

Krażenie płynów w skałach okruchowych: studium przypadku piaskowców krośnieńskich z rejonu Berezek (Bieszczady Wysokie)

Marek L. Solecki¹, Marta M. Waliczek²



M.L. Solecki



M.M. Waliczek

Fluid circulation in clastic rocks: a case study of the Krosno sandstones from the Berezki region (The High Bieszczady Mountains). *Prz. Geol.*, 71: 227–230; doi: 10.7306/2023.19

Abstract. In this study, microscopic analysis was applied to investigate fluid flow in the Oligocene shale and sandstone samples from the Krosno Beds (Silesian Nappe, Outer Carpathians) in the Berezki outcrop. Analysis of calcite generation in veins and reflectance of organic matter measurements were done. Three generations of calcite were observed, indicating three stages of fluid migration along the veins in sandstones. Moreover, oil droplets and solid bitumen migration were seen during microscopic analyses. Thermal maturity based on vitrinite reflectance measurements indicates mature organic matter to hydrocarbon generation.

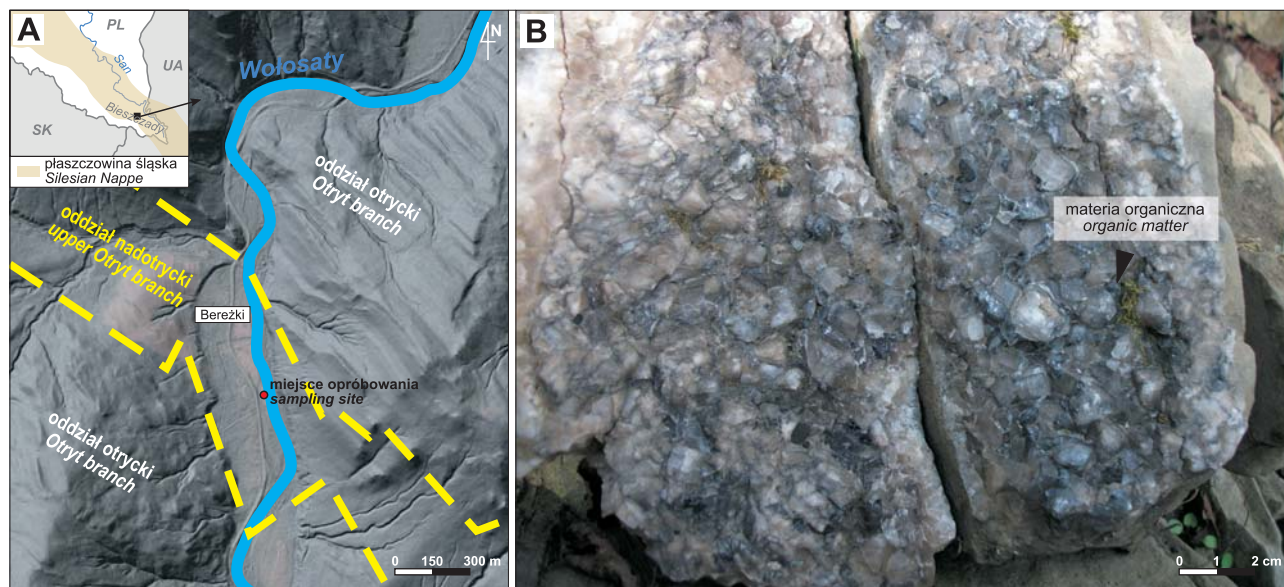
Keywords: organic matter, vitrinite reflectance, calcite, Silesian Nappe, Outer Carpathians

Karpaty od wielu lat stanowią teren poszukiwań naftowych. W dalszym ciągu trwa tu eksploatacja złóż ropy naftowej i gazu ziemnego, a perspektywiczność tego obszaru jest znaczna. Jednym z głównych poziomów zbiornikowych w Karpatach są piaskowce krośnieńskie wieku oligocenońskiego (Karnkowski, 1999; Wagner, 2008).

Niejednokrotnie na powierzchni terenu są znajdowane wycieki bądź ślady migracji węglowodorów w postaci bituminów w stanie stałym (Haczewski i in., 2007; Jarmolowicz-Szulc i in., 2012; Matyasik i in., 2015a; Matyasik, Bieleń, 2023). Obecność ropy naftowej może się również ujawnić w postaci plam pokrywających powierzchnie spe-

kań (zwykle skał o niskiej przepuszczalności), a w większych szczelinach plamy ropy pokrywają nawarstwienia kalcytu (Matyasik i in., 2015b). Na tej podstawie można odtworzyć historię przepływu węglowodorów w skałach, co przyczynia się do lepszego poznania genezy ich powstania.

