

Wpływ procesów tektonicznych na dojrzałość termiczną materii organicznej w warstwach godulskich jednostki śląskiej w Karpatach Zachodnich

Marta M. Waliczek¹, Krzysztof Starzec¹, Grzegorz Machowski¹



M.M. Waliczek



K. Starzec



G. Machowski

The impact of tectonic processes on the thermal maturity of organic matter in the Godula Beds of the Silesian Unit in the Western Carpathians. *Prz. Geol.*, 73: 446–450; doi: 10.7306/2025.51

Abstract. The aim of the study was to investigate the impact of tectonic processes on the thermal maturity of organic matter (OM) in samples from the Godula Beds of the Silesian Unit in the Western Carpathians. Reflectance measurements of vitrinite were performed to assess the degree of OM transformation in areas affected by tectonic faulting. Vitrinite fragments in direct contact with the slickenside exhibited higher reflectance values and higher palaeotemperatures ($1VR_o \approx 1.20\%$; $T \approx 150^\circ\text{C}$) compared to fragments located away from the fault zone ($2VR_o \approx 1.00\%$; $T \approx 138^\circ\text{C}$).

Keywords: organic matter, vitrinite reflectance, Outer Carpathians

Zdolność odbicia światła wityryny (refleksyjność) jest powszechnie wykorzystywana do określenia dojrzałości termicznej materii organicznej (MO) rozproszonej w skałach osadowych (np. Taylor i in., 1998).

Proces przeobrażenia MO jest zjawiskiem nieodwracalnym i ściśle zależnym od temperatury (przegląd literatury m.in. w pracach: Burnhama i in. 2017; Schenka i in., 2017). Refleksyjność wityryny (VR_o %) wzrasta w sposób ciągły wraz ze wzrostem oddziałujących na skały temperatur i jest uznawana za jeden z bardziej dokładnych wskaźników przemian termicznych MO (np. Taylor i in., 1998). W związku z występującą korelacją pomiędzy VR_o a maksymalną paleotemperaturą oddziałującą na skały w czasie geologicznym, zdolność odbicia światła wityryny jest powszechnie wykorzystywana jako tzw. geotermometr (przegląd literatury m.in. w Waliczek i in., 2021).

W prezentowanej pracy, na podstawie pomiarów refleksyjności wityryny, podjęto próbę wyznaczenia różnicy w stopniu przeobrażenia MO znajdującej się na kontakcie lustra tektonicznego a MO nieobjętą bezpośrednim działaniem powierzchni uskoku. Materiałem badawczym były cztery próbki pobrane z warstw godulskich odsłaniających się w kamieniołomie na terenie zakładu Kamieniołom Surowców Skalnych Wisła S.A. w Wiśle. Dodatkowo pomiary VR_o [%] zostały przeliczone na maksymalne paleotemperature oddziałujące na analizowane skały. Pomierzono również zdolność odbicia światła stałych bituminów migrujących w obrębie powierzchni uskoku.

