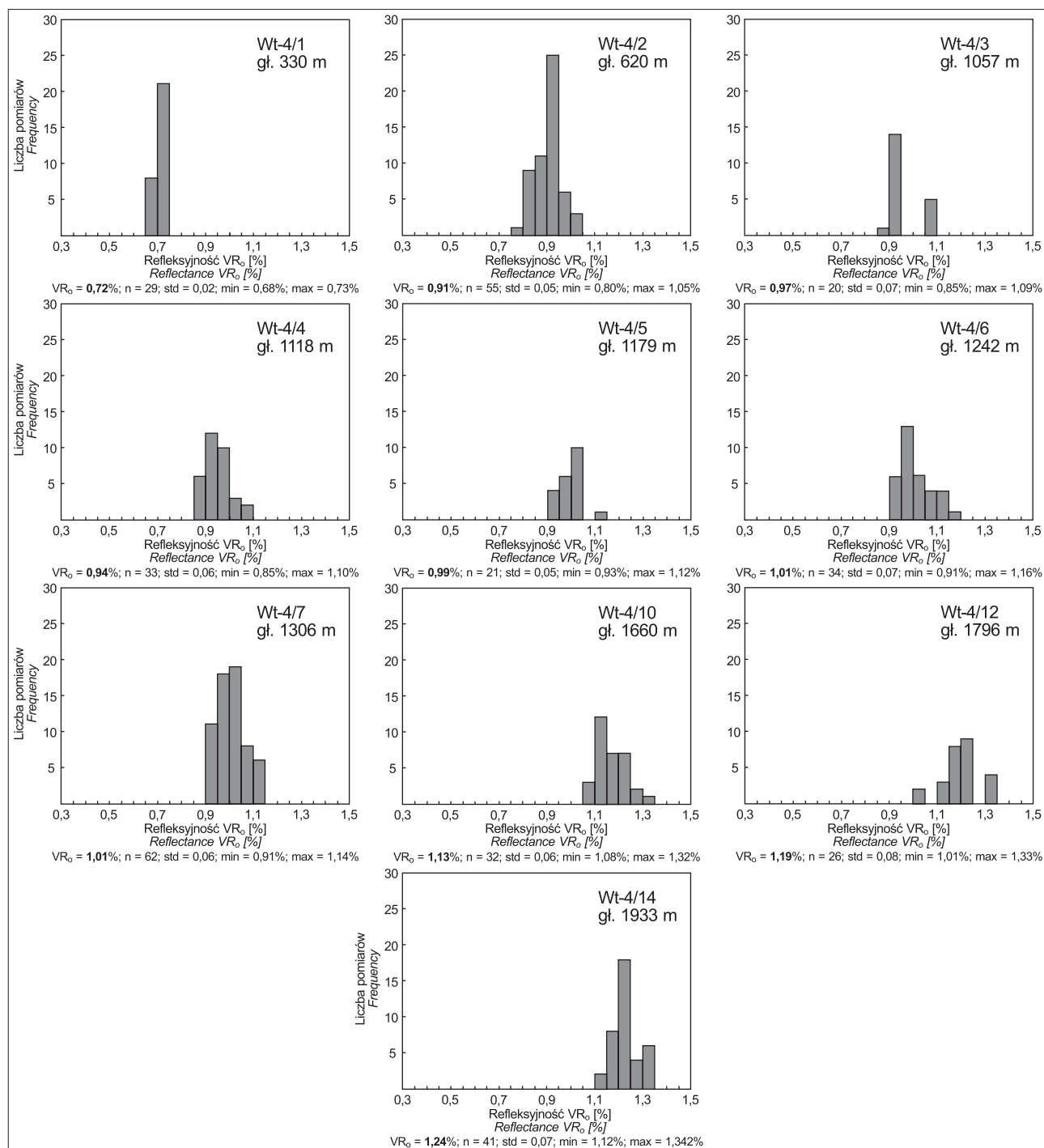
Pomierzone wartości refleksyjności witrynytu dla próbek z odwiertu Wt-4 są charakterystyczne dla materii organicznej dojrzałej do generowania węglowodorów ciekłych i gazowych. Dojrzałość termiczna materii organicznej wzrasta wraz z głębokością w profilu odwiertu. Uśredniony gradient geotermiczny dla analizowanych skał w profilu odwiertu Wt-4 na głębokości od 330 do 1933 m wynosi 27

na 1000 m, co jest zgodne z wcześniejszymi badaniami Andreucciego i in. (2013) przeprowadzonymi na obszarze Karpat zewnętrznych.