Badania prowadzono w odsłonięciu cienkoławicowych warstw krośnieńskich, w Bieszczadach (rejon wsi Berezki), w dolinie potoku Wołosatego będącego lewym dopływem Sanu (ryc. 1). Celem badań była analiza przepływu fluidów z naciskiem na datowanie migracji węglowodorów w piaskowcach krośnieńskich i szczelinach tektonicznych



Ryc. 1. A – mapa lokalizacyjna opróbowanego odsłonięcia (49.1350°N, 22.6699°E), budowa geologiczna wg Haczewskiego i in. (2001), **B** – zdjęcie żyły kalcytowej w odsłonięciu Berezki z widoczną materią organiczną

Fig. 1. A – location of sampling site (49.1350°N, 22.6699°E) geological setting after Haczewski et al. (2001), **B** – photo of calcite vein in Berezki outcrop with organic matter

¹ 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

² 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

(względem kolejnych etapów wytrącania kalcytu w żyłach). Dodatkowo wykonano pomiary refleksyjności materii organicznej w celu określenia jej dojrzałości termicznej. Wykorzystano metody pomiarów strukturalnych w terenie oraz metody mikroskopowe.

BUDOWA GEOLOGICZNA

Rejon badań znajduje się w obrębie centralnej depresji karpackiej, będącej częścią płaszczowiny śląskiej (Żelaźniewicz i in., 2011). Występuje tu gruba na 3500 m pokrywa oligoceńskich warstw krośnieńskich. Dzieli się ona na dwie części: północną oraz południową.

W profilu warstw krośnieńskich wyróżnia się trzy oddziały: podotrycki, otrycki i nadotrycki (ryc. 2) (Żyto, 1968). Oddział podotrycki tworzą głównie cienko- i średnioławicowe piaskowce i mułowce, z występującymi na przemian warstwami łupków. Miąższość tego oddziału to ok. 500 m. Oddział otrycki jest zbudowany z pakietów piaskowców otryckich – gruboławicowych piaskowców tworzących ławice od jednego do kilku metrów miąższości oraz łupków szarych cienkoławicowych i średnioławicowych (Haczewski i in., 2016). Miąższość oddziału otryckiego sięga do 2000 m. Oddział nadotrycki budują cienkoławicowe bardzo drobnoziarniste piaskowce i łupki. Jedynie w górnej części profilu znajdują się dwa grube pakiety piaskowców gruboławicowych (Tokarski, 1975; Haczewski i in., 2007). Maksymalna łączna miąższość oddziałów otryckiego i nadotryckiego wynosi ok. 3000 m.

W tektonice badanego obszaru wydzielono trzy fałdy, dla których (od S ku N) przyjęto następujące nazwy (Tokarski, 1975; Haczewski i in., 2016): synklina Ustrzyk Górnych, antyklina Połonin, synklina Terebowca, antyklina Zatwarnicy, synklina Sanu. Jądra synklin są zbudowane głównie ze skał oddziału nadotryckiego, natomiast w jądrach antyklin występują skały oddziału podotryckiego. W części jądrowej fałdy Suchych Rzek (antyklina Połonin) wys-

tępują lokalnie warstwy przejściowe. Rozciągłości fałdów to NW–SE.

Odsłonięcie Berezki znajduje się w synklinie Terebowca, w pobliżu wsi Berezki, na lewym brzegu potoku Wołosatego. Odsłania się tam cienkoławicowy flisz (oddział nadotrycki) o miąższościach poszczególnych ławic piaskowców i łupków dochodzących do 20 cm. Piaskowce te są licznie przecinane uskokami oraz ciosem, miejscami można zauważyć mineralizację kalcytową.

