

ANALIZA INKLUZJI FLUIDALNYCH W MINERAŁACH W SKAŁACH OSADOWYCH POLSKI – PRZEGLĄD OGÓLNY I UWAGI

FLUID INCLUSION ANALYSIS OF MINERALS IN SEDIMENTARY ROCKS IN POLAND – AN OVERVIEW AND REMARKS

KATARZYNA JARMOŁOWICZ-SZULC¹

Abstrakt. Przedstawiono charakterystykę i wyniki mikrotermometrycznych badań inkluzji fluidalnych występujących w spoiwie skał osadowych wieku od kambriu po perm oraz od jury po paleogen i miocen. Inkluzje mają charakter pierwotny i wtórny; na ogół są jedno- lub dwu-, rzadziej trójfazowe. Wypełniają je paleofluidy o zróżnicowanym składzie i różnej gęstości. Temperatura homogenizacji, która stanowi przybliżenie temperatury zamknięcia fluidu w minerale, wykazuje zmienność związaną z rodzajem spoiwa i z historią geologiczną badanego obszaru. Zasolenie fluidów również jest zmienne i zależy od rodzaju spoiwa i od lokalizacji. Połączenie analiz inkluzji np. z badaniami izotopowymi pozwala na szerszą interpretację wyników oznaczeń mikrotermometrycznych.

Słowa kluczowe: inkluzje fluidalne, kambry, dewon, karbon, perm, jura, paleogen, miocen.

Abstract. Characteristics and results of microthermometric studies of fluid inclusions which occur in the cements of sedimentary rocks of the age oscillating from Cambrian to Permian and from Jurassic to Paleogene and Miocene are presented. The inclusions studied are primary and secondary in origin. They display one, two or, less frequently, three phases. The inclusions are filled by the paleofluids of variable compositions and densities. The homogenization temperature, which corresponds to the minimum estimation of the trapping temperature, shows variability in respect to the cement type and geological history of the study area. Salinities of fluids are also variable in respect to the cement type and locality. Wider interpretation of the microthermometric analyses is enabled when they are combined, *e.g.*, with the isotopic studies.

Key words: fluid inclusions, Cambrian, Devonian, Carboniferous, Permian, Jurassic, Paleogene, Miocene.

WSTĘP

Analizę inkluzji fluidalnych w wypełnieniach przestrzeni porowej skał osadowych przez wiele lat prowadzano w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) w nawiązaniu do kompleksowych badań petrologicznych skał osadowych wykonywanych głównie przez A. Maliszewską, M. Kuberską, A. Kozłowską, M. Sikorską, T. Peryta, M. Jasionowskiego i M. Narkiewicza (Jarmołowicz-Szulc, 1995a, b, 1997, 1998a; Maliszewska, Kuberska, 1996, 2009; Jasionowski,

1997; Maliszewska i in., 1997, 2008; Kuberska, 1999, 2004; Sikorska, 2000). Zakres analizy obejmował obszar praktycznie całego kraju (fig. 1). Badania dotyczyły skał różnego wieku, występujących w rejonach, gdzie wykonano głębokie wiercenia – od szelfu bałtyckiego i wybrzeża (Jarmołowicz-Szulc, 1998b, 2001a) przez region północno-zachodni i środkowy Niżu Polskiego (Jarmołowicz-Szulc, 1999a, b) oraz okolice Gór Świętokrzyskich i Lubelszczyzny (Kozłowska, Jarmołowicz-Szulc, 2009; Jarmołowicz-Szulc, 2013;

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: katarzyna.jarmolowicz-szulc@pgi.gov.pl.



Fig. 1. Lokalizacja obszarów badań w Polsce

A – obszar Morza Bałtyckiego i rejonu Żarnowca (polski segment); B – rejon wielkopolsko-pomorski – obszar Nizy Polskiego; C – rejony śląsko-krakowski i lubelski; D – Karpaty i zapadlisko przedkarpackie

Location of the study areas in Poland

A – offshore and onshore area of the Baltic Sea (Polish segment); B – Wielkopolska–Pomerania region – Polish Lowlands; C – Silesian–Cracow and Lublin areas; D – Carpathians and Carpathian Foredeep

Kozłowska i in., 2013) aż po południe i południowy wschód Polski, a więc Karpaty i Pogórze Karpackie (Jarmolowicz-Szulc, Dudok, 2005; Jarmolowicz-Szulc i in., 2008, 2010a, b, 2012, 2015; Jankowski, Jarmolowicz-Szulc, 2009; Jarmolowicz-Szulc, 2009a, b). Wiek skał z poszczególnych obszarów jest różny – od kambru na północy, przez dewon, karbon, perm w części centralnej, po jurę, miocen i paleogen na południu. Autorka nie prowadziła bezpośrednich badań inkluzji w skałach formacji ordowicko-sylurskich, triasowych i kredowych.

Celem prac nad rozpoznaniem inkluzji fluidalnych w odniesieniu do spoiwa skał różnego wieku było zbadanie tych wrostków w konkretnym materiale geologicznym, określenie temperatury homogenizacji (T_h), użycie inkluzji jako termometru geologicznego oraz ocenienie stosowności metody badań wrostków ciekło-gazowych w ramach poszczególnych zadań.

