

## Blaski i cienie badań inkluzji fluidalnych w skałach z obszaru Polski

Katarzyna Jarmołowicz Szulc<sup>1</sup>



**Flashes and shadows of fluid inclusion studies in minerals from the rocks of Poland.** *Prz. Geol.*, 73: 381–385; doi: 10.7306/2025.39

*A b s t r a c t.* Fluid inclusion (FI) studies in minerals from different rocks from the Carpathians and the other regions of Poland have been conducted for over thirty years. The minerals under studies (mostly quartz, carbonates, anhydrite, fluorite) build the sedimentary rocks and constitute their cements, being at present localized either at the surface, or in boreholes. Apart from the technological preparing, fluid inclusion analyses comprised "fluid inclusion petrography" and microthermometric measurements. They resulted in homogenization, ice melting and eutectic temperature values, which were later recalculated using standard FI computing methods. The final results, such as the characteristics of fluids filling the inclusions, trapping and pressure–temperature conditions, are widely discussed and interpreted from a diagenetic and genetic point of view.

**Keywords:** fluid inclusions, microthermometry, Carpathians, Polish Lowlands

Inkluzje fluidalne wypełniają przestrzenie porowe lub spekania i szczeliny w minerałach, np. w kwarcu, kalcycie, fluorycie czy anhydrycie, występujących w skałach różnego wieku. Na podstawie wyników badań inkluzji fluidalnych można wyciągać istotne wnioski odnośnie krążenia fluidów oraz genezy minerałów i bituminów w basenach osadowych Polski.

### BADANIA INKLUZJI W PIG-PIB – WCZORAJ I DZIŚ

Początek badań inkluzji fluidalnych w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) można datować na rok 1993, kiedy to została kupiona specjalistyczna aparatura badawcza *Fluid Inc. System*, skomunikowana z mikroskopem optycznym *Leitz Orthoplan*. Urządzenie to skonstruowano, wzorując się na wcześniejszych modelach stolika zamrażająco-grzewczego stosowanego przez amerykańską służbę geologiczną USGS. Sprzęt ten opisano w wielu publikacjach (np. Roedder, 1984; Goldstein, Reynolds, 1994; Jarmołowicz-Szulc, 1995). Stolik *Fluid Inc. System* umożliwiał prowadzenie badań w zakresie temperatur od  $-196^{\circ}\text{C}$  do  $+300^{\circ}\text{C}$ . Do badań wymagających zastosowania wyższych temperatur jest używany stolik firmy *Leitz*. Wcześniej, tzn. do końca lat 80. XX w., oznaczenia inkluzji fluidalnych (FI) w minerałach skał Polski były nieliczne. Prace na ten temat publikowali np. Karwowski i Dorda (1986) i Kozłowski (1995). Od drugiej dekady XXI w. wprowadzono w PIG-PIB oznaczenia inkluzji z użyciem w pełni zautomatyzowanego stolika zamrażająco-grzewczego firmy *Linkam*. Urządzenie to ma dużo mniejszą komorę grzewczą od stolika *Fluid Inc.*, a tym samym mniejsze pole widzenia (Jarmołowicz-Szulc, Wołkiewicz, 2018). Jednak ze względów ekonomicznych, a także z powodu większej kompatybilności z powszechnie używanymi programami komputerowymi system *Linkam* jest obecnie częściej używany. Kalibracja oznaczeń jest dokonywana przez stosowanie międzynarodowych standardów *Synflinc* (Reynolds, 1993). Podstawy metodyczne badań inkluzji opisano w kilku monografiach (Roedder, 1984; Samson i in., 2003). Od

czasu uruchomienia w PIG-PIB aparatury zamrażająco-grzewczej badania wrostków w minerałach są prowadzone regularnie, w nawiązaniu do studiów petrologicznych skał o różnej genezie – przeważnie osadowych, ale także magmowych i metamorficznych.

W PIG-PIB jako pierwsze zbadano inkluzje w skałach paleozoiku nawierconych otworami na Niżu Polskim (Jarmołowicz-Szulc, 1995, 1998a, 1999), a także w lądowej i morskiej strefie przybrzeżnej Bałtyku (Jarmołowicz-Szulc, 1998b, 2001a). Następnie podjęto badania inkluzji w skałach polskich Karpat, które opróbowano powierzchniowo (Jarmołowicz-Szulc, 2000, 2001b; Jarmołowicz-Szulc, Dudok, 2001). W latach 90. XX w. i na początku XXI w. prowadzono badania w Karpatach (Jankowski, Jarmołowicz-Szulc, 2009; Jarmołowicz-Szulc, Jankowski, 2011; Jarmołowicz-Szulc i in., 2012), także we współpracy z kolegami z Ukrainy, zarówno po ukraińskiej stronie Bieszczad (Dudok, Jarmołowicz-Szulc, 1999, 2000), jak i po stronie polskiej (Jarmołowicz-Szulc, Dudok, 2001, 2005). Kilka publikacji dotyczących oznaczeń wykonywanych w Karpatach przez Huraia ukazało się także w czasopiśmie zagranicznych (Świerczewska i in., 1999; Hurai i in., 2002). W ostatnich latach oznaczenia inkluzji prowadzono w Karpatach w ramach projektu INGA (2021–2022), zleceń INiG (2023), a także badań szczegółowych w rejonie łuski Bystrego (2023–2025).