METODYKA BADAŃ

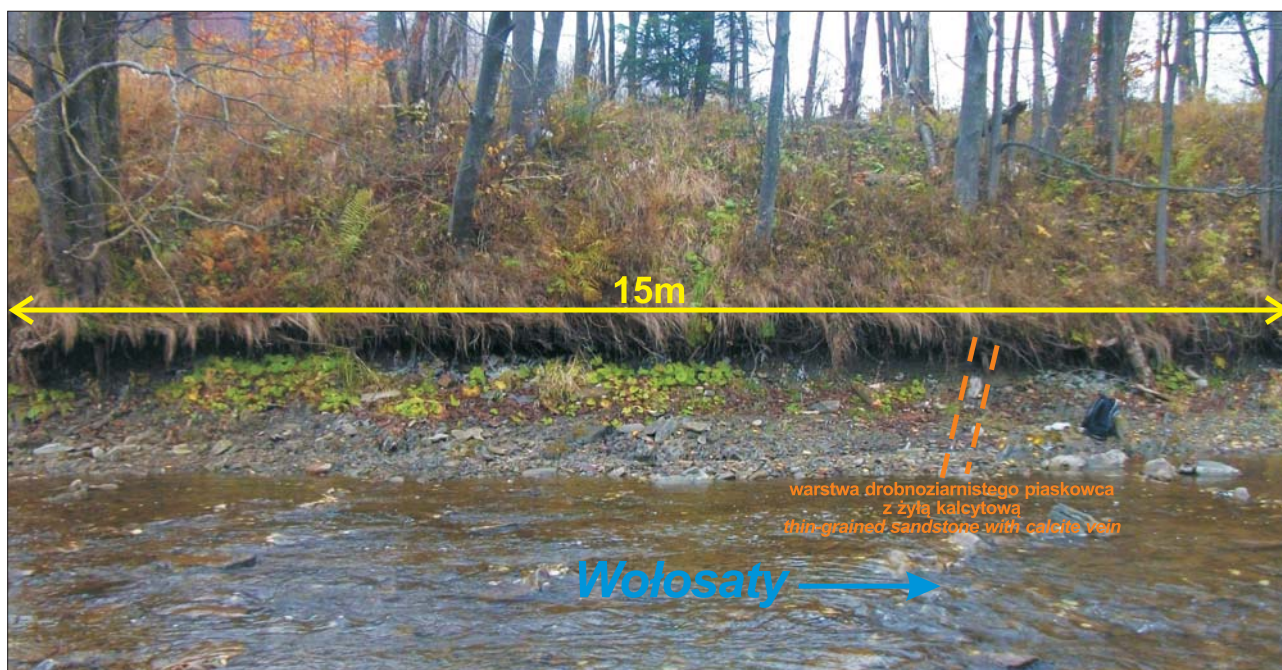
Badania strukturalne w terenie

Terenowe badania strukturalne były prowadzone za pomocą kompasu geologicznego Freiberg, którym pomierzono kąty upadu i biegu warstw piaskowców i łupków. Następnie, bezpośrednio z odsłonięcia, pobrano siedem próbek skał do dalszych badań. Opróbowano 12-metrowy kompleks fliszowy.

Analiza mikroskopowa

Analizę wykonano przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego AxioImager A1m firmy Carl Zeiss. Przeanalizowano składniki mineralne oraz organiczne. W pierwszym etapie na płytkach cienkich, w świetle przechodzącym określono skład mineralny piaskowców oraz przyporządkowano im nazwę zgodnie z klasyfikacją Pettijohna i in. (1987). Do obliczenia wskaźników uziarnienia wykorzystano wzory Folka i Warda (1957). Ponadto w katodoluminescencji datowano proces migracji węglowodorów względem wytrącania różnych generacji kalcytu występującego w szczelinach tektonicznych (Sikorska, 2005). Rodzaje kalcytu przedstawiono wg klasyfikacji Bona (2000).

Kolejnym etapem prac była analiza mikroskopowa materii organicznej rozproszonej w badanych próbkach pia-



Ryc. 2. Odsłonięcie cienkoławicowych warstw krośnieńskich (oddział nadotrycki) w Berezkach
Fig. 2. Thin-bedded Krosno beds outcrop (upper Otryt branch) in Berezki

skowców i łupków. Przy zastosowaniu zestawu fotometrycznego firmy J&M GmbH – MSP 200, sprzężonego z mikroskopem, wykonano pomiar refleksyjności witrynu oraz stałych bituminów i oznaczono odpowiednio symbolami VR_0 i BR_0 [%]. Pomiary przeprowadzono na wypolerowanych, zgodnie ze wskazaniem ASTM (2015), fragmentach skalnych wg procedury opisanej przez ASTM (2011). Obserwacje mikroskopowe były przeprowadzone w świetle odbitym białym oraz UV. Dodatkowo wykonano zdjęcie materii organicznej przy użyciu aparatu AxioCam MRc5 firmy Carl Zeiss, stosując obiektyw immersyjny o 50-krotnym powiększeniu.