W artykule zamieszczono wyniki dotychczasowych badań spoiwa różnych skał osadowych na terenie Polski, ich analizę i podsumowanie. Praca ma charakter monograficzny i w zamierzeniu autorki ma stanowić swego rodzaju kompendium wiedzy na ten temat.

Badania inkluzji ciekło-gazowych opierają się na założeniu, że niewielka ilość fluidów krążących w basenie może zostać zamknięta w mikroszczelinach minerałów, które wypełniają przestrzeń porową skał osadowych, w trakcie krystalizacji tych minerałów (Roedder, 1984). Takie inkluzje stanowią pozostałość nieistniejących już roztworów. Na podstawie analizy inkluzji pod kątem ich zachowania w trakcie podgrzewania i zamrażania można rekonstruować pierwotne warunki tworzenia się minerałów oraz określić skład i gęstość paleofluidów, przy czym zasadnicze znaczenie dla stosowności metody ma niezmiennosc pierwotnej objętości i składu fluidów. Szczególnie trudno o to w skałach osadowych, które mogły ulec głębokiemu pogrzebaniu. Różne minerały wypełniające przestrzeń porową w skałach (kwarc,

węglany, siarczany) w różnym stopniu są podatne na wpływ czynników zewnętrznych. Cement kwarcowy jest zaliczany do cementów bardziej odpornych na zmiany niż cement węglanowy czy siarczanowy. Wyniki jego badań często można uznać za najbardziej miarodajne (Goldstein, Reynolds, 1994; Jarmolowicz-Szulc, 1995a, b, 1997), o ile jego powstanie jako obwódek nie jest wynikiem rekrystalizacji mniej stabilnych faz kwarcowych czy krzemionkowych (Goldstein, Rossi, 2002).

PRACE BADAWCZE, METODY BADAŃ I APARATURA

Prace badawcze prowadzono według przyjętego wcześniej schematu (Jarmolowicz-Szulc, 1993). Obejmowały one badania wstępne (mikroskopowa ocena materiału, selekcja próbek badawczych), charakterystykę inkluzji wraz ze studium fluorescencji oraz zasadnicze badania temperaturowe (zamrażanie, podgrzewanie). Badania inkluzji fluidalnych prowadzono pod mikroskopem, w dwustronnie polerowa-

nych płytkach, z użyciem aparatury zamrażająco-grzewczej Fluid Inc. System, zestawów fluorescencyjnych Leitz (światło niebieskie) i Nikon (nadfiolet i światło niebieskie) oraz stolika Linkam z oprogramowaniem komputerowym. Preparaty przygotowano w PIG-PIB, na zimno, zgodnie ze standardową procedurą (Goldstein, Reynolds, 1994; Jarmolowicz-Szulc, 1997). Początkowo obustronnie polerowane

preparaty klejono na szkiełkach i cięto próbki wraz ze szkiełkiem na mniejsze fragmenty. Ta technika przygotowawcza ustąpiła procedurze oddzielnych płytek polerowanych z dwóch stron (CREGU, inf. ustna).

Podgrzewanie i zamrażanie próbek na stolikach zamrażająco-grzewczych prowadzono w temperaturze od pokojowej (23°C) do 220 i do –190°C, stosując standardowe techniki analityczne (Shepherd i in., 1985; Goldstein, Reynolds, 1994; Jarmołowicz-Szulc, 1997, 2001a, b; Samson i in., 2003). Dokładność pomiarów dla obu stolików kalibrowano względem powszechnie stosowanych standardów SynFlinc i wynosi ona 1,0°C dla temperatur dodatnich oraz 0,1°C dla ujemnych. Tempo grzania i zamrażania w urządzeniu Fluid Inc. System kontrolowano manualnie, a na stoliku Linkam wynosiło ono 10,0°C/min przy grzaniu i zamrażaniu lub 0,5°C/min przy grzaniu w pobliżu charakterystycznej temperatury diagnostycznej (odpowiednio – eutektyku i homogenizacji).

Przy obliczeniach zasolenia korzystano z programu FLINCOR (Brown, 1989) i FLUIDS (Bakker, 2003). W interpretacji danych wykorzystano wykresy według Goldsteina i Reynoldsa (1994) oraz Bakker i Browna (2003). Dokonano również przeliczeń weryfikacyjnych z użyciem kolejnej edycji programu Bakker (2009, 2012).

Poza badaniami inkluzji *sensu stricto* wykonano także oznaczenia petrologiczne, mineralogiczne i geochemiczne skał z badanych regionów, oznaczenia te poprzedzały analizę inkluzji i dostarczały dodatkowych danych.