### WYNIKI

Efektom wieloletnich badań analitycznych i mikrotermometrycznych inkluzji fluidalnych, wykonywanych systematycznie przez ponad 30 lat zarówno w Karpatach, jak i pozostałych regionach Polski, jest bogaty zbiór oznaczeń trzech grup temperatur charakteryzujących wypełnienia fluidalne ( $T_e$  – temperatur eutektyku,  $T_m$  – temperatur topnienia,  $T_h$  – temperatur homogenizacji; tab. 1), a także wnioski z badań fluidów we wrostkach i wynikające z nich implikacje geologiczne. I to są właśnie pozytywy przeprowadzonych prac.

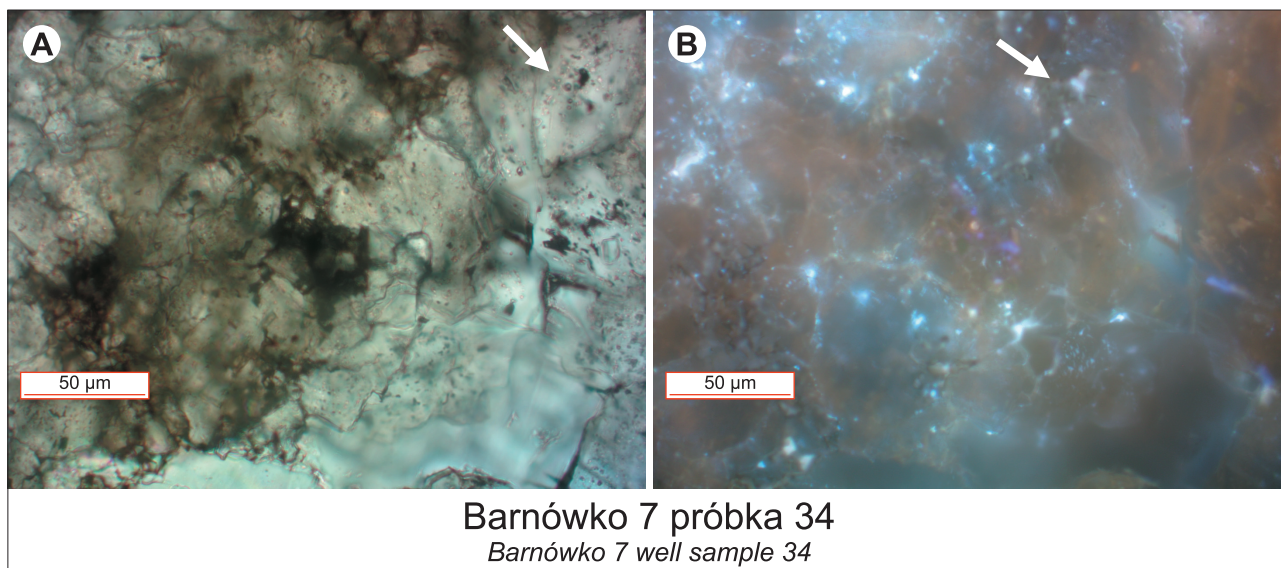
Na szczególną uwagę zasługują te wyniki badań inkluzji fluidalnych, w ramach których w skałach z różnych regio-

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00–975 Warszawa; [katarzyna.jarmolowicz-szulc@pgi.gov.pl](mailto:katarzyna.jarmolowicz-szulc@pgi.gov.pl); ORCID: 0000-0001-7927-1820

nów Polski zdiagnozowano obecność węglowodorów (ryc. 1) wyższych (ropa naftowa; Jarmołowicz-Szulc, 2001, 2016, 2021) lub też gazowych (metan; Dudok, Jarmołowicz-Szulc, 2000; Jarmołowicz-Szulc, Dudok, 2005). Wyniki badań inkluzji fluidalnych w skałach różnych regionów Polski i z różnych okresów geologicznych podsumowano w licznych opracowaniach archiwalnych

(np. Jarmołowicz-Szulc, 2000; Maliszewska i in., 2003) i publikacjach (np. Jarmołowicz-Szulc, 1999, 2015, 2016, 2019, 2020; Jarmołowicz-Szulc, Jankowski, 2011, 2021; Jarmołowicz-Szulc i in., 2012).