WYNIKI BADAŃ

Warstwy nadotryckie w odsłonięciu Bereżki zalegają w kierunku NE pod kątem 75° (parametry zalegania 60/75), natomiast badana żyła zalega w kierunku SE pod kątem 45° (parametry zalegania 155/45). Pokrywa się to z ułożeniem występujących lokalnie w tej strefie uskoków (Haczewski i in., 2001). Poddane analizie petrograficznej skały są piaskowcami drobnoziarnistymi. Średnia średnica ich ziarn wynosi 0,05–0,06 mm. Wskaźnik wysortowania waha się między $0,72\phi$ a $0,81\phi$, co wskazuje na umiarkowane wysortowanie materiału. Skały te zakwalifikowano do wak sublitycznych. Porowatość skał jest niska i wynosi do 1%.

Badania mikroskopowe dały możliwość wydzielenia trzech generacji kalcytu krystalizującego w żyłach. Kryształy kalcytu najstarszej generacji, osiągające rozmiary do 0,3 mm, narastają bezpośrednio na skałę otaczającą. Charakteryzują się występowaniem zbliźniaczeń. W katodoluminescencji kalcyt ten świeci na ciemnopomarańczowy kolor. Kryształy drugiej generacji kalcytu osiągają wielkość do 1 cm, wykazują również zbliźniaczenia. W katodoluminescencji widoczne są zarysy budowy strefowej (jasno- i ciemnopomarańczowe). Kryształy najmłodszej generacji są nieduże, o wielkości do 1 mm, bez zbliźniaczeń. Narastają one bezpośrednio na ziarnach generacji drugiej, w katodoluminescencji ich barwa jest jasnopomarańczowa. Na granicy kryształów najmłodszej generacji

z generacją drugą występują strefy z inkluzjami węglowodorowymi.

Pomiar refleksyjności witrynu (ryc. 3B) w dwóch próbkach łożców wynosi 0,55 i 0,57%, natomiast dla piaskowców zawiera się w przedziale od 0,54 do 0,60%. Zdolność odbicia światła stałych bituminów (ryc. 3B) została pomierzona dla trzech próbek piaskowców i wynosi od 0,44 do 0,48% (tab. 1). Podczas obserwacji mikroskopowych zauważono występowanie objawów węglowodorów w postaci kropelek ropnych (ryc. 3A) oraz stałych bituminów.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

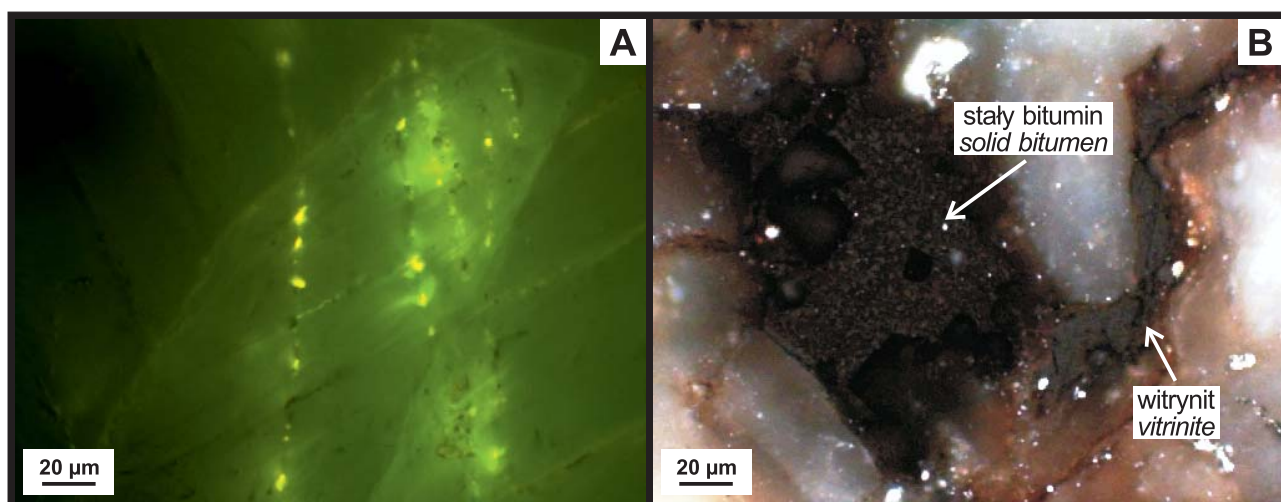
Przedstawione wyniki badań dostarczają informacji na temat migracji płynów w skałach oddziały nadotryckiego warstw krośnieńskich występujących w dolinie potoku Wołosatego w Bieszczadach. Żyły kalcytowe (kalcyt druzowy) występujące w odsłonięciu Bereżki są związane bezpośrednio z siecią spękań ciosowych, a także z drobnymi uskokami.