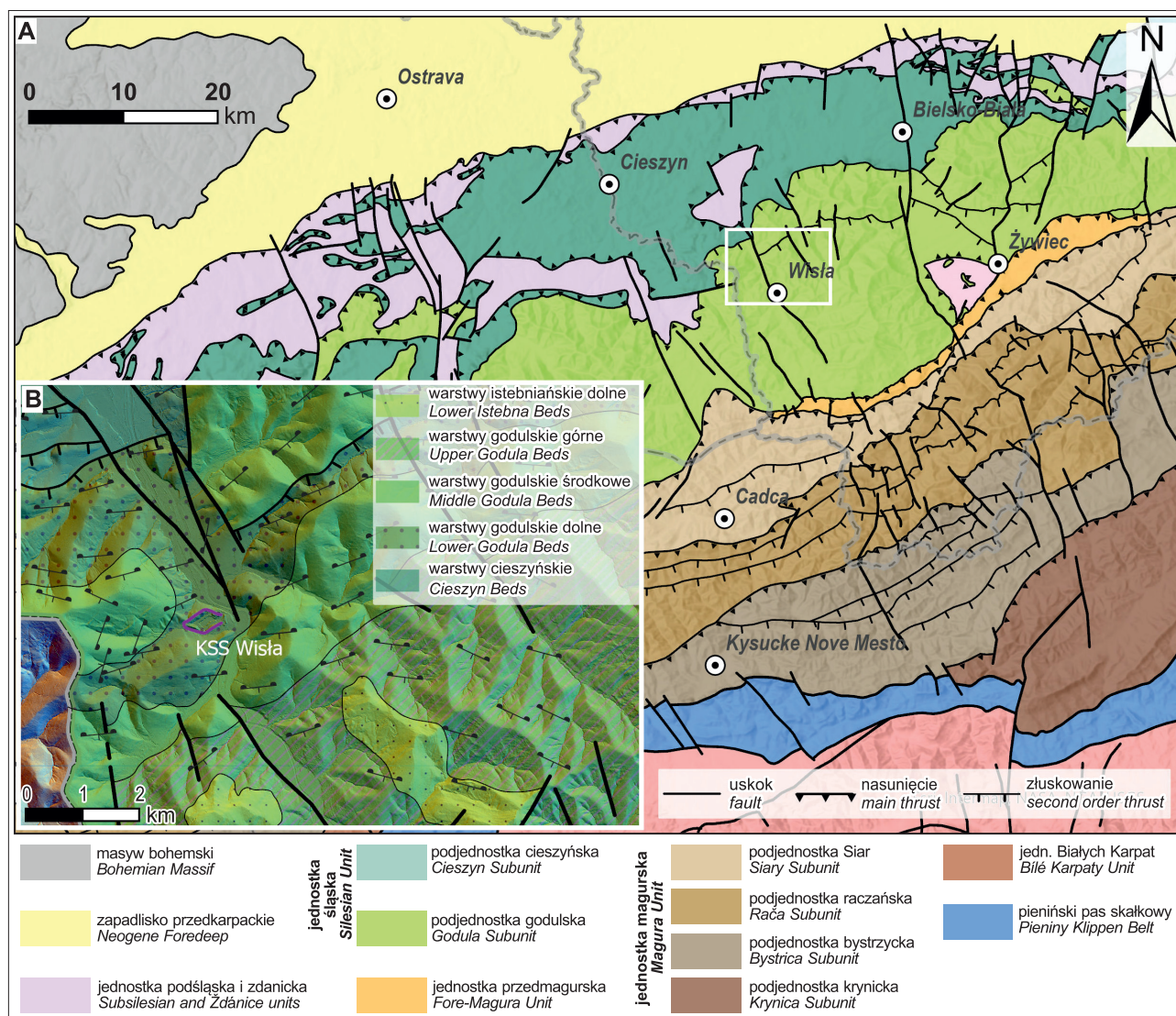
OBSZAR I MATERIAŁ BADAŃ

Próbki do badań pochodzą z warstw godulskich jednostki śląskiej z obszaru zachodniej części polskich Karpat zewnętrznych. W tej części Karpat jednostka śląska jest tradycyjnie dzielona na dwie strefy: cieszyńską i godulską

(ryc. 1A), uznawane za odrębne jednostki tektoniczne (np. Paul i in., 1996). Ta pierwsza jest zbudowana z jurajsko-wczesnokredowych formacji sukcesji śląskiej (warstwy cieszyńskie, wierzowskie, lgockie), natomiast na drugą składają się głównie formacje o przewadze piaskowców (warstwy godulskie i istebniańskie) wieku późnokredowego oraz młodsza część sukcesji śląskiej sięgająca oligoceńskich warstw krośnieńskich. Warstwy godulskie w tej części jednostki śląskiej cechują się najpełniejszym rozwojem, osiągając miąższość ok. 2200 m, są dzielone na trzy ogniwa: dolne (z przewagą piaskowców), środkowe (piaskowcowo-łupkowe) i górne (łupkowo-piaskowcowe) (ryc. 1B). Próbki do badań pochodzą z ogniwa dolnego.