Inkluzje w kalcytce, kwarcu i anhydrycie są dwofazowego rodzaju – dwufazowe lub też jednofazowe. To zróżnicowanie implikuje dalsze kroki badawcze, przyjęte w procedurze



**Ryc. 1.** Luminescencja w nadfiolecie – charakterystyczna cecha inkluzji węglowodorowych (HCFI) w węglanach w otworze wiertniczym Barnówko 7: **A** – obraz w świetle przechodzącym, jeden nikol; **B** – białoniebieskie świecenie inkluzji ropy naftowej w nadfiolecie. Strzałkami wskazano te same grupy inkluzji

**Fig. 1.** Luminescence in UV light – characteristic feature of hydrocarbon inclusions (HCFI) in carbonates from the Barnówko 7 well: **A** – image in polarized light; **B** – white-blue fluorescence of oil in UV light. Arrows point to the same groups of inclusions

**Tab. 1.** Przykład wyników badań mikrotermometrycznych dwufazowych inkluzji fluidalnych w skałach ordowiku na Niziu Polskim (wg Jarmołowicz-Szulc, 2020)

**Table 1.** An example of results of microthermometric determinations of two-phase fluid inclusions in the Ordovician rocks of the Polish Lowlands (after Jarmołowicz-Szulc, 2020)

Otwór <i>Well</i>	Próbka/Głębokość [m] <i>Sample/Depth [m]</i>	Minerał <i>Mineral</i>	$T_h$ Homogenizacja <i>Homogenization</i> [°C]	Typ inkluzji <i>FI type</i> [n]	$T_e/T_m$ [°C]	Uwagi <i>Remarks</i>
Bu 9	Ch 43/3123,85	jasny minerał <i>bright mineral</i>	159,5	AQFI (9)	od -28,8 do -7,4 <i>from -28,8 to -7,4</i>	dwufazowe <i>two-phase</i> pseudowtórne <i>pseudo-secondary</i>
Bu 9	3128,15	kalcyt <i>calcite</i>	114,5–130	HCFI		dwufazowe <i>two-phase</i>
Bu 9	3128,15	kalcyt <i>calcite</i>	92–101 °C	AQFI (10)	od ?–17 do -14 <i>from ?–17 to -14</i>	FIA1
Bu 9	3128,15	kalcyt <i>calcite</i>	114	AQFI (8)	-40/ od -6,8 do -4,3 <i>-40/ from -6,8 to -4,3</i>	FIA2
Bu 9	3128,15	kalcyt o falistym wygaszaniu <i>calcite with undulating extinction</i>	120,7–125,7 126–132	AQFI (7) AQFI (5)	n.d.	FIA3
Bu 9	Ch 44/3133,45	anhydryt/ <i>anhydrite</i>	231–242,3	AQFI (10)	od -33,5 do -2,8 <i>from -33,5 to -2,8</i>	FIA
Bu 10 k	Pr 5/3213,75	kwarc/ <i>quartz</i>	103–110	AQFI (6)	-54; od -21,4 do -19,4 <i>-54; from -21,4 to -19,4</i>	FIA
Mo 1*	Ch 22/3096,4	anhydryt <i>anhydrite</i>	-128	inkluzje jednofazowe; <i>monophase inclusions; geometric</i>		

**Objaśnienia:**  $T_e$  – temperatura eutektyku;  $T_m$  – temperatura topnienia;  $n$  – liczba inkluzji w mierzonej grupie; **FIA** – grupa inkluzji; **n.d.** – nie zmierzone; \*Jarmołowicz-Szulc (2019)

**Explanations:**  $T_e$  – eutectic temperature;  $T_m$  – melting temperature;  $n$  – number of inclusions in the assemblage; **FIA** – fluid inclusion assemblage; **n.d.** – not determined; \*Jarmołowicz-Szulc (2019)