POLSKA POZAKARPACKA

Kambr

Zbadano inkluzje fluidalne w arenitach kwarcowych środkowego kambru pobranych z otworów wiertniczych w rejonie Żarnowca i na obszarze Wyniesienia Łeby (Jarmołowicz-Szulc, 1995b, 1998b, 2001a; fig. 1A). Inkluzje fluidalne w skałach z rejonu Żarnowca (otwory wiertnicze Żarnowiec IG 1 i IG 4) występują w cementie kwarcowym tworzącym obwódki wokół ziaren detrytycznych (tabl. I: 1) oraz wtórne zabliznienia spękań i mikroszczelin (Jarmołowicz-Szulc, 1998b). Wyróżniono dwa typy inkluzji – wodne (solankowe – AQFI) i węglowodorowe (HCFI; Jarmołowicz-Szulc, 2001a). Te drugie fluoryzują w barwach białoniebieskich. Niefluoryzujące wodne inkluzje dwufazowe homogenizują w fazę ciekłą w temperaturze 87–90 oraz 107°C (tab. 1), zasolenie fluidu wynosi ok. 8% wag. ekw. NaCl. W przypadku inkluzji węglowodorowych temperatura homogenizacji wynosi 74–110°C. Temperaturę homogenizacji można interpretować jako przybliżoną temperaturę uwiezienia fluidów w cementie kwarcowym.

Wrostki ciekło-gazowe występujące w spoiwie skał środkowego kambru na wyniesieniu Łeby na obszarze Morza Bałtyckiego również są dwójakiego rodzaju. Wypełniają je solanka lub węglowodory. Wielkość inkluzji solankowych wynosi 1–3 µm, a inkluzji węglowodorowych (ropa naftowa) – 1–10 µm. Inkluzje są pierwotne i wtórne. Inkluzje wodne występują na granicy kwarcu detrytycznego i autige-

Tabela 1

Charakterystyka inkluzji fluidalnych w spoiwach skał osadowych paleozoiku

The characteristics of fluid inclusions in cements of the Paleozoic sedimentary rocks

Region	Wiek skał w otworach	Typ spoiwa	Charakterystyka inkluzji [°C]			Lokalizacja
			T_h	T_eT_c	T_m	
Morze Bałtyckie	kambr	kwarc – HCFI	60–100	–		Blok Łeby
		kwarc – AQFI	80–92	–	–5,6	
Wybrzeże Bałtyku		kwarc – HCFI	74–110	–	–	Żarnowiec IG 1
		kwarc – AQFI	87–90 107	–	–	
Niż Polski	dewon	węglany	163–165	–35 –42	–10,1	Giełczew
		anhydryt	181–192	–37	– 5,5	Melgiew
	karbon	kalcyt	84–138	–30	–2,3	Lubelszczyzna
		ankeryt	70–117	–40		
		kwarc	58–160	–		
	czerwony spągowiec	kalcyt anhydryt kwarc	90–120 100–130 131–133	od –25 do –22,5 od –35 do –30	od –18 do –13 od –6 do –1	na N od Poznania rejon Paproć–Cicha Góra
	cechsztyń	kalcyt	68–132	od –52 do –37	–15,2	SG-1/6
		dolomit anhydryt	116,6 106–122	– od –56 do –50	– od –9,8 do –6,0	– SG-1/16

T_e – temperatura eutektiku, T_c – temperatura kotektyku, T_m – temperatura topnienia lodu, T_h – temperatura homogenizacji, HCFI – inkluzje węglowodorowe, AQFI – inkluzje solankowe

T_e – eutectic temperature, T_c – cotectic temperature, T_m – ice melting temperature, T_h – homogenization temperature, HCFI – hydrocarbon-bearing fluid inclusions, AQFI – brine fluid inclusions

nicznych obwódek kwarcowych, we wczesnym cementcie i w późnych wypełnieniach mikrospeków (tabl. I: 2). Inkluzje węglowodorowe są związane z trzecim rodzajem wypełnienia – kwarcem.

Niezależnie od głębokości występowania badanych skał z bloku Łeby inkluzje dwufazowe typu HCFI homogenizują w temperaturze od 60 do powyżej 100°C (tab. 1). Inkluzje wodne dzielą się pod tym względem na dwie grupy. Pierwsza to inkluzje jednofazowe we wczesnym cementcie kwarcowym. Te wrostki zostały uwięzione w temperaturze ok. 50°C. Wrostki z drugiej grupy – wysokotemperaturowe inkluzje dwufazowe w późnym cementcie kwarcowym – homogenizują w temperaturze powyżej 92°C (tab. 1).

Skład izotopowy tlenu we wczesnym cementcie kwarcowym, zawierającym jednofazowe inkluzje wodne, waha się od 20 do 28‰. Warunki krystalizacji tego spoiwa można określić jako niskotemperaturowe, wytrącało się ono z wód o składzie odpowiadającym zmodyfikowanej wodzie meteorycznej. Cementacja późnego cementu kwarcowego, w którym występują wysokotemperaturowe dwufazowe inkluzje wodne i który często liniowo przecina ziarna detrytyczne i przestrzeń międzyziarnową, zachodziła w temperaturze ok. 100°C. Spoiwo to wytrącało się z wód o złożonym składzie chemicznym, zawierających tlen o cięższym składzie izotopowym.

Z późnym cementem są związane także inkluzje ciekłych węglowodorów, które występują liniowo lub w mniej regularnych wypełnieniach mikrospeków i mikroszczelin w ziarnach piaskowców oraz inkluzje na granicy kwarcu detrytycznego i obwódki autigenicznej. Wspólne uwięzienie ropy i solanki w późnym cementcie kwarcowym mogło nastąpić w temperaturze ok. 100°C i przy ciśnieniu ok. 30 MPa (współczesny obszar morski) oraz 135°C i 50 MPa (wybrzeże).