Generalnie układ formacji skalnych w strefie (podjednostce) godulskiej ma charakter monoklinalny. Najstarsze utwory odsłaniają się w północnym, brzegowym obszarze podjednostki, ku południowi pojawiają się coraz młodsze ogniwa serii śląskiej, aż do warstw krośnieńskich, które rozciągają się bezpośrednio przed frontem nasunięcia przedmagurskiego (Barmuta i in., 2019). Deformacje o charakterze nasunięć występują w strefie brzegowej podjednostki, gdzie zaznaczają się struktury tektoniczne typu fałdów naduskokowych (*fault-propagation folds*) – ze stromo ustawionymi warstwami od strony frontu fałdu (*forelimb*) oraz łagodnie zapadającymi warstwami w jego zapleczu (*backlimb*) (ryc. 2A; Starzec i in., 2024). W skrzydłach frontowych fałdów pakiety cienkoławicowych warstw, pomiędzy pakietami gruboławicowych, są dodatkowo silnie zdeformowane (ryc. 2B). Łupki pochodzące z takich stref cechują się zlustrowaną powierzchnią na płaszczyznach oddzielności (ryc. 2C). Do badań pobrano próbki pochodzące z takich łupków oraz próbki z sąsiednich stref, w których łupki nie wykazywały zlustrowania.

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; kstarzec@agh.edu.pl; ORCID ID: 0000-0001-6538-5296; machog@agh.edu.pl; ORCID ID: 0000-0003-4589-0433



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań: **A** – mapa geologiczna zachodniej części Karpat (na pograniczu polsko-czesko-słowackim), białą ramką zaznaczono lokalizację obszaru przedstawionego na mapie B (na podstawie: Żytko i in., 1989; Ryłko, Paul, 1992; Lexa i in., 2000; Wójcik, Kamieniarz, 2018); **B** – mapa geologiczna rejonu Kopalni Surowców Skalnych *Wisła* (KSS *Wisła*), w którym pobrano próbki do badań (na podstawie: Nescieruk, Wójcik, 2001, zmieniona)

Fig. 1. Location of the study area: **A** – geologic map of the western part of the Carpathian Mountains (on the Polish-Czech-Slovak border), the white box marks the location of the area shown in map B (based on: Żytko et al., 1989; Ryłko, Paul, 1992; Lexa et al., 2000; Wójcik, Kamieniarz, 2018); **B** – geologic map of the area surrounding the KSS *Wisła* quarry where the samples for the study were collected (based on: Nescieruk, Wójcik, 2001, modified)

METODYKA BADAŃ

Badania mikroskopowe materii organicznej rozproszonej w analizowanych próbach przeprowadzono przy użyciu mikroskopu AxioImager A1m firmy Carl Zeiss, sprzężonego z zestawem fotometrycznym firmy J&M GmbH – MSP 200 umożliwiającym pomiar refleksyjności materii organicznej. Pomiar refleksyjności wykonano na wypolerowanych, zgodnie ze wskazaniem ASTM (2015), fragmentach skalnych wg procedury opisanej przez ASTM (2011).

Pomiar refleksyjności wykonano na bituminach ziarnistych (BzR_o), bituminach homogenicznych (SBR_o), wityrnicie ($1VR_o$ – pomiar poza bezpośrednim obszarem oddziaływania uskoku, i $2VR_o$ – pomiar obejmujący obszar oddziaływania uskoku-lustra tektonicznego).

Maksymalne paleotemperature oddziałujące na badane skały zostały oszacowane przy użyciu wzoru Barkera i Pawlewicza (1994).

Analizę mikroskopową przeprowadzono w świetle odbitym białym (identyfikacja macerałów z grupy wityrnicie i inertynite) oraz w świetle niebieskim (identyfikacja macerałów z grupy liptyrnicie). Klasyfikacja MO została przyjęta na podstawie ICCP (1998; 2001; Pickel i in., 2017) oraz TSOP i ICCP (Stasiuk i in., 2002). Dla stałych bituminów została zastosowana klasyfikacja proponowana przez Landisa i Castaño (1995).