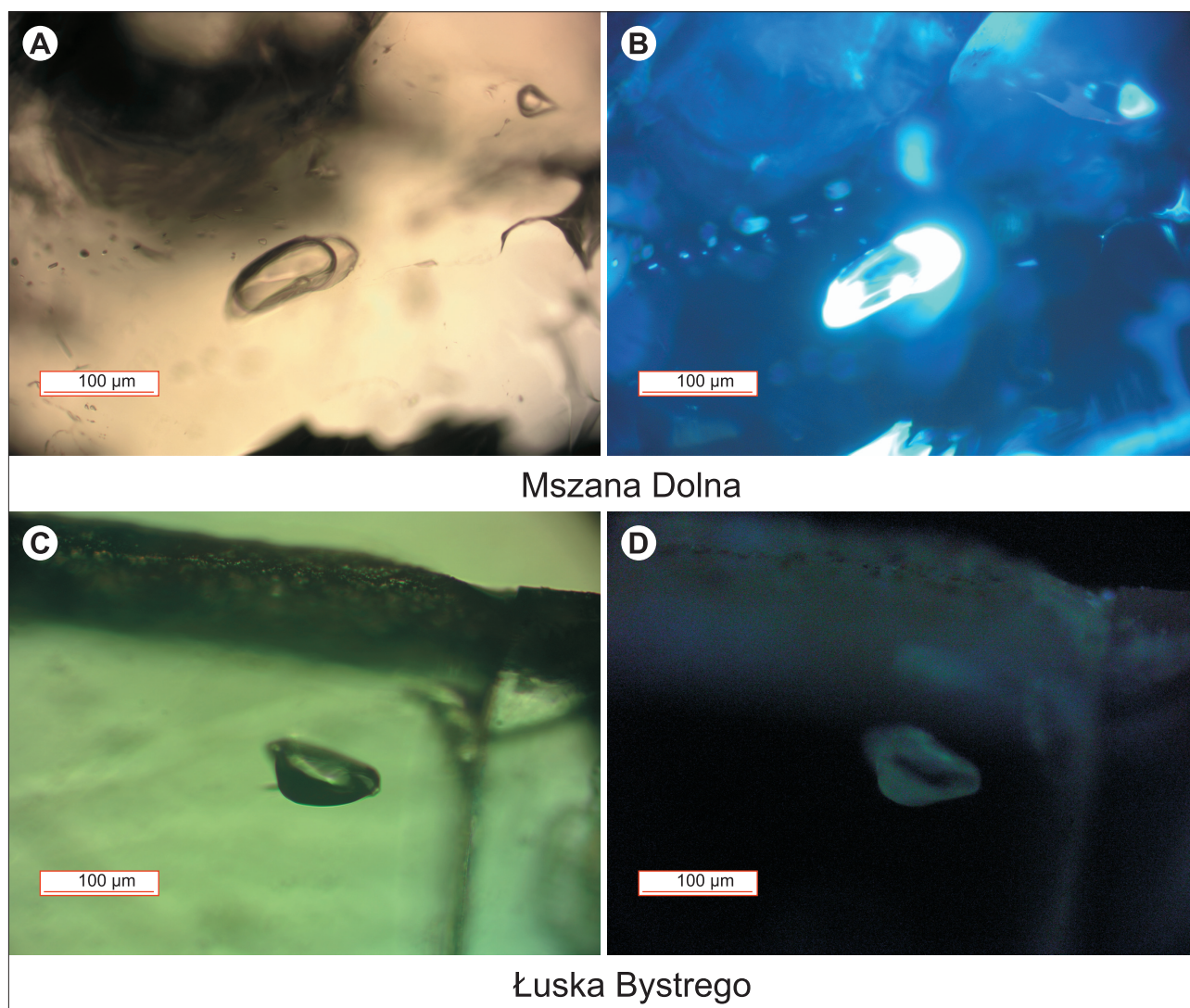
jako standardowe, a mianowicie badania fluorescencji (Jarmołowicz-Szulc, 2016). W nadfiolecie inkluzje wykazują świecenie wyraźne, słabe (ryc. 1B) albo całkowity brak luminescencji. W inkluzjach dwufazowych świecące wrostki może wypełniać ropa naftowa (ryc. 2), natomiast nieświecąca – solanka o różnym stężeniu. Danych diagnostycznych dostarczają także oznaczenia mikrotermometryczne – odpowiednio do rodzaju minerału, w którym są uwięzione inkluzje: cykle zamrażania i podgrzewania (kwarc) lub podgrzewania i zamrażania (węglany, anhydryt). Wrostki jednofazowe nie świecą (ryc. 2C–D). Ich skład można określić poprzez głębokie zamrażanie inkluzji, nawet do temperatury ciekłego azotu. W wyniku niezbyt głębokiego mrożenia niektóre jednofazowe inkluzje generują pęcherzyki kontrakcyjne, homogenizujące w temperaturach poniżej lub bliskich 50°C. Jest to ważna wskazówka, ponieważ obecność takich inkluzji w mineralach świadczy o niskiej temperaturze zamknięcia inkluzji (por. Goldstein, Reynolds, 1994). Niektóre wrostki jednofazowe, nieświecąca w nadfiolecie, generują drugą fazę dopiero w warunkach bardzo głębokiego zamrożenia (w temperaturze –82,7°C lub niż-

szej). Homogenizacja tych faz zachodzi w temperaturach ujemnych (tab. 1, próbka Ch 22/3096,4; Jarmołowicz-Szulc, 2019) i często wskazuje na wypełnienie metanem (ryc. 2D).

Na podstawie wyliczonej temperatury eutektyku i temperatury topnienia można powiedzieć, że fluidy uwięzione w kalcytynie, kwarcu i anhydrycie w skałach otaczających złoża ropy naftowej i gazu ziemnego Barnówko-Mostono-Buszewo (BMB) są solankami (AQFI) i węglowodorami (HCFI). Solanki mają zasolenie od ok. 6 do ponad 10% ekw. NaCl oraz temperaturę homogenizacji odpowiednio od ok. 114 do 159,5°C (Bu 9; tab. 2). Gęstość fluidów wodnych zawiera się w przedziale 0,977–1,020 g/cm<sup>3</sup>. Nastąpiły co najmniej dwa napływy fluidów wodnych – tzw. czysty front solankowy (NaCl-H<sub>2</sub>O) oraz solanka z domieszką gazów (NaCl-CaCl<sub>2</sub>/MgCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O).