Autorzy pragną złożyć serdeczne podziękowania: Dyrekcji Oddziału Geologii i Eksploatacji PGNiG w Warszawie (ORLEN S.A.) w osobie Zastępcy Dyrektora Geologii Macieja Nowakowskiego za udzielenie zgody na udostępnienie danych i materiałów do badań oraz opublikowanie niniejszego manuskryptu; dr. inż. Adamowi Zubrzyckiemu – emerytowanemu pracownikowi Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH w Krakowie – za przekazane próbki rdzeni z odwiertu Wt-4; recenzentom niniejszej pracy – prof. dr. hab. Grzegorzowi Jackowi J. Nowakowi i dr. hab. Katarzynie Jarmołowicz-Szulc, za merytoryczne wskazówki, które przyczyniły się do poprawy manuskryptu i wydania go w tej formie. Prezentowane w pracy wyniki badań uzyskano w ramach realizacji prac badawczych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH (nr 16.16.140.315) oraz Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH (nr 16.16.190.779) i częściowo w ramach programu *Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza* AGH nr 501.696.7996/8631.

LITERATURA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) D7708-11, 2011 – Standard Test Method for Microscopical Determina-



Ryc. 3. Histogramy pomiarów refleksyjności wityryny próbek z otworu Wt-4
Fig. 3. Histograms of vitrinite reflectance measurements for samples from the Wt-4 well

tion of the Reflectance of Vitrinite Dispersed in Sedimentary Rocks ASTM International. West Conshohocken. PA;
<https://doi.org/10.1520/D7708-11>
 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), 2015 – ASTM D2797/D2797M-11a: Standard Practice for Preparing Coal Samples for Microscopical Analysis by Reflected Light. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania;
https://doi.org/10.1520/D2797_D2797M-11A
 ANDREUCCI B., CASTELLUCCIO A., JANKOWSKI L., MAZZOLI S., SZANIAWSKI R., ZATTIN M. 2013 – Burial and exhumation history of the Polish Outer Carpathians: discriminating the role of thrusting and post-thrusting extension. *Tectonophysics*, 608: 866–883;
[10.1016/j.tecto.2013.07.030](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.07.030)
 BARKER C.E., PAWLEWICZ M.J. 1994 – Calculation of vitrinite reflectance from thermal histories and peak temperatures: a comparison

of methods. [W:] Mukhopadhyay P.K., Dow W.G. (red.), Vitrinite reflectance as maturity parameter: applications and limitations. American Chemical Society Symposium Series, 570: 216–229.
 BESSEREAU G., ROURE F., KOTARBAM., KUŚMIEREK J., STRZETELSKI W. 1997 – Structure and hydrocarbon habitat of the Polish Carpathians. [W:] Ziegler P.A., Horváth F. (red.), Peri-Thetys Memoir 2: Structure and Prospects Alpine Basins and Foreland. *Memoires du Museum National d'Histoire Naturelle*, 170: 343–373.
 FELDMAN-OLSZEWSKA A., JANKOWSKI L., KRZYŻAK E., PE- RYT T., SIKORSKA-JAWOROWSKA M., WÓJCIK K. 2019 – Ropa naftowa i gaz ziemny w Polsce – obszary perspektywiczne oraz postępowanie przetargowe w 2018/2019 r. (część II). *Przegląd Geologiczny*, 67 (1): 13–26.
 JANKOWSKI L., BRZEZIŃSKI D., CZAPIGO-CZAPLAM., FABIAŃ- CZYK J., GARECKA M., JASIONOWSKI M., JUGOWIEC M., KA-