Mikrofotografie materii organicznej zostały wykonane przy użyciu kamery cyfrowej AxioCamMRC 5 obsługiwanej przez oprogramowanie AxioVision firmy Carl Zeiss przy zastosowaniu obiektywu imersyjnego o powiększeniu $50\times$.



Ryc. 2. Dolne ogniwo warstw godulskich w KSS *Wisła*: **A** – geometria fałdu w zachodniej ścianie kominiełomu charakterystyczna dla fałdów typu fault-propagation fold, **B** – stromo ustawione warstwy w skrzydle frontowym fałdu z silnie zdeformowaną strefą cienkoławicowego pakietu piaskowcowo-lupkowego (po prawej stronie zdjęcia), **C** – fragment łupka o silnie zlustrowanej powierzchni
Fig. 2. The lower Godula Beds outcropped in the KSS *Wisła* quarry: **A** – fault-propagation fold geometry of the fold in the western wall of the quarry, **B** – steeply aligned strata in the front limb of the fold with a strongly deformed zone of the thin-layered sandstone-shale package (on the right side of the photo), **C** – shale fragment with a strongly glossy surface

WYNIKI BADAŃ

Pomiar refleksyjności materii organicznej

Dla wszystkich analizowanych próbek wykonano średni pomiar refleksyjności na fragmentach bituminów ziarnistych BzR_o [%] oraz bituminów homogenicznych SBR_o [%]. Dla dwóch próbek (nr 3 i 4) wykonano jednocześnie pomiar refleksyjności wityrynytu $1VR_o$ i $2VR_o$ [%], (tab. 1). Ponadto dla dwóch różnych próbek wykonano pomiar refleksyjności na wityrynicie nie znajdującym się w bezpośrednim kontakcie z lustrem tektonicznym (próbka nr 1) oraz na wityrynicie występującym w bezpośrednim kontakcie oddziaływania uskoku (próbka nr 2).

Pomierzone dla czterech analizowanych próbek wartości refleksyjności zawierają się w przedziałach: od 0,59 do 0,64% dla bituminów ziarnistych (BzR_o); 0,82 do 0,90% dla stałych bituminów homogenicznych (SBR_o); od 1,02 do 1,05% dla fragmentów wityrynytu nie znajdujących się

w bezpośrednim kontakcie z powierzchnią uskoku ($1VR_o$); od 1,19 do 1,23% dla fragmentów wityrynytu znajdujących się w bezpośrednim kontakcie z powierzchnią uskoku ($2VR_o$) (tab. 1).

Paleotemperature oszacowane na podstawie wskaźników refleksyjności wityrynytu $1VR_o$ i $2VR_o$ przy użyciu przelicznika zaproponowanego przez Barkera i Pawlewicza (1994) zawierają się odpowiednio w przedziałach od 137 do 139°C i od 149 do 152°C.

Różnica w stopniu odbicia światła wityrynytu występującego w bezpośrednim kontakcie z lustrem tektonicznym ($2VR_o$), a wityrynytu oddalonego od miejsca styczności z uskokiem tektonicznym ($1VR_o$) wynosi 0,18%, natomiast różnica maksymalnych temperatur oddziałujących na fragmenty wityrynytu oszacowana na podstawie wskaźników $1VR_o$ i $2VR_o$ przy użyciu wzoru Barkera i Pawlewicza (1994) wynosi 13°C.