Na podstawie analiz przeprowadzonych w odsłonięciu w Bereżkach można przyjąć następujący schemat przepływu roztworów przez skały:

stałe bituminy (pory w skałach) → kalcyt I →
kalcyt II → stałe bituminy (w żyłach) → kalcyt III.

Występowanie zbliźniaczeń w pierwszych dwóch generacjach wskazuje na deformacje tektoniczne, jakim podlegała skała w trakcie krystalizacji roztworów, a także na temperaturę roztworów ok. 200°C (Ferrill i in., 2004). Trzecia generacja jest pozbawiona zbliźniaczeń, co może wskazywać na krystalizację z roztworów o temperaturach niższych, a także niższe naprężenia, jakimi była poddana skała (Borkowska, Smulikowski, 1973). Jaśniejsza barwa kryształów trzeciej generacji w katodoluminescencji świadczy również o odrębności tej generacji.

Migracja węglowodorów została także potwierdzona podczas analizy mikroskopowej materii organicznej rozproszonej w skałach. Wskazywać na nią mogą występujące



Ryc. 3. Mikrofotografie materii organicznej analizowanych skał. **A** – próbka Ber3, kropelki ropy fluoryzujące na żółto w szczelinach kalcytu, wykonano w świetle UV, w imersji olejowej; **B** – próbka Ber5, wykonano w świetle odbitym białym, w imersji olejowej
Fig. 3. Microphotographs of organic matter dispersed in analysed rocks. **A** – sample Ber3, yellow fluorescent oil droplets in calcite veins, UV light, oil immersion; **B** – sample Ber5, reflected white light, oil immersion

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

Próbka Sample	Litologia Lithology	Średnia wartość refleksyjności wityrynytu Average vitrinite reflectance value VR ₀ [%]	Liczba pomiarów Number of measurements	Odchylenie standardowe Standard deviation	Zakres refleksyjności wityrynytu Vitrinite reflectance range VR ₀ [%]	Średnia wartość refleksyjności stałych bituminów Average solid bitumen reflectance value BR ₀ [%]	Liczba pomiarów Number of measurements	Odchylenie standardowe Standard deviation	Zakres refleksyjności stałych bituminów Solid bitumen reflectance range BR ₀ [%]
Ber1	iłowiec claystone	0,57	37	0,04	0,52–0,65	–	–	–	–
Ber2	iłowiec claystone	0,55	69	0,04	0,49–0,62	–	–	–	–
Ber3	piaskowiec sandstone	0,54	73	0,03	0,47–0,60	–	–	–	–
Ber4	piaskowiec sandstone	0,56	69	0,03	0,49–0,62	–	–	–	–
Ber5	piaskowiec sandstone	0,60	59	0,06	0,52–0,69	0,48	6	0,02	0,44–0,50
Ber6	piaskowiec sandstone	0,55	62	0,04	0,50–0,62	0,48	3	0,01	0,48–0,50
Ber7	piaskowiec sandstone	0,59	65	0,04	0,52–0,66	0,44	17	0,03	0,41–0,48

w szczelinach kalcytowych krople ropy oraz obecność w analizowanych piaskowcach stałych bituminów.

Dojrzałość termiczna materii organicznej wyznaczona na podstawie wskaźnika refleksyjności wityrynytu wskazuje na występowanie w analizowanych skałach dojrzałej do generowania węglowodorów materii organicznej, znajdującej się w początkowym stadium „okna ropnego”.