- FARA D., KOPCIOWSKI R., KOSTRZ-SIKORA P., KOZŁOWSKA O., KUĆ P., LASKOWICZ R., ROSOWIECKA O., SZYDŁO A., WÓJCIK K. 2017 – Pakiet danych geologicznych do postępowania przetargowego na poszukiwanie złóż węglowodorów – Obszar przetargowy „Wetlina”. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- JANKOWSKI L.S., KOPCIOWSKI R., RYŁKO W. 2004 – Geological map of the Outer Carpathians: borderlands of Poland, Ukraine and Slovakia, 1 : 200 000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- JANKOWSKI L., ŚLĄCZKA A. 2000 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Jabłonki (1065). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- JANKOWSKI L., ŚLĄCZKA A. 2014 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Jabłonki (1065). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- KOLTUN Y.V. 1992 – Organic matter in Oligocene Menilite formation rocks of the Ukrainian Carpathians: palaeoenvironment and geochemical evolution. *Organic Geochemistry*, 18 (4): 423–430; [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(92\)90105-7](https://doi.org/10.1016/0146-6380(92)90105-7)
- KOSAKOWSKI P., KOLTUN Y., MACHOWSKI G., POPRAWA P., PAPIERNIK B. 2018 – The geochemical characteristics of the Oligocene – lower Miocene Menilite formation in the Polish and Ukrainian outer Carpathians: a review. *Journal of Petroleum Geology*, 41 (4): 319–336; <https://doi.org/10.1111/jpg.12705>
- KOSAKOWSKI P., WIĘCŁAW D., KOTARBA M.J. 2009 – Charakterystyka macierzystości wybranych utworów fliszowych w przygranicznej strefie polskich Karpat zewnętrznych. *Geologia AGH*, 35 (4/1): 155–190.
- KÖSTER J., KOTARBA M. J., LAFARGUE E., KOSAKOWSKI P. 1998a – Source rock habitat and hydrocarbon potential of Oligocene Menilite Formation (Flysch Carpathians, Southeast Poland): an organic geochemical and isotope approach. [W:] Horsfield B., Radke M., Schaefer R.G., Wilkes H. (red.), *Advances in Organic Geochemistry 1997. Proceedings of the 18th International Meeting on Organic Geochemistry. Part I. Petroleum Geochemistry. Organic Geochemistry*, 29 (1–3): 543–558.
- KÖSTER J., ROSPONDEK M., SCHOUTEN S., KOTARBA M., ZUBRZYCKI A., SINNINGHE DAMSTÉ J. S. 1998b – Biomarker geochemistry of a foreland basin: the Oligocene Menilite Formation in the Flysch Carpathians of Southeast Poland. [W:] Horsfield B., Radke M., Schaefer R.G., Wilkes H. (red.), *Advances in Organic Geochemistry 1997. Proceedings of the 18th International Meeting on Organic Geochemistry. Part I. Petroleum Geochemistry. Organic Geochemistry*, 29 (1–3): 649–669.
- KOTARBA M.J., KOLTUN Y.V. 2006 – The origin and habitat of hydrocarbons of the Polish and Ukrainian Parts of the Carpathian Province. [W:] Golonka J., Picha F. (red.), *The Carpathians and their foreland: geology and hydrocarbon resources. American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 84: 395–443.
- KOTARBA M.J., WIĘCŁAW D., KOLTUN Y.V., KUŚMIEREK J., MARYNOWSKI L., DUDOK I.V. 2007 – Organic geochemical study and genetic correlation of natural gas, oil and Menilite source rocks in the San and Stryi rivers region (Polish and Ukrainian Carpathians). *Organic Geochemistry*, 38: 1431–1456.
- KRUGE M. A., MASZTALERZ M., SOLECKI A., STANKIEWICZ B.A. 1996 – Organic geochemistry and petrology of oil source rocks, Carpathian Overthrust region, southeastern Poland – implications for petroleum generation. *Organic Geochemistry*, 24: 897–912.