Dewon

Inkluzje w cementach: kalcytowym, dolomitowym i anhydrytowym w skałach dewońskich badano w materiale z otworów wiertniczych Gielczew IG 5, Mełgiew 2 i Ciecierzyn 8. Inkluzje są liczne, zwłaszcza w dolomicie, jednak na ogół bardzo małe (nawet poniżej 1 µm). Charakterystyczne dla inkluzji w dolomicie jest to, że występują one w środku romboedrycznych kryształów, a część zewnętrzna jest ich pozbawiona. Większe inkluzje o charakterze pierwotnym (2–5 µm) zaobserwowano w anhydrycie i kalcyecie. Jeden z głównych typów inkluzji to wrostki o kształcie geometrycznym – prostopadłościennym – typowe dla anhydrytu. Ponadto występują inkluzje o kształcie mniej regularnym lub owalnym. Inkluzje często są jednofazowe, stwierdzono też obecność asocjacji dwufazowych *sensu stricto* (typowa faza ciekła i faza gazowa). Zaobserwowano zbliżone, ale też zróżnicowane stosunki fazy ciekłej do gazowej (L : V).

Badania temperaturowe (grzania i zamrażania) przeprowadzono z wykorzystaniem różnych minerałów (anhydryt,

dolomit, kalcyt) i różnych próbek skał pochodzących z bardzo dużej głębokości (ponad 3700 m). Temperatura homogenizacji wodnych inkluzji dwufazowych wynosi 163–192°C, przy czym wyższe wartości uzyskano w przypadku inkluzji wykazujących cechy rozciągania (tab. 1).

Temperatura eutektyku określona w wyniku badania niektórych inkluzji ogólnie odpowiada wartościom: ok. –42°C (dolomit i kalcyt) oraz ok. –37°C (anhydryt).

Temperatura eutektyku – pierwszego topnienia – poniżej –21°C wskazuje na obecność w roztworach jonów wapnia i/lub magnezu wraz z NaCl (Shepherd i in., 1985). Temperatura ok. –50°C jest zbliżona do eutektyku układu NaCl–CaCl₂–MgCl₂–H₂O.

W przypadku prostego układu NaCl–H₂O temperatura topnienia lodu (T_m) wynosząca –10°C odpowiada zasoleniu ok. 14% wag. ekw. NaCl (Brown, 1989; Bodnar, 2003).

Przeprowadzona analiza inkluzji fluidalnych jest jedynie analizą wstępną ze względu na duże zróżnicowanie materiału badawczego i ograniczoną ilość wrostków nadających się do badań. Uzyskane wartości temperatury są wyższe niż uzyskane w przypadku materiału z otworu wiertniczego Gielczew IG 5, z próbek z dużo mniejszej głębokości.

Karbon

Próbki do badań inkluzji fluidalnych występujących w skałach formacji karbońskich pobrano na obszarze Lubelszczyzny i Gór Świętokrzyskich (Jarmolowicz-Szulc, 2013; Kozłowska i in., 2013; fig. 1C). Oznaczenia temperatury homogenizacji inkluzji dwufazowych wynoszą: 84–138°C dla kalcytu, 70–117°C dla ankerytu (tab. 1, tabl. 1: 3–4) i 58–160°C dla kwarcu. Są one zbliżone do oznaczeń próbek z Lubelskiego Zagłębia Węglowego oraz innych basenów karbońskich (Muche i in., 1994). W stosunku do wyników wcześniejszych badań inkluzji (homogenizacja), nowe wyniki pomiarów temperatury topnienia lodu badanych inkluzji implikują wniosek o złożonym składzie analizowanych fluidów. W najprostszy sposób można to przedstawić w postaci równoważnika NaCl. W systemie H₂O–NaCl zasolenie fluidów z obszaru Lubelszczyzny sięga 3,76–8,78% wag. ekw. NaCl. Gęstość fluidów wynosi prawie 1 g/cm³. Zasolenie odpowiadające temperaturze topnienia lodu wynoszącej –2,3°C to 3,85% wag. ekw. NaCl (program AqSo5e – Bakker, 2003). Temperatura eutektyku, wynosząca –30, a nawet –40°C, świadczy jednak (zwłaszcza w przypadku węglanów), że w inkluzjach istnieją układy solankowe bardziej złożone niż prosty system H₂O–NaCl, jak np. H₂O–NaCl–CaCl₂–MgCl₂ (Shepherd i in., 1985; Bodnar, 2003). Wypełnienie niektórych inkluzji może też wskazywać na obecność fluidów mieszanych typu H₂O–CO₂ (Jarmolowicz-Szulc, 2013).

Dla piaskowców karbonu z Lubelskiego Zagłębia Węglowego temperatura homogenizacji inkluzji wynosi 75–120°C (cement węglanowy) lub 100–110°C (cement kwarcowy).

Perm

Czerwony spągowiec

W przypadku skał czerwonego spągowca (fig. 1B) badano trzy zasadnicze typy wypełnień przestrzeni porowej: cement węglanowy, kwarcowy i siarczanowy.