## DYSKUSJA

Duży zbiór wyników badań wrostków ciekło-gazowych, oznaczeń mikrotermometrycznych i danych przetworzonych z zastosowaniem programów komputerowych (np.



**Ryc. 2.** Inkluzje fluidalne: **A i B** – inkluzja dwufazowa w kwarcu z rejonu Mszany Dolnej, Karpaty, **A** – obraz w świetle przechodzącym, **B** – fluorescencja fluidu wypełniającego tę samą inkluzję; **C i D** – inkluzja jednofazowa w kwarcu z rejonu Łuski Bystrego, Karpaty, **C** – obraz w świetle przechodzącym, **D** – brak świecenia w UV fluidu wypełniającego tę samą inkluzję

**Fig. 2.** Fluid inclusions: **A and B** – two-phase inclusion in quartz from the Mszana Dolna region, Carpathians, **A** – image in polarized light, **B** – fluorescence of fluid filling the same inclusion; **C and D** – monophase methane inclusion in quartz in the Łuska Bystrego region, Carpathians, **C** – image in polarized light, **D** – no fluorescence of fluid filling the same inclusion

**Tab. 2.** Zasolenie i gęstość fluidów w dwufazowych inkluzjach AQFI w skałach ordowiku na Niżu Polskim  
**Table 2.** Fluid salinity and density in two-phase AQ inclusions in the Ordovician rocks of the Polish Lowlands

Otwór <i>Well</i>	Próbka/Głębokość [m] <i>Sample/Depth [m]</i>	$T_h$ [°C]	$T_m$ [°C]	Zasolenie [% wag. ekw. NaCl] <i>Salinity [NaCl weight % eq.]</i>	Molowość <i>Molality</i>	Gęstość fluidu <i>Fluid density</i> [g/cm <sup>3</sup> ]
Bu 9	Ch 43/3123,85	159,5	-7,4	10,978	2,11	0,988
Bu 9	11/3128,15	114,0	-6,8 do -4,3	10,228 do 6,615	1,95 1,25	1,020 0,996
Mol	Ch 13/3027	133,0 116,8	-3,8	6,076	1,107	0,977 0,989

Brown, 1989; Bakker, Brown, 2003) umożliwia wytyczanie przebiegu izochor ciśnienia i temperatury oraz stężenia fluidów (por. tab. 1–2). Można powiedzieć, że to są tytułowe blaski – odniesiono sukces w tej dziedzinie badań. Jednak trzeba mieć świadomość, że materiał badawczy – próbki cementów skał osadowych paleozoiku i minerały z wypełnień żyłowych jednostek karpackich – jest trudny do analizowania i interpretacji. Trudności sprawia m.in. preparatyka, a przecież od jakości wykonania preparatu, jego przejrzystości i możliwości obserwacji wrostków zależą wyniki badań mikroskopowych i pomiarów mikrotermometrycznych. W trakcie zamrażania i podgrzewania próbek długotrwałe obserwacje wnętrza inkluzji o wielkości od 1 do 3  $\mu\text{m}$  stanowią prawdziwe wyzwanie dla badacza. Goldstein i Reynolds (1994) życzyli badaczom inkluzji szczęśliwych poszukiwań wrostków (*Happy hunting*). Słowa te mogą posłużyć za motto wszelkich badań inkluzji fluidalnych w skałach osadowych basenów sedimentacyjnych, gdzie sporadycznie występują w minerałach. Z tego powodu często niemożliwa jest analiza większych nagromadzeń wrostków czyli tzw. FIA (*Fluid Inclusion Assemblages*, patrz: Goldstein, Reynolds, 1994).

W PIG-PIB przeważnie badano inkluzje dwufazowe, ponieważ wrostki jednofazowe znajdowano tylko w nielicznych próbkach (Jarmołowicz-Szulc, 2020). Często niełatwo było zdefiniować genezę wrostków (pierwotny czy wtórny?). Inkluzje pierwotne występują w skałach osadowych rzadko i pojedynczo. Grupy kilku lub kilkunastu inkluzji są wyjątkowym znaleziskiem. Trudna jest także interpretacja wyników mikrotermometrycznych w kontekście diagenety. Próbki skał pobierane z otworów wiertniczych często pochodzą ze znacznej głębokości, a temperatura dna otworów jest różnicowana. Jeśli jest ona znana badaczowi inkluzji, można ją porównać z wynikami temperatury homogenizacji wrostków dwufazowych. Niekiedy jest od nich niższa, czasami wyższa (np. Aulstead i in., 1988; Lüders i in., 2005, 2008; Jarmołowicz-Szulc, 2015, 2016). Wartości temperatur zmierzonych na stoliku często są dużo wyższe niż wyniki uzyskane na podstawie analiz izotopowych tych samych cementów (Anderson, Arthur, 1983; Maliszewska i in., 2003; Kozłowska, Jarmołowicz-Szulc, 2009). Prowadzi to do różnic w interpretacji wyników. Izotopy odtwarzają warunki krystalizowania cementów, podczas gdy inkluzje często wskazują na inne zjawiska, np. na warunki pogrzebania.