Autorzy składają podziękowania recenzentom – Pani prof. Katarzynie Jarmołowicz-Szulc oraz Panu dr. Grzegorzowi Leśniakowi – za cenne wskazówki i konstruktywne uwagi. Wyrazy wdzięczności kierujemy do Dyrekcji Bieszczadzkiego Parku Narodowego za wyrażenie zgody na prowadzenie badań i pobór próbek. Prezentowane w pracy wyniki badań uzyskano w ramach realizacji prac badawczych Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH (nr 16.16.190.779) oraz Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH (nr 16.16.140.315).

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, Pennsylvania; <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

BONS P. 2000 – The formation of veins and their microstructures. [W:] Jes-sell M., Urai J. (red.), Stress, Structure and Strain: a volume in honor of Win D. Means. J. Virtual Explorer, 2 (4); doi: 10.3809/jvirtex.2000.00007

BORKOWSKA M., SMULIKOWSKI K. 1973 – Minerale skałotwórcze. Wydaw. Geol., Warszawa: 106–108.

FERRILL D.A., MORRIS A.P., EVANS M.A., BURKHARD M., GROSHONG JR. R.H., ONASCH C.M. 2004 – Calcite twin morphology: a low temperature deformation geothermometer. J. Structural Geol., 26 (8): 1521–1529.

FOLK R.L., WARD W.C. 1957 – Brazos River bar: a study in the significance of grains size parameters. J. Sedim. Petrol., 27: 3–26.

HACZEWSKI G., BĄK K., KUKULAK J., MASTELLA L., RUBIN-KIEWICZ J. 2001 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski, ark. Ustrzyki Górne (1068). Państw. Inst. Geol., Warszawa.

HACZEWSKI G., BĄK K., KUKULAK J., MASTELLA L., RUBIN-KIEWICZ J. 2016 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski, ark. Ustrzyki Górne (1068). Państw. Inst. Geol., Warszawa: 61.

HACZEWSKI G., KUKULAK J., BĄK K. 2007 – Budowa geologiczna i rzeźba Bieszczadzkiego Parku Narodowego. Akad. Pedagog. im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Pr. Monograf., 468: 9–23.

JARMOŁOWICZ-SZULC K., KARWOWSKI Ł., MARYNOWSKI L. 2012 – Fluid circulation and formation of minerals and bitumens in the sedimentary rocks of the Outer Carpathians – Based on studies on the quartz-calcite-organic matter association. Mar. Petrol. Geol., 32: 138–158.

KARNKOWSKI P. 1999 – Oil and Gas Deposits in Poland. The Geosynoptics Society „GEOS” – University of Mining and Metallurgy, Cracow: 35.

MATYASIK I., BIELEŃ W. 2023 – Nowe spojrzenie na występowanie naturalnych wycieków węglowodorowych w Karpatach. Wiad. Naft. Gaz., 289: 4–9.

MATYASIK I., JANKOWSKI L., LEŚNIAK G. 2015b – Stop 3. Bandy, wschodni dopływ potoku Królówka, wypływ ropy (aspekt przyrodniczy). [W:] Praca zbiorowa. Przewodnik – warsztaty terenowe. Wybrane aspekty systemu naftowego a nowe spojrzenie na geologię Karpat. 22–25.09.2015 r., Kraków-Polańczyk. INiG: 30–42.

MATYASIK I., LEŚNIAK G., SUCH P. 2015a – Elementy systemu naftowego Karpat. Pr. INiG, 203.

PETTIJOHN F.J., POTTER P.E., SIEVER R. 1987 – Sand and sandstone. Springer Verlag, Heidelberg.

SIKORSKA M. 2005 – Badania katodoluminescencyjne minerałów. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

TOKARSKI A.K. 1975 – Geologia i geomorfologia okolic Ustrzyk Górnych (Polskie Karpaty Wschodnie). Stud. Geol. Pol., 48: 11–35.

WAGNER R. 2008 – Tabela stratygraficzna Polski. Karpaty. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

ŻYTKO K. 1968 – Budowa geologiczna Karpat pomiędzy dorzeczem Strwiąża a Wetliną w Bieszczadach. Narod. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Oddz. Karpacki, Kraków.

ŻELAZNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P., BUŁA Z., KARNKOWSKI P.H., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĄCZKA A., ŻABA J., ŻYTKO K. 2011 – Regionalizacja tektoniczna Polski. Kom. Nauk. Geol. PAN, Wrocław.

Praca wpłynęła do redakcji 5.04.2023 r.
 Akceptowano do druku 24.04.2023 r.