Próbki cementu węglanowego (tabl. I: 4), poza analizą inkluzji fluidalnych, poddano również badaniom pod kątem składu izotopowego tlenu i węgla (Jarmołowicz-Szulc, 1998a, 1999a, 2009c).

Z badań inkluzji fluidalnych w spoiwie skał czerwonego spągowca (Jarmołowicz-Szulc, 1995a, 1997, 1999b; Maliszewska i in., 1997, 2008; Kuberska, 1999, 2004) wynika, że:

- inkluzje są bardzo liczne w ziarnach detrytycznych;
- niektóre rodzaje spoiw są całkowicie nieczytelne, co utrudnia obserwację wrostków;
- inkluzje występujące w spoiwie są nieliczne i rzadko osiągają wielkość kilku mikrometrów;
- brak jest jakiegokolwiek prawidłowości w rozmieszczeniu, częstości występowania czy charakterystyce (kształt, fazowość itp. inkluzji) wrostków (Jarmołowicz-Szulc, 1999b).

Inkluzje fluidalne występujące w skałach czerwonego spągowca nie fluoryzują ani w świetle niebieskim, ani w nadfiolecie. Minimalne świecenie zaobserwowano tylko w przypadku próbek ze złoża gazu ziemnego Paproć–Cicha Góra (tabl. I: 4–5). Kształt inkluzji jest bardzo zróżnicowany. Niektóre są owalne, inne mniej lub bardziej wydłużone czy też całkowicie bezkształtne. Tylko w cemencie anhydrytowym występują wrostki o zdecydowanie geometrycznym – zbliżonym do prostokątnego – kształcie. Ich zmienne ułożenie – raz wydłużeniem równoległe do kierunków krystalograficznych, raz prostopadłe do nich – nie pozwala jednak na wyciągnięcie wniosków co do istnienia jakiegokolwiek prawidłowości między kształtem inkluzji a jej położeniem w kryształach.

Inkluzje fluidalne w utworach czerwonego spągowca są pierwotne i wtórne, dwu- i jednofazowe (Jarmołowicz-Szulc, 1999a). Stosunek ilości fazy ciekłej do gazowej w inkluzjach dwufazowych jest zróżnicowany ze względu na występowanie wrostków w różnego typu cementach, na ogół jednak zdecydowanie przeważa ciecz. Pozycja inkluzji w spoiwie często jest trudna do określenia, ponieważ nie zaobserwowano jednoznacznych relacji między ułożeniem wrostków a kierunkami krystalograficznymi. Nie wydzielono zdecydowanych zespołów pierwotnych inkluzji dwufazowych (ang. *fluid inclusion assemblage* – FIA, patrz: Goldstein, Reynolds, 1994), a jedynie inkluzje pojedyncze. Zespoły inkluzji jednofazowych na ogół są wtórne lub pseudowtórne (Jarmołowicz-Szulc, 2009c).

Temperatura homogenizacji inkluzji w skałach czerwonego spągowca jest zróżnicowana w zależności od typu cementu i jest to: 100–130°C dla cementu anhydrytowego, 90–120°C dla cementu węglanowego oraz 131–133°C dla cementu kwarcowego. Oznaczenia temperatury nie wykazują korelacji z wynikami badań izotopowych (z wyjątkiem cementu węglanowego skał z rejonu Paproć–Cicha Góra). Zasolenie fluidów z inkluzji solankowych jest zmienne –

wynosi 2–10% wag. ekw. NaCl, przy czym temperatura eutektyku (od –40 do –30°C) wskazuje na bardziej złożone układy solne – np. H₂O–NaCl–MgCl₂. Solanka w inkluzjach z regionu Paproć–Cicha Góra i w cementach skał z niektórych otworów ma gęstość nieco powyżej 1g/cm³, podobnie jak pozostałe bardziej złożone fluidy inkluzji.

W cemencie anhydrytowym na obszarze Paproć–Cicha Góra w wyższej, cechsztyńskiej części profilu występują inkluzje węglowodorów gazowych. Jest to metan z domieszką azotu. Obecność tych inkluzji świadczy o tym, że w cechsztynie następował napływ gazu do skał.

Cechsztyń

W badanym rejonie (fig. 1B; zachodnia Polska) węglany cechsztynu cyklotemu Stassfurt (PZ2), znane jako dolomit główny – Ca₂, zawierają płytkie facje platformowe i basenowe. Utwory te tworzą najbogatszą ropną równię węglanową w Polsce. Węglanowa platforma Ca₂ składa się z sukcesji oolitowych, onkolitowych, peloidalnych greinstonów/ pakstonów i lagunowych madstonów o miąższości do 80 m. Rozwinęła się ona na powierzchni starszej platformy siarczanowej. W tym samym czasie w basenie osadzały się ciemne, drobnolaminowane głębokowodne madstony. Do badań wykorzystano materiał z otworu wiertniczego SG-1, którego profil składa się w większości z laminowanej facji madstonowej (Jarmołowicz-Szulc, Jasionowski, 2009). Analizowano inkluzje fluidalne z dwóch głównych typów minerałów – węglanów (tabl. I: 6) i kwarcu, wypełniającego szczeliny i spękania. Zaobserwowano następujące typy inkluzji: jednofazowe (gaz/ solanka), dwufazowe (solanka i gaz), trójfazowe (woda, ropa naftowa i gaz). Pierwotne inkluzje dwufazowe homogenizują w temperaturze 68–132°C, przy czym najwyższa temperatura odpowiada inkluzjom wykazującym cechy rozciągania (Jarmołowicz-Szulc, Jasionowski, *op. cit.*). Temperatura eutektyku wynosi ok. –56°C dla dolomitu i kalcytu oraz ok. –50 i –56°C dla anhydrytu. Temperatura kotektyku jest bliska –37°C dla dolomitu i kalcytu oraz –50°C dla anhydrytu.