- MACHOWSKI G., KRZYSZTOFIK M., WALICZEK M., STEFANIUK M. 2017 – Source potential of the Menilite Formation in the central Carpathian Synclinorium (Outer Carpathians, Poland). [W:] SGEM 2017: 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference: Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining: 29 June–5 July 2017, Albena, Bulgaria: Conference Proceedings, 17 (14), Applied and Environmental Geophysics Oil and Gas Exploration, STEF92 Technology Ltd., Sofia: 889–896; <https://doi.org/10.5593/sgem2017/14/S06.111>
- MATYASIK I., LEŚNIAK G., SUCH P. 2015 – Elementy systemu naftowego Karpat. *Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego*, 203.
- MÄHLMANN R.F., RAHN M., POTEŁ S., NGUYEN THANH L., PETSCHICK R. 202 – Determination of a normal orogenic palaeo-geothermal gradient with clay mineral and organic matter indices: A review. *Swiss Journal of Geosciences*, 117, 17; <https://doi.org/10.1186/s00015-024-00460-9>
- PLEZIA B., RATUSZNIK Z. 1992 – Dokumentacja wynikowa odwiertu poszukiwawczego Wetlina-4. PGNiG PNIG Jasło (mat. niepubl.).
- SOLECKI M.L., WALICZEK M.M. 2023 – Krążenie płynów w skałach okrucowych: studium przypadku piaskowców krośnieńskich z rejonu Berezek (Bieszczady Wysokie). *Przegląd Geologiczny*, 71 (4): 227–230; <http://dx.doi.org/10.7306/2023.19>
- TAYLOR G.H., TEICHMÜLLER M., DAVIS A., DIESSEL C.F.K., LITTKER R., ROBERT P. 1998 – *Organic Petrology*. Gerbrüder Bornträger, Berlin, Germany.
- WALICZEK M. 2016 – Charakterystyka dojrzałości warstw menilitowych w wybranych otworach – wstępne wyniki. *Wiadomości Naftowe i Gazownicze*, 3–4: 8–10.
- WALICZEK M., MACHOWSKI G., WIĘCŁAW D., KONON A., WANDYCYZ P. 2019 – Properties of solid bitumen and other organic matter from Oligocene shales of the Fore-Magura Unit in Polish Outer Carpathians: Microscopic and geochemical approach. *International Journal of Coal Geology*, 210, 103206; <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.05.013>
- WALICZEK M., MACHOWSKI G., POPRAWA P., ŚWIERCZEWSKA A., WIĘCŁAW D. 2021 – A novel V_{Ro}, T_{max}, and S indices conversion formulae on data from the fold-and-thrust belt of the Western Outer Carpathians (Poland). *International Journal of Coal Geology*, 234, 103672; <https://doi.org/10.1016/j.coal.2020.103672>
- WALICZEK M., MACHOWSKI G., SOLECKI M. L., STEFANIUK M. 2022 – An evaluation of organic matter dispersed in the Menilite Formation in Silesian Nappe (Polish Outer Carpathians): an optical microscopic approach. *Geology, Geophysics & Environment*, 48 (3): 243–256; <https://doi.org/10.7494/geol.2022.48.3.243>
- WALICZEK M., SOLECKI M., MACHOWSKI G., STEFANIUK M. 2023 – Evaluation of solid bitumen and thermal maturity of Oligocene Menilite Formation in the Polish part of Outer Carpathians (Silesian Nappe). [W:] *Geotechnology and energy AGH 2023 [Dokument elektroniczny]*: May 24–26, 2023, Zakopane, Poland: book of abstracts, 29–30. Available from: <http://geoenergyconference.agh.edu.pl/>
- ZIEMIANIN K., NOWAK G. 2024 – Rozproszona materia organiczna warstw menilitowych jednostek skolskiej, śląskiej i dukielskiej wschodniej części Karpat zewnętrznych. *Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego*, 243.
- ZIELIŃSKA M. 2017 – Organic matter vitrinite reflectance variability in the Outer Carpathians, Poland: relationship to tectonic evolution. *Geological Quarterly*, 61 (1): 214–226; <https://doi.org/10.7306/gq.1338>

Praca wpłynęła do redakcji 13.03.2025 r.

Akceptowano do druku 31.03.2025 r.