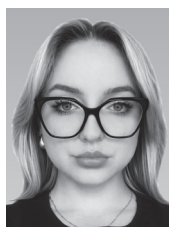


Dojrzałość termiczna materii organicznej rozproszonej w miocénskich skałach okrucowych zapadliska przedkarpacciego (odwiert J-8) – wstępne wyniki

Paulina Kicilińska^{1,2}, Dominika Bogdziewicz³, Marta M. Waliczek²,
Marek L. Solecki³, Grzegorz Machowski²



P. Kicilińska



D. Bogdziewicz



M.M. Waliczek



M.L. Solecki



G. Machowski

Thermal maturity of organic matter dispersed in Miocene clastic rocks of the Carpathian Foredeep (J-8 well) – preliminary results.
Prz. Geol., 74: 622–626; doi: 10.7306/2026.52

Redaktor prowadząca: Irena A. Wysocka

Abstract. This paper presents preliminary results of organic petrographic investigation of dispersed organic matter in Miocene clastic rocks from the J-8 well in the Carpathian Foredeep (SE Poland). Mean random vitrinite reflectance ($VR_o\%$) values were determined for seven core samples collected from depths between 1727 and 2788 m. The measured VR_o values range from 0.37 to 0.42%, indicating thermally immature to very early mature organic matter. Maximum palaeotemperatures estimated using the equation of Barker and Pawlewicz (1994) range from approximately 55 to 66°C. The presented results complement existing studies on the thermal maturity of dispersed organic matter in the Miocene deposits of the Carpathian Foredeep.

Keywords: organic matter, vitrinite reflectance, Carpathian Foredeep, Miocene

Stopień dojrzałości termicznej materii organicznej (MO) rozproszonej w skałach osadowych ocenia się najczęściej na podstawie refleksyjności witrinitu ($VR_o\%$) (np. Taylor i in., 1998; Hackley, Cardott, 2016). Wskaźnik VR_o pozwala określić potencjał MO do generowania węglowodorów (np. Tissot, Welte, 1984). Ponadto refleksyjność witrinitu jest powszechnie wykorzystywana do rekonstrukcji historii termicznej basenów sedymentacyjnych (np. Taylor i in., 1998; Botor, 2021). Prawidłowa interpretacja wyników pomiarów refleksyjności wymaga stosowania znormalizowanych procedur analitycznych (Dembicki, 2009; Hackley, Cardott, 2016).

Zapadlisko przedkarpaccie należy do jednych z najważniejszych prowincji naftowo-gazowych w Polsce i od wielu lat stanowi przedmiot licznych badań geologicznych, geochemicznych oraz poszukiwawczych (np. Karnkowski, 1969; Sowizdżał i in., 2020). Miocénskie skały wypełniające zapadlisko są głównym poziomem zbiornikowym gazu ziemnego (np. Karnkowski, 1993), dlatego ocena dojrzałości termicznej zawartej w nich rozproszonej materii organicznej stanowi istotny element badań nad ewolucją termiczną basenu.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań petrograficznych rozproszonej materii organicznej w próbkach miocénskich skał z odwiertu J-8. Celem badań było określenie stopnia dojrzałości termicznej materii organicznej na podstawie pomiarów refleksyjności witrinitu ($VR_o\%$), oszacowanie maksymalnych paleotemperatur panujących w profilu otworu oraz określenie stadium dojrzałości termicznej w odniesieniu do okien generowania węglowodorów. Uzyskane wyniki stanowią uzupełnienie dotychczasowych badań nad dojrzałością termiczną rozproszonej materii organicznej w miocénskich utworach zapadliska przedkarpacciego, dostarczając nowych danych opartych na mikroskopowej analizie petrograficznej.