Temperatura eutektyku, wynosząca poniżej –21°C, wskazuje na obecność we fluidzie jonów wapnia i/lub magnezu wraz z NaCl (np. Goldstein, Reynolds, 1994). Temperatura eutektyku ok. –56°C i temperatura kotektyku ok. –40°C odpowiadają obecności układu solnego NaCl–CaCl₂–MgCl₂–H₂O, co oznacza, że są związane z systemem chemicznym rozpuszczonych jonów Cl[–], Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ i Fe²⁺.

W przypadku kalcytu zaobserwowano prawidłowość w rozkładzie inkluzji fluidalnych – wewnętrzna część kryształów jest słabo przejrzysta i bogata w inkluzje, a zewnętrzna część – jasna i prawie pozbawiona inkluzji (np. otwór SG-1, głęb. 3256,34 m; tabl. I: 6). Ta zmienność znajduje odbicie w pewnym zróżnicowaniu temperatury homogenizacji. Inkluzje w części zewnętrznej homogenizują w temperaturze 68°C, podczas gdy w części wewnętrznej – powyżej 70°C (tabl. 1). Występujące w dolomicie (otwór SG-1, próbki 16

i 17) solankowe inkluzje dwufazowe homogenizują w wyższej temperaturze – ok. 116,6°C. Jasne i ciemne inkluzje jednofazowe zawierają dwutlenek węgla i metan, a ich temperatura homogenizacji wynosi odpowiednio 8 i –85°C (otwór SG-1, próbka 17).

W anhydrylic występują trzy rodzaje inkluzji. Dwa z nich różnią się wielkością; te inkluzje mają kształt prostokątny i nie wykazują cech rozciągania. Mniejsze inkluzje (3–4 μm) homogenizują w ciecz w temperaturze 106°C, większe (6–10 μm) – w 122°C.

Temperatura topnienia lodu wynosi ok. –15°C w zewnętrznej części kryształów kalcytu oraz od –6 do –10°C w wewnętrznej części, co wskazuje na zasolenie fluidów, które w prostym układzie NaCl–H₂O zmienia się od 14% wag. ekw. NaCl (Brown, 1989; Bodnar, 2003) do 9–13% wag. ekw. NaCl. W przypadku bardziej skomplikowanych systemów zasolenie należy szacować z uwzględnieniem CaCl₂.

Mimo że badane minerały występują na znacznej głębokości (ponad 3000 m) i są bardzo podatne na działanie ciśnienia i temperatury, mogły krystalizować z gorących zasolonych wód (Aulstead i in., 1988).

Dolomityzacja osadów Ca₂ w rejonie Gorzowa Wielkopolskiego jest wiązana z refluksiem silnie zasolonych wód morskich w środowisku o nieco podwyższonej temperaturze. Inkluzje fluidalne w kwarcu wskazują na temperaturę 70–100°C i wysokie zasolenie. Skład izotopowy tlenu wód mieści się w przedziale 5–10‰ (SMOW). Z badań inkluzji fluidalnych wynika, że dedolomityzacja zachodziła prawdopodobnie w trakcie pogrzebienia, w temperaturze ok. 100–120°C (Jarmolowicz-Szulc, Jasionowski, 2009).

Jura

Do badań temperaturowych wykorzystano próbki piaskowców jurajskich z otworów wiertniczych w rejonach częstochowsko-wieluńskim i świętokrzyskim (Kozłowska, Jarmolowicz-Szulc, 2009; Jarmolowicz-Szulc, 2013). W próbkach tych występują dwa typy wypełnienia przestrzeni porowej cementem węglanowym: kalcyt oraz syderyt z ankerytem, przy czym syderyt występuje w postaci romboedrów lub ooidów.

Zaobserwowane wrostki ciekło-gazowe są nieliczne i niewielkie (zwykle 1–3 μm). Kształt inkluzji jest nieco zróżnicowany, ale nie stwierdzono przewagi żadnej z form. Niektóre inkluzje są owalne, inne mniej lub bardziej regularne lub zupełnie bezkształtne (tabl. II: 1). Niekiedy wykazują one cechy rozciągania. Inkluzje fluidalne wydają się być głównie pierwotne; najczęściej są jednofazowe, rzadziej dwufazowe. Stosunek ilości fazy ciekłej do gazowej w inkluzjach dwufazowych jest zróżnicowany, jednak na ogół zdecydowanie przeważa ciecz. Niekiedy dwufazowość jest wynikiem współistnienia dwóch faz typu L1 i L2. Często trudno określić pozycję inkluzji względem spoiwa, co wynika z braku jednoznacznych relacji między ułożeniem wrostków a kierunkami krystalograficznymi. Wydzielenie (zaobserwowanie pod mikroskopem) zdecydowanych zespołów inkluzji dwufazowych (patrz: Goldstein, Reynolds, 1994) jest praktycznie niemożliwe z uwagi na małą liczebność wrostków dwufazowych. W niektórych przypadkach można wyodrębnić asocjacje samych inkluzji jednofazowych we wszystkich zbadanych próbkach.