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

Próbka Sample	BzR ₀ [%]	n	std	SBR ₀ [%]	n	std	1VR ₀ [%]	n	std	Ta [°C]	2VR ₀ [%]	n	std	Tb [°C]	V2R ₀ / 1VR ₀ [%]	Tb/Ta [°C]
1	0,59	18	0,06	0,82	18	0,06	1,05	39	0,06	139	–	–	–	–	–	–
2	0,62	18	0,08	0,82	52	0,07	–	–	–	–	1,19	29	0,06	149	–	–
3	0,63	3	0,01	0,86	12	0,06	1,05	12	0,04	139	1,23	15	0,02	152	0,18	13
4	0,64	6	0,09	0,90	5	0,01	1,02	31	0,03	137	1,20	32	0,06	150	0,18	13

BzR₀ – uśredniona wartość pomiarów refleksyjności wykonany na bituminach ziarnistych / *mean granular bitumen reflectance*;

SBR₀ – uśredniona wartość pomiarów wykonanych na bituminach homogenicznych / *mean homogeneous solid bitumen reflectance*;

n – liczba pomiarów / *number of measurements*;

std – odchylenie standardowe / *standard deviation*;

1VR₀ – uśredniona wartość pomiarów wykonanych na wityrynicie nie będącym w bezpośrednim kontakcie oddziaływania uskoku / *mean vitrinite reflectance away from the slickenside surface*;

Ta – maksymalna temperatura oddziałująca na badany osad oszacowana na podstawie wskaźnika 1VR₀ przy użyciu wzoru

$T = (\ln(1VR_0) + 1,68) / 0,0124$ (Barker, Pawlewicz, 1994) / *palaeotemperature calculated from 1VR₀ based on Barker and Pawlewicz's (1994) equation*

$T = (\ln(1VR_0) + 1,68) / 0,0124$;

2VR₀ – pomiar refleksyjności wykonany na wityrynicie będącym w bezpośrednim kontakcie oddziaływania uskoku / *mean vitrinite reflectance from the slickenside surface*;

Tb – maksymalna temperatura oddziałująca na badany osad oszacowana na podstawie wskaźnika 2VR₀ przy użyciu wzoru

$T = (\ln(2VR_0) + 1,68) / 0,0124$ (Barker, Pawlewicz, 1994) / *palaeotemperature calculated from 2VR₀ based on Barker and Pawlewicz's (1994) equation*

$T = (\ln(2VR_0) + 1,68) / 0,0124$;

2VR₀/1VR₀ – różnica pomiaru refleksyjności wityrynitę będącego w bezpośrednim kontakcie oddziaływania uskoku (2VR₀) i wityrynitę będącego poza bezpośrednim kontaktem oddziaływania uskoku (1VR₀) / *difference between 2VR₀ and 1VR₀ values*;

Tb/Ta – różnica maksymalnych temperatur oszacowanych na podstawie wskaźnika 2VR₀ i 1VR₀ przy użyciu wzoru Barkera i Pawlewicza (1994) / *difference between Tb and Ta values*.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W przeprowadzonych badaniach oceniono wpływ procesów tektonicznych na dojrzałość termiczną MO w próbkach pobranych z warstw godulskich jednostki śląskiej w Karpatach Zachodnich. Pomiary refleksyjności wityrynitę wykazały różnice w stopniu przeobrażenia MO w strefach wpływu uskoku tektonicznego. Fragmenty wityrynitę znajdujące się w bezpośrednim kontakcie z lustrem tektonicznym charakteryzowały się wyższymi wartościami refleksyjności oraz wskazywały na oddziaływanie wyższych paleotemperatur w porównaniu do fragmentów oddalonych od uskoku.

Prezentowane w pracy wyniki badań uzyskano w ramach realizacji prac badawczych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH (nr 16.16.140.315). Autorzy dziękują recenzentce dr hab. Katarzynie Jarmołowicz-Szulc za merytoryczne wskazówki, które przyczyniły się do poprawy manuskryptu i wydania go w tej formie.

LITERATURA

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

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.

BARMUTA J., MIKOŁAJCZAK M., STARZEC K. 2019 – Constraining depth and architecture of the crystalline basement based on potential field

analysis – the westernmost Polish Outer Carpathians. Journal of Geosciences (Czech Republic), 64 (3): 161–177.