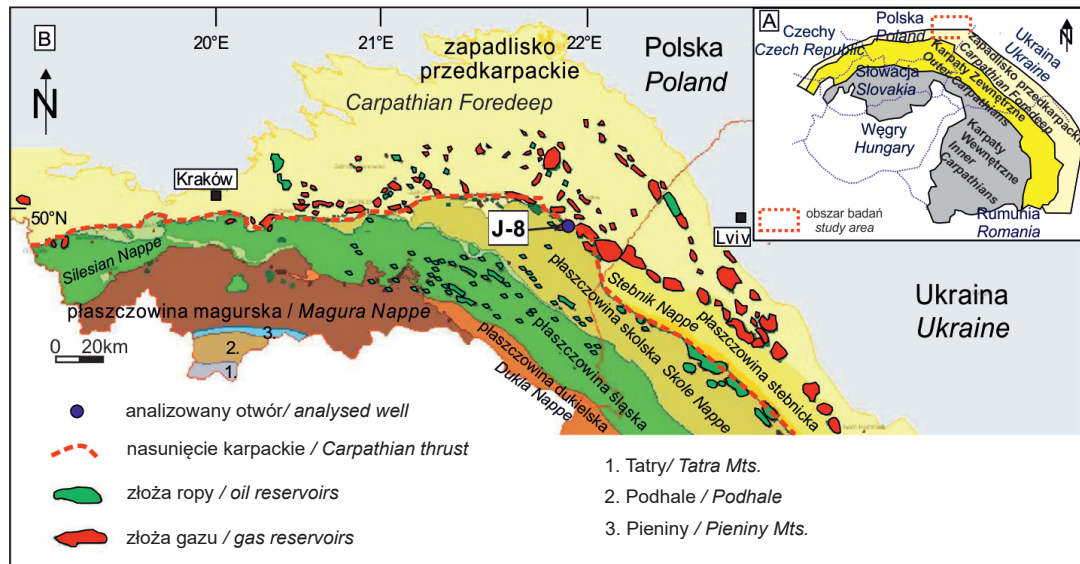
BUDOWA GEOLOGICZNA I LOKALIZACJA ODWIERTU J-8

Zapadlisko przedkarpaccie rozciąga się wzdłuż północnego przedpola Karpat, między orogénem a blokiem małopolskim (ryc. 1). Jego wypełnienie stanowią autochtoniczne osady dolnego i środkowego miocenu (Oszczypko i in., 2006). W budowie zapadliska wyróżnia się część ze-

¹ Southern Methodist University Dallas, TX 75275, USA; pkicilinska@smu.edu; ORCID ID: 0009-0006-5408-0271

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; waliczek@agh.edu.pl; machog@agh.edu.pl; ORCID ID: M.M. Waliczek – 0000-0002-5940-7986; G. Machowski – 0000-0003-4589-0433

³ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; dbogdziewicz@student.agh.edu.pl; marek.solecki@agh.edu.pl; ORCID ID: D. Bogdziewicz – 0009-0006-4503-7407; M. Solecki – 0000-0001-8637-8300



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle uproszczonej mapy geologicznej (A, B; Botor, 2021, zmienne)
Fig. 1. Location of the study area on a simplified geological map (A, B; modified after Botor, 2021)

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

Próbka Sample	Stratygrafia Stratigraphy	Głębokość Depth [m]	Średnia refleksyjność wityrytu Average vitrinite reflectance value R_o [%]	Liczba pomiarów Number of measurements	Odchylenie standardowe Standard deviation	Zakres refleksyjności wityrytu Vitrinite reflectance range R_o [%]	T [°C]
J-8/1	miocen autochtoniczny <i>Autochthonous Miocene</i>	1727–1731	0,39	23	0,06	0,32–0,55	59,55
J-8/2		1975–1979	0,37	29	0,04	0,30–0,48	55,30
J-8/3		2177–2181	0,39	21	0,05	0,34–0,47	59,55
J-8/4		2276–2280	0,42	25	0,05	0,34–0,53	65,52
J-8/5		2318–2322	0,41	24	0,05	0,33–0,56	63,58
J-8/6		2451–2456	0,40	20	0,06	0,33–0,53	61,59
J-8/7		2785–2788	0,41	34	0,05	0,30–0,54	63,58

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

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

wnętrzną, zbudowaną ze środkowomiocennych osadów morskich, oraz część wewnętrzną, przykrytą nasunięciem karpackim (np. Oszcypko, 2006). Podłoże zapadliska budują prekambryjskie i paleozoiczne skały krystaliczne oraz osadowe bloku małopolskiego i górnośląskiego, miejscami zdeformowane w trakcie subsydencji, przykryte kompleksem miocennym – iłowcami, marglami, piaskowcami, wapieniami oraz złożami soli i siarki.

Odwiert J-8 (ryc. 1) wykonano na przełomie 1990 i 1991 r., do głęb. 3204 m, w celu rozpoznania geologiczno-złożowego i udokumentowania zasobów gazu ziemnego w rejonie Jodłówki w województwie podkarpackim. W profilu otworu wydzielono: czwartorzęd (do 25 m), nasunięcie karpackie reprezentowane przez kredę górną (do 1475 m)

i warstwy stebnickie (do 1645 m), autochtoniczny miocen, obejmujący osady sarmatu (do 2717 m) i górnego badenu (do 3180 m); profil zamykają skały prekambriu. Opróbowanie otworu wykazało obecność gazu w głębszych horyzontach (Gierut, Koprowska, 1992).