Jak wynika z tabeli 2, tylko w przypadku nielicznych fluidalnych inkluzji dwufazowych udało się uzyskać pełne oznaczenia temperatury. W większości dotyczy to badań temperatury homogenizacji, na ogół możliwe było też określenie temperatury topnienia lodu po uprzednim zamrożeniu inkluzji. W przypadku inkluzji jednofazowych wyznaczono temperaturę topnienia lodu, nie zaobserwowano bowiem metastabilnego tworzenia się pęcherzyka kontrakcyjnego, co umożliwiłoby oznaczenie temperatury homogenizacji.

W spoiwie kalcytowym w próbkach skał pobranych z otworu wiertniczego Nawsie 1 (głęb. 3108–3602 m) inkluzje są dość liczne. Mają rozmiary od bardzo małych (poniżej 1 μm) do średnich (4–5 μm). Niejednokrotnie zdiagnozowanie liczby faz w tych wrostkach (jednofazowe, dwufazowe?) jest utrudnione z uwagi na ich wielkość, ale w wielu punktach nie sprawia to problemu. Z obserwacji szlifów i preparatów dwustronnie polerowanych wynika, że niekiedy inkluzje są dużo lepiej widoczne w płycie cienkiej niż w grubszym preparacie. Z grubością preparatu wiąże się także trudność w prawidłowym zdiagnozowaniu, które inkluzje znajdują się w spoiwie, a które w ziarnie detrytycznym, po-

Tabela 2

Charakterystyka inkluzji fluidalnych w spoiwach skał osadowych jury i miocenu oraz w wypełnieniach żyłowych paleogenu

The characteristics of fluid inclusions in cements of the Jurassic and Miocene sedimentary rocks and in the Paleogene vein fillings

Region	Wiek skał w otworach	Typ spoiwa	Charakterystyka inkluzji [°C]		
			T_h	T_e/T_c	T_m
Karpaty	jura	węglany	50,0–60,5 81,8–146	od –44 do –34 –40	od –0,2 do –5,2
Zapadlisko przedkarpacie	miocen	węglany siarczany kwarc	163–192	–34	od –6,5 do –3,3
Karpaty	paleogen	kwarc	150–222	–	–

T_e – temperatura eutektyku, T_c – temperatura kotektyku, T_m – temperatura topnienia lodu, T_h – temperatura homogenizacji
 T_e – eutectic temperature, T_c – cotectic temperature, T_m – ice melting temperature, T_h – homogenization temperature

nieważ np. w ziarnowcu spoiwo często występuje w superpozycji nad ziarnami. Inkluzje nie fluoryzują w nadfiolecie.

Wyróżniono trzy typy asocjacji inkluzji fluidalnych w kalcycie. Jedną z nich są jasne wrostki o kształcie owalnym (FIA1), które pod mikroskopem wykazują cechy inkluzji pierwotnych lub pseudowtórnych. Drugą grupę stanowią ciemne inkluzje o kształcie mniej regularnym (FIA2). Inkluzje w kalcycie na ogół są jednofazowe, asocjacje dwufazowe *sensu stricto* (typowa faza ciekła i faza gazowa) raczej nie występują, czasem spotyka się pojedyncze osobniki (FIA3). W niektórych przypadkach dwufazowość może też być artefaktem. Trzeci typ asocjacji wrostków obejmuje inkluzje wyraźnie wtórne, bardzo małe, o kształcie od owalnego po okrągły (FIA4). Badania temperaturowe (grzania i zamrażania) inkluzji w kalcycie przeprowadzono z wykorzystaniem 11 próbek skał pobranych z głębokości 3108–3602 m. Wyniki oznaczeń mikrotermometrycznych zamieszczono w tabeli 2. Temperatura eutektyku określona w wyniku badań niektórych inkluzji wynosi od ok. -44 do -34°C (kalcyt). Temperatura homogenizacji wodnych inkluzji dwufazowych jest stosunkowo niska (50 – 61°C).

Homogenizacja pozornie dwufazowej inkluzji, w rzeczywistości zawierającej dwie cieczy (widoczne pod mikroskopem jako faza jasna i ciemna), nastąpiła w temperaturze 146°C . Dla porównania: temperatura na głębokości 3048–4850 m w otworze wiertniczym Nawsie 1 wynosi obecnie 74 – 116°C , co pozwala na ekstrapolację temperatury (75 – 85°C) na głębokości pobrania próbek (3108–3062 m).