BURNHAM A.K., KENNETH E. P., SCHENK O. 2017 – Evolution of Vitrinite Reflectance Models. AAPG Annual Convention and Exhibition 2016, Calgary, Kanada, June 19–22, 2016; http://www.searchanddiscovery.com/documents/2017/41982burnham/ndx_burnham.pdf

INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL AND ORGANIC PETROLOGY (ICCP) 1998 – The new vitrinite classification (ICCP System 1994). Fuel, 77: 349–358.

INTERNATIONAL COMMITTEE FOR COAL AND ORGANIC PE-TROLOGY (ICCP) 2001 – The new inertinite classification (ICCP System 1994). Fuel, 80: 459–471.

LANDIS C.R., CASTAÑO J.R. 1995 – Maturation and bulk chemical properties of a suite of solid hydrocarbons. Organic Geochemistry, 22: 137–149.

LEXA J., BZÁK V., ELEČKO M., MELLO J., POLÁK M., POTFAJ M., VOZÁR J. 2000 – Geological map of the Western Carpathians and adjacent areas, 1 : 500,000. Ministerstvo Životného Prostredia Slovenskej Republiky, Bratislava.

NESCIERUK P., WÓJCIK A. 2004 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski, 1 : 50 000, ark. Cieszyn. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

PAUL Z., RYŁKO W., TOMAŚ A. 1996 – Geological structure of the western part of the Polish Carpathians. Geological Quarterly, 40: 501–520.

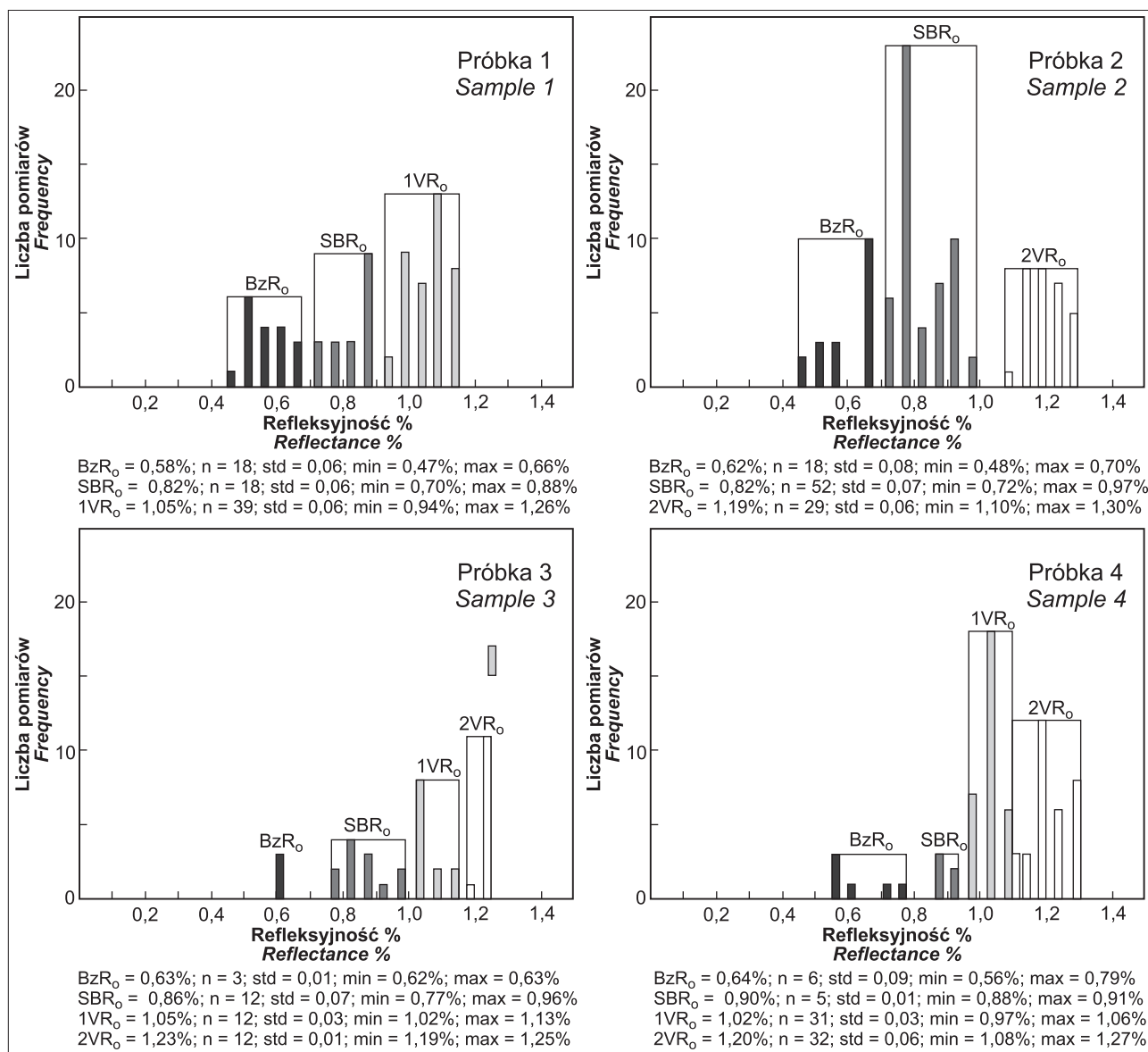
PICKEL W., KUS J., FLORES D., KALAITZIDIS S., CHRISTANIS K., CARDOTT B.J., MISZ-KENNAN M., RODRIGUES S., HENTSCHEL A., HAMORVIDO M., CROSDALE P., WAGNER N. 2017 – Classification of liptinite – ICOP System 1994. International Journal of Coal Geology 169: 40–61.