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Materiał badawczy stanowiło siedem próbek łupków ilastych i mułowcowych z autochtonicznego (sarmackiego) ogniwa miocenu zapadliska przedkarpackiego, pobranych z odwiertu J-8 z głęb. 1727–2788 m (tab. 1).

Zgłady do badań mikroskopowych przygotowano zgodnie z procedurą ASTM (2021). Obserwacje i pomiary



wykonano mikroskopem polaryzacyjnym Axio Imager A2 (Carl Zeiss) z fotometrem PMT IV, w świetle odbitym białym, z użyciem obiektywu immersyjnego o powiększeniu 50×, według procedury ASTM (2023). Układ pomiarowy kalibrowano wzorcami o znanej refleksyjności. Dla każdej próbki wykonano co najmniej 20 pomiarów (zob. Barker, Pawlewicz, 1993). Obrazy mikroskopowe rejestrowano kamerą AxioCam 305 (Carl Zeiss).

Uzyskane wartości VR_0 przeliczono na maksymalne paleotemperatury według wzoru zaproponowanego przez Barkera i Pawlewicza (1994): $T = \ln(VR_0) + 1,68/0,0124$.

WYNIKI BADAŃ

Refleksyjność witrinitu i paleotemperatury

Pomierzone średnie wartości refleksyjności witrinitu w próbkach z odwiertu J-8 mieszczą się w przedziale od 0,37%, dla próbki pobranej z głęb. 1975–1979 m, do 0,42%, dla próbki z głęb. 2276–2280 m (tab. 1; ryc. 2, 3). Łączny zakres zmierzonych wartości VR_0 wynosi 0,30–0,56%. Odchylenie standardowe w poszczególnych próbkach zawiera się w przedziale 0,04–0,06.

Maksymalne paleotemperatury, wyznaczone według przelicznika Barkera i Pawlewicza (1994) (tab. 1), zawierają się w przedziale od 55,3°C (próbka J-8/2, głęb. 1975–1979 m) do 65,5°C (próbka J-8/4, głęb. 2276–2280 m).