Pod wpływem czynników zewnętrznych, takich jak wzrost temperatury spowodowany pogrzebaniem lub powstawanie spękań na skutek zwiększonego nacisku, w inkluzjach mogą zachodzić zmiany pierwotnego składu wypełnień, a wzrost wewnętrznego ciśnienia inkluzji prowadzi do nieplastycznych deformacji ścianek wrostków i zwiększenia ich objętości, a ostatecznie powoduje podwyższenie temperatury homogenizacji (Burrus, 1983; Goldstein, Reynolds, 1994). W inkluzjach są widoczne zmiany

polegające na ich rozciąganiu, cieknięciu czy też wręcz rozrywaniu (Goldstein, Reynolds, 1994; Samson i in., 2003). Gdy nie widać oznak cieknięcia inkluzji, można uznać, że wartości temperatur topnienia ostatniego kryształka próbki ( $T_m$ ), a co za tym idzie wartości stężenia fluidów i ich gęstość odzwierciedlają pierwotne warunki ciśnienia i temperatury w basenie. Jednak można natrafić na inkluzje wtórnie wypełnione wodami formacyjnymi, które takich informacji nie dostarczają.

Wartości temperatur topnienia i homogenizacji inkluzji pierwotnych mogą się zmieniać wskutek reekwilibracji w trakcie późniejszych procesów (Roedder, 1984; Goldstein, Reynolds, 1994). Kryształy utworzone z mieszanych fluidów mogą wykazywać szeroki interwał wartości, odpowiadający zmianom zasolenia fluidów.

Podsumowując tę dyskusję, można stwierdzić, że wyniki mikrotermometryczne inkluzji fluidalnych należy traktować z pewną dozą ostrożności i interpretować, biorąc pod uwagę wiele innych danych i wyników badań towarzyszących (por. Aulstead i in., 1988; Lüders i in., 2005; Jankowski, Jarmołowicz-Szulc, 2009; Jarmołowicz-Szulc i in., 2012; Jarmołowicz-Szulc, Jankowski, 2021).

## WNIOSKI

Na podstawie wyników badań wypełnień inkluzji w minerałach stwierdzono, że przez skały polskiego basenu paleozoicznego wielokrotnie migrowały fluidy o różnym składzie. Cięższe węglowodory (ropa naftowa) są obecne w postaci inkluzji w skałach kambru, ordowiku, karbonu i permu, lżejsze (metan lokalnie z domieszkami) stwierdzono w utworach karbonu i cechsztynu. W basenie górnopaleozoicznym skład fluidów zmienia się od typu  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}\pm\text{KCl}$  na wczesnym etapie subsydencji do  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$  w czasie późniejszego pogrzebania (Kozłowska, Jarmołowicz-Szulc, 2009; Jarmołowicz-Szulc, 2020). Fluidom migrującym przez osady karbonu często towarzyszyły gazy. W kwarcu wypełniającym szczeliny w skałach karbońskich inkluzje wodne często są stowarzyszone z inkluzjami  $\text{CH}_4-\text{CO}_2$  uwięzionymi kogenetycznie.

Wyniki badań mikrotermometrycznych są wykorzystywane do konstrukcji izochor, dzięki czemu można estymować warunki ciśnienia i temperatury (P–T) w basenach sedimentacyjnych. Oszacowano na przykład, że w niemieckim basenie paleozoicznym, podobnym do basenu polskiego (Jarmołowicz-Szulc, 2015), w trakcie uwięzienia fluidów w skałach ciśnienie mieściło się w przedziale 620–1650 barów a temperatura 170–300°C (Lüders i in., 2005, 2008). Migrację gazów bogatych w  $\text{CH}_4$  w kompleksie karbońskim można odnieść do głównego stadium subsydencji i etapów wynoszenia basenu.

Inne warunki ciśnienia i temperatury są zapisane w piaskowcach i węglanach permu (Jarmołowicz-Szulc, 2020).