RYŁKO W., PAUL Z. 1992 – Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 200 000, ark. Cieszyn. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

SCHENK O., BIRD K., PETERS K., BURNHAM A. 2017 – Sensitivity Analysis of Thermal Maturation of Alaska North Slope Source Rocks Based on Various Vitrinite Reflectance Models. AAPG/SEG International Conference and Exhibition, London, England, October 15–18, 2017; http://www.searchanddiscovery.com/documents/2018/42167schenk/ndx_schenk.pdf

STARZEC K., BARMUTA J., RATSCHBACHER L., SEYEDI S.A., 2024 – Stop 5 – Wisła quarry – siliciclastic flysch (upper Cretaceous). [W:] Krobicki M. (red.), Field trip – Outer Flysch Carpathians, Pieniny Klippen Belt (PKB), and Tatra Mountains, Geotourism, 21: 76–77.

STASIUK L.D., BURGESS J., THOMPSON-RIZER C., HUTTON A., CARDOTT B. 2002 – Status report on TSOP-ICCP dispersed organic matter classification working group. The Society for Organic Petrology



Ryc. 3. Histogramy pomiarów refleksyjności materii organicznej
Fig. 3. Histograms of organic matter reflectance measurements

Newsletter, 14 19 (3); http://tsop.org/newsletters/1999_2002.pdf (Accessed December 21, 2015)
 TAYLOR G.H., TEICHMÜLLER M., DAVIS A., DIESSEL C.F.K., LITKE R., ROBERT P. 1998 – Organic Petrology. Gerbrüder Bornträger, Berlin, Germany.
 WALICZEK M., MACHOWSKI G., POPRAWA P., ŚWIERCZEWSKA A., WIĘCŁAW D. 2021 – A novel VR_o, Tmax, 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.coa.1.2020.103672>
 WÓJCIK A., KAMIENIARZ S. 2018 – Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 200 000, ark. Bielsko Biała. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

ŻYTKO K., GUCIK S., OSZCZYPKO N., ZAJĄC R., GARLICKA I., NEMČOK J., ELIAŠ M., MENČIK E., DWORAK J., STRANIK Z., RAKUŠ M., MATEJOVSKA O. 1989 – Geological map of the Western Outer Carpathians and their foreland without Quaternary formations. [W:] Poprawa, D., Nemčok, J. (red.), Geological Atlas of the Western Carpathians and their Foreland. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 13.03.2025 r.
 Akceptowano do druku 27.03.2025 r.