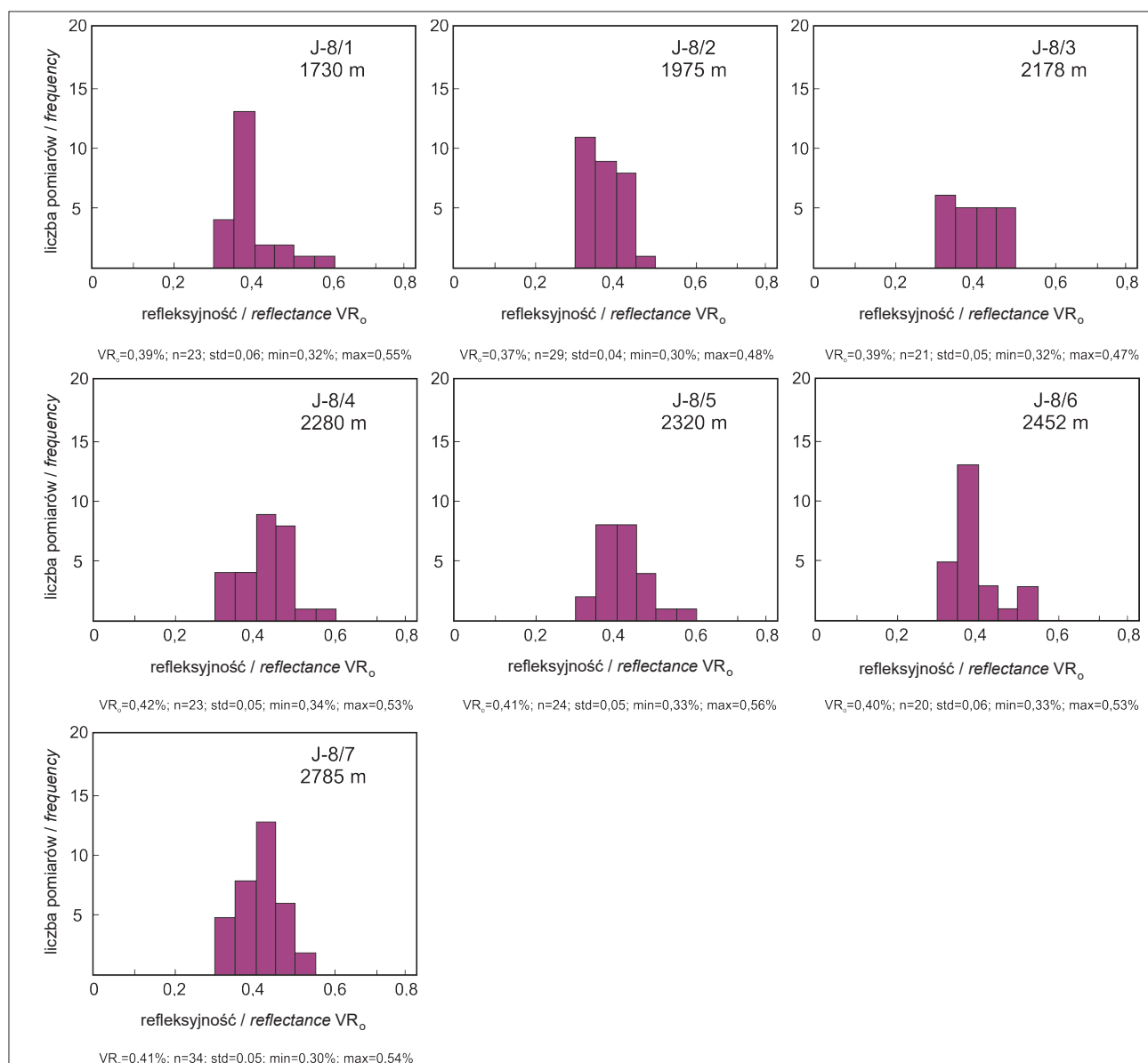
DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Średnie wartości VR_0 uzyskane dla próbek sarmackich z odwiertu J-8 (0,37–0,42%) wskazują na niski stopień dojrzałości termicznej materii organicznej i pozostają poniżej wartości powszechnie przyjmowanych za początek okna generowania ropy naftowej (Taylor i in., 1998). Maksymalne paleotemperatury oszacowane na podstawie równania Barkera i Pawlewicza (1994) mieszczą się w przedziale 55–66°C, charakterystycznym dla późnych etapów diagenety (Selley, 1998). Wyniki te są zgodne z wcześniejszymi badaniami rozproszonej materii organicznej w utworach miocennskich zapadliska przedkarpackiego, które również wskazują na jej niski stopień dojrzałości termicznej (Szafrań, Wagner, 2000; Geršlová i in., 2022). Podobne wartości refleksyjności witrinitu oznaczono również w próbkach z odwiertów J-7 i J-9 (Kotarba i in., 2022). W świetle obecności akumulacji gazu w rejonie odwiertu J-8 uzyskane wartości refleksyjności sugerują, że badana materia organiczna nie osiągnęła dojrzałości termicznej wymaganej do generowania gazu termogenicznego.



Ryc. 2. Uproszczony profil litologiczno-stratygraficzny otworu J-8 (na podstawie Gierut, Koprowskiej, 1992) wraz z pomierzonymi wartościami refleksyjności witrinitu VR_0 [%]

Fig. 2. Simplified lithological-stratigraphic section of the J-8 well (after Gierut, Koprowska, 1992) with the measured vitrinite reflectance values VR_0 [%]



Ryc. 3. Histogramy rozkładu wartości refleksyjności wityritu dla próbek pobranych z poszczególnych głębokości odwiertu J-8
Fig. 3. Histograms showing the distribution of vitrinite reflectance values for samples collected from individual depths in the J-8 well

Autorzy pragną serdecznie podziękować: Panu Maciejowi Nowakowskiemu – Zastępcy Dyrektora Geologii Oddziału Geologii i Eksploatacji ORLEN S.A. Upstream Polska w Warszawie za wyrażenie zgody na udostępnienie danych i materiałów oraz na opublikowanie niniejszego manuskryptu; anonimowemu Recenzentowi pracy za merytoryczne wskazówki i cenne uwagi, które przyczyniły się do poprawy manuskryptu i opublikowania go w ostatecznej formie. Badania zostały częściowo sfinansowane ze środków subwencji przyznanej AGH w Krakowie przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