Inkluzje wodne w kalcycie, kwarcu, fluorycie i anhydrylicie tych skał są solankami o składzie  $H_2O-NaCl-CaCl_2$ , które homogenizują w temperaturze pomiędzy 120 a 180°C. Inkluzje gazowe uwięzione kogenetycznie, o ile występują, są nieliczne i małe. Mają zróżnicowaną zawartość  $CH_4-N_2$  i nie zawierają  $CO_2$ . Uwięzienie inkluzji  $CH_4$  z domieszką  $N_2$  można w tym wypadku odnieść do późniejszego wzniesienia tektonicznego (górną kreda). Skład węglowodorów uwięzionych jako inkluzje może zatem dać wgląd w historię fluidów w trakcie generacji węglowodorów, migracji i akumulacji. Dzięki mikroskopii fluorescencyjnej inkluzje ropy naftowej są łatwe do zidentyfikowania w paragenetycznych sekwencjach diagenetycznych i wypełnieniach spękań. Rozpoznanie występowania ropy naftowej w sekwencjach paragenetycznych umożliwia datowanie jej migracji w odniesieniu do wydarzeń diagenetycznych i tektonicznych (Burrus i in., 1983).

Dziękuję Recenzentowi Panu Profesorowi Michałowi Stefaniu-kowi za cenne sugestie korekty manuskryptu. Koleżankom i Kolegom z Państwowego Instytutu Geologicznego składam serdeczne podziękowanie za wspólne, długie lata współpracy i życzliwość.

## LITERATURA

- ANDERSON T.F., ARTHUR M.A. 1983 – Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems. [W:] Arthur M.A., Anderson T.F., Kaplan I.R., Veizer J., Land L.S. (red.), *Stable Isotopes in Sedimentary Geology*, Soc. Econ. Paleont. Min., Short Course No. 10, Dallas.
- AULSTEAD K.L., SPENCER R.J., KROUSE H.R. 1988 – Fluid inclusion and isotopic evidence on dolomitization, Devonian of western Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52: 1027–1035.
- BAKKER R.J., BROWN P.E. 2003 – Computer modelling in fluid inclusion research. [W:] Samson I., Anderson A., Marshall D. (red.), *Fluid Inclusions, Analysis and Interpretation*, Short Course, Mineralogical Association of Canada, Ottawa: 175–212.
- BROWN P. 1989 – Flncon: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. *American Mineralogist*, 74: 1390–1393.
- BURRUS R.C., CERCONE K.R., HARRIS P.M. 1983 – Fluid inclusion petrography and tectonic burial history of the Ali No 2 well: Evidence for timing diagenesis and oil migration, Northern Oman Foredeep. *Geology*, 2: 567–570.
- DUDOK I.V., JARMOŁOWICZ-SZULC K. 1999 – Fluid inclusions in “Marmarosh diamonds” in the Silesian (Krosno) and Dukla nappes in the Carpathians. *Abstracts of XV ECROFI*, Potsdam: 91–92.
- DUDOK I.V., JARMOŁOWICZ-SZULC K. 2000 – Hydrocarbon inclusions in vein quartz (the “Marmarosh diamonds”) from the Krosno and Dukla zones of the Ukrainian Carpathians. *Geological Quarterly*, 44: 415–423.
- GOLDSTEIN R.H., REYNOLDS T.J. 1994 – Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *SEPM Short Course* 31.
- HURAI V., KIHLE J., KOTULOVA J., MARKO F., ŚWIERCZEWSKA A. 2002 – Origin of methane in quartz crystals from the Tertiary accretionary wedge and for-arc basin of the Western Carpathians. *Applied Geochemistry*, 17: 1259–1271.
- JANKOWSKI L., JARMOŁOWICZ-SZULC K. 2009 – Particular tectonic zones (the mélange zones) as potential and significant paths for fluid migration and mineral formation. *Mineralogical Revue*, 59 (1): 31–44.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. 1995 – Fluid inclusions in the studies of the Permian sedimentary rocks from the Polish Lowland. [W:] XIII International Congress on Carboniferous–Permian (XIII ICCP), August 28–September 2, 1995, Kraków, Poland. *Abstracts*: 61. Państw. Inst. Geol.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. 1998a – Studies on the filling of the pore space in the Rotliegend sedimentary rocks, SW Poland: fluid inclusions, luminescence, isotopes. VII Pan-American Conference on Research on Fluid Inclusions, Programs and Abstracts, 36, University of Las Vegas.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. 1998b – Quartz cements in the Cambrian sandstones, Żarnowiec region, N Poland: a fluid inclusion study. *Geological Quarterly*, 42 (3): 311–318.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. 1999 – Systematyka inkluzji fluidalnych w przestrzeni porowej skał osadowych paleozoiku Niżu Polskiego. *Przegląd Geologiczny*, 47 (6): 542–546.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. 2000 – Mineralogiczno-geochemiczne środowisko tworzenia „diamentów marmaroskich” na podstawie badań inkluzji fluidalnych w minerałach żyłowych Karpat zewnętrznych. Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa, nr 2351/2000.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. 2001a – Badania inkluzji fluidalnych w spoiwie kwarcowym piaskowców kambr u środkowego na obszarze bloku Leby w Morzu Bałtyckim – implikacje diagenetyczne, izotopowe i geochemiczne. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 399: 1–90.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. 2001b – Charakterystyka wypełnień żyłowych w SE części polskich Karpat (kalcyt, kwarc, bituminy). *Przegląd Geologiczny*, 49: 785–792.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. 2015 – Analiza inkluzji fluidalnych w minerałach skał osadowych – przegląd i uwagi. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 464: 25–42.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. 2016 – Inkluzje węglowodorowe w spoiwach skał osadowych i minerałach żyłowych – charakterystyka i znaczenie. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 466: 87–101.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. 2019 – Wybrane elementy badań petrologicznych w obrębie złoża BMB. *Przegląd Geologiczny* 67 (3): 161–164.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K. 2020 – Opracowanie metodyki badań mineralogiczno-petrograficznych (w tym: inkluzji fluidalnych) pod kątem aplikacji w poszukiwaniach węglowodorów ciekłych. *Archiwum PGNiG*, Warszawa.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., DUDOK I.V. 2001 – Minerale żyłowe polskich i ukraińskich Karpat. *Przegląd Geologiczny*, 49 (4): 341–342.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., DUDOK I.V. 2005 – Migration of palaeofluids in the contact zone between the Dukla and Silesian units, Western Carpathians – evidence from fluid inclusions and stable isotopes in quartz and calcite. *Geological Quarterly*, 49 (3): 291–304.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., JANKOWSKI L. 2011 – Analiza geochemiczna i korelacje genetyczne bituminów i skał typu czarnych łupków w jednostkach tektonicznych Karpat zewnętrznych w południowo-wschodniej Polsce i na obszarze przyległym. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 444: 73–98.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., JANKOWSKI L. 2021 – Interpretation of mineralization in the Western Carpathians (Polish segment) – a tectonic mélange approach. *Minerals*, 11 (11), 1171.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., WOŁKOWICZ K. 2018 – Analiza inkluzji fluidalnych w otworach Objezierze IG 1, Zakrzyń IG-1 i Katarzynin 2, Kalisz IG-1 and Siedliska IG-1, Rówce 1, Łochów IG-1, Płońsk IG- 2/2, Darżlubie IG-1. [W:] Podhalańska T. i in., *Rozpoznanie stref perspektywicznych występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce*, psg projekt, etap II, Raport końcowy. NAG nr 9051/2019, Państwowy Instytut Geologiczny.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., KARWOWSKI Ł., MARYNOWSKI L. 2012 – Fluid circulation and formation of minerals and bitumen in the sedimentary rocks of the Outer Carpathians – based on studies on the quartz-calcite-organic matter association. *Marine and Petroleum Geology*, 32 (1): 138–158.
- KARWOWSKI Ł., DORDA J. 1986 – Środowisko tworzenia diamentów marmaroskich. *Environment of formation of the Marmarosh diamonds*. *Mineralogia Polonica*, 17: 3–12.
- KOZŁOWSKA A.J., JARMOŁOWICZ-SZULC K.L. 2009 – Geochemical and mineralogical exploration of sandstones in the Lublin Carboniferous Basin, SE Poland. [W:] Lentz D.R. (red.), *Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Applied Geochemistry Symposium*, t. 1, June 1–4, 2009, Fredericton, New Brunswick, Canada: 377–380.
- KOZŁOWSKI A. 1995 – Origin of Zn-Pb ores in the Olkusz and Chrzanów districts: a model based on fluid inclusions. *Acta Geologica Polonica*, 45 (1–2): 83–141.
- LÜDERS V., REUTHER C., HATH P., BANKS D.A., MINGRAM (PLESSEN) B., PETTKE T. 2005 – Fluid and gas migration in the N Germany Basin: fluid inclusions and stable isotope constraints. *International Journal of Earth Sciences*, 95 (5/6): 990–1009.
- LÜDERS V., PLESSEN B., SIPPEL J. 2008 – Fluid and gas migration in the western part of the Lower Saxony Basin (Germany). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72 (12): Supplement 1 A572.
- MALISZEWSKA A., KIERSNOWSKI H., KUBERSKA M., SIKORSKA M., JARMOŁOWICZ-SZULC K. 2003 – Skład ziarnowy piaskowców eolicznych czerwonego spagowca Wielkopolski a ich właściwości zbiornikowe. *Centralne Archiwum Geologiczne PIG-PIB*, Warszawa, nr 2302/2003.
- REYNOLDS T.J. 1993 – Temperature calibration standards by SYNFLINC. *Fluid Inc.* Denver, unpublished manuscript.
- ROEDDER E. 1984 – Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy*, 12: 644.
- SAMSON I., ANDERSON A., MARSHALL D. (red.) 2003 – Fluid inclusions. *Mineralogical Association of Canada. Short Course*, 32.
- ŚWIERCZEWSKA A., HURAI V., TOKARSKI A.K., KOPCIEWSKI E. 1999 – Quartz mineralization in the Magura nappe (Poland): a combined mineralogical and microthermometry approach. *Geologia Carpathica*, 50: 174–177.

Praca wpłynęła do redakcji 6.03.2025 r.  
Akceptowano do druku 24.03.2025 r.