LITERATURA

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) 2021 – ASTM D2797/D2797M-21a – Standard Practice for Preparing Coal Samples for Microscopical Analysis by Reflected Light. https://doi.org/10.1520/D2797_D2797M-21a.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) – 2023 A D7708-23A. – Standard Test Method for Microscopical Determination of the Reflectance of Vitrinite Dispersed in Sedimentary Rocks. <https://doi.org/10.1520/D7708-23A>.
- BARKER C.E., PAWLEWICZ M.J. 1993 – An empirical determination of the minimum number of measurements needed to estimate the mean random vitrinite reflectance of disseminated organic matter. *International Journal of Coal Geology*, 20: 643–651; [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(93\)90050-L](https://doi.org/10.1016/0146-6380(93)90050-L).
- 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 a Maturity Parameter: Applications and Limitations*. ACS Symposium Series, 570: 216–229.
- DEMBICKI H. 2009 – Three common source rock evaluation errors made by geologists during prospect or play appraisals. *AAPG Bulletin*, 93: 341–356.
- GERŠLOVÁ E., MEDVECKÁ L., JIRMAN P., NEHYBAS., OPLETAL V. 2022 – Source rock potential of the Miocene sedimentary rocks in the Carpathian Foredeep of the Czech Republic. *Geological Quarterly*, 66: 1; <https://doi.org/10.7306/gq.1634>.
- GIERUT M., KOPROWSKA L. 1992 – Dokumentacja wyników odwiertu rozpoznawczego J-8. Kat. SW/P/3204. Archiwum ORLEN S.A.
- HACKLEY P.C., CARDOTT B.J. 2016 – Application of organic petrography in North American shale petroleum systems: a review. *International Journal of Coal Geology*, 163: 8–51; <https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.06.010>.
- KARNKOWSKI P. 1969 – Formowanie się złóż ropy naftowej i gazu ziemnego na tle geologii przedgórza Karpat polskich [Formation of oil, natural gas, and the geology of the Polish Carpathian Foredeep]. Instytut Geologiczny, Warszawa.

- KARNKOWSKI P. 1993 – Złoża gazu ziemnego i ropy naftowej w Polsce. Karpaty i Zapadlisko Przedkarpacie, t. 2. Towarzystwo Geosynoptyków „Geos” AGH, Kraków.
- KOTARBA M.J., BILKIEWICZ E., BAJDA T., WALICZEK M., JURK K. 2022 – Variations of yields and molecular and isotopic compositions in gases generated from Miocene strata of the Carpathian Foredeep (Poland) as determined by hydrous pyrolysis. *International Journal of Earth Sciences*, 111: 1823–1858.
- OSZCZYPKO N. 2006 – Late Jurassic-Miocene evolution of the Outer Carpathian fold-and-thrust belt and its foredeep basin (Western Carpathians, Poland). *Geological Quarterly*, 50 (1): 169–194.
- OSZCZYPKO N., KRZYWIEC P., POPADYUK I., PERYT T. 2006 – Carpathian Foredeep Basin (Poland and Ukraine): its sedimentary, structural, and geodynamic evolution. [W:] Golonka J., Picha F.J. (red.), *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources*. AAPG Memoir, 84: 293–350.
- SELLEY R.C. 1998 – *Elements of Petroleum Geology*. Academic Press, London.
- SOWIŹDŹAŁ K., SŁOCZYŃSKI T., SOWIŹDŹAŁ A., PAPIERNIK B., MACHOWSKI G. 2020 – Miocene biogas generation system in the Carpathian Foredeep (SE Poland): A basin modeling study to assess the potential of unconventional mudstone reservoirs. *Energies*, 13 (7): 1838; <https://doi.org/10.3390/en13071838>
- SZAFRAN S., WAGNER M. 2000 – Geotektoniczne przyczyny zmian średniej refleksyjności huminitu/witrynitów uwęglonego materiału organicznego w osadach miocenu wschodniej części zapadliska przedkarpaciego [Geotectonic causes of changes in mean reflectance of huminit/vitrinite coalified organic material in Miocene sediments of eastern part of Carpathian Foredepth]. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo*, 246: 517–532.
- TAYLOR G.H., TEICHMÜLLER M., DAVIS A., DIESSEL C.F.K., LITTKER R., ROBERT P. 1998 – *Organic Petrology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- TISSOT B.P., WELTE D.H. 1984 – *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag, Berlin.

Praca wpłynęła do redakcji: 29.06.2026 r.

Akceptowano do druku: 16.07.2026 r.