Przewaga inkluzji jednofazowych we wszystkich badanych próbkach z otworu Nawsie 1 wskazuje na powstanie cementu kalcytowego w niskiej temperaturze (poniżej 50°C ; por. Goldstein, Reynolds, 1994). Temperatura homogenizacji określona dla nielicznych inkluzji dwufazowych również jest niewysoka; jej oznaczenia są zbliżone do pojedynczych wyników uzyskanych po zamrożeniu i metastabilnej generacji pęcherzyka.

Innym rodzajem reakcji na wzrost ciśnienia wewnętrzne jest powstawanie spękań, powodujących cieknięcie inkluzji (Roedder, 1984). Inkluzje mogą być następnie ponownie wypełnione wodą formacyjną, co jednak pociąga za sobą zmianę parametrów temperaturowych. W przypadku badanych próbek nie zaobserwowano oznak cieknięcia, tak więc wyniki zamrażania inkluzji można uznać za miarodajne.

Temperatura eutektyku (pierwszego topnienia) wynosząca poniżej -21°C wskazuje na obecność we fluidach jonów wapnia i/lub magnezu wraz z NaCl (Shepherd i in., 1985). Temperatura z zakresu od -40 do -30°C jest zbliżona do eutektyku układu $\text{NaCl}-\text{CaCl}_2-\text{MgCl}_2-\text{H}_2\text{O}$.

W przypadku prostego układu $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ temperatura topnienia lodu wynosząca od $-5,2$ do $-0,2^{\circ}\text{C}$ odpowiada niewielkiemu zasoleniu (ok. 0,3–8,2% wag. ekw. NaCl; Brown, 1989; Bodnar, 2003).

Wyniki analizy inkluzji fluidalnych świadczą o dużym zróżnicowaniu materiału badawczego i o ograniczonej ilości wrostków nadających się do analizy. Uzyskane wartości temperatury i zasolenia są wyraźnie niskie. Oznacza to, że minerały krystalizowały z niezbyt gorących i słabo zasolonych wód.

Z porównania oznaczeń temperatury homogenizacji z danymi temperaturowymi ekstrapolowanymi z otworu wynika, że na danej głębokości wartości „otworowe” są zdecydowanie wyższe niż temperatura homogenizacji. Może to wskazywać na trwałe podgrzanie inkluzji dwufazowych w wyniku długotrwałego przebywania minerału w temperaturze znacznie przewyższającej temperaturę homogenizacji.

REJON KARPAT I ZAPADLIKA PRZEDKARPACKIEGO

W porównaniu ze strukturami osadowymi Niżu Polskiego te z obszaru Karpat i zapadliska przedkarpackiego wykazują odmienność genetyczną i strukturalną. Jak wynika z przeprowadzonych badań, inny jest też charakter inkluzji w skałach udostępnionych otworami wiertniczymi na obszarze zapadliska oraz występujących na powierzchni w rejonie górskim.

Miocen

Zbadano inkluzje w kalcycie z próbek pobranych z otworów wiertniczych w polskiej i ukraińskiej części zapadliska przedkarpackiego (Jarmołowicz-Szulc i in., 2011, 2015). Wrostki ciekło-gazowe w skałach w polskiej części zapadliska są dość liczne, a ich wielkość zmienia się od bardzo małej (poniżej $1\text{ }\mu\text{m}$) do średniej (2 – $3\text{ }\mu\text{m}$). Niewielki rozmiar inkluzji niejednokrotnie uniemożliwia przeprowadzanie oznaczeń termometrycznych, a także stwarza problem przy określeniu rodzaju tych wrostków (jednofazowe?), jednak w wielu punktach badania udało się przeprowadzić. Niekiedy inkluzje są dużo lepiej widoczne w płycie cienkiej niż w grubszym preparacie dwustronnie polerowanym, w którym spoiwo często jest w superpozycji nad ziarnami kwarcu, co może być przyczyną błędnej diagnozy.

Jeden z głównych typów inkluzji w kalcycie to wrostki o kształcie owalnym (tabl. I: 2). Ponadto występują inkluzje o kształtach mniej regularnych. Wielkość wrostków wynosi 1 – $5\text{ }\mu\text{m}$, rzadko więcej. Na ogół są one jednofazowe, asocjacje dwufazowe *sensu stricto* (typowa faza ciekła i faza gazowa) raczej nie występują. W niektórych przypadkach dwufazowość może być artefaktem. Widoczne w małych powiększeniach pod mikroskopem wrostki, które niekiedy mogą zostać uznane za dwufazowe, są albo wspólnie uwiecznionymi dwiema fazami ciekłymi, albo formami powstałymi w efekcie rozciągania i podziału inkluzji.

Do badań temperaturowych (grzania i zamrażania) wykorzystano kalcyt z próbek skał pochodzących z różnej głębokości. Temperatura homogenizacji wodnych inkluzji dwufazowych wynosi 163 – 192°C , przy czym wyższe wartości odpowiadają inkluzjom wykazującym cechy rozciągania (tab. 2). Temperatura eutektyku określona dla niektórych inkluzji to ok. -34°C (kalcyt).

Paleogen

W Karpatach, w strefach melanżu tektonicznego, w utworach o strukturze bloków w matriksie, w wypełnieniach spękań i szczelin, inkluzje fluidalne występują w obrębie mi-

neralizacji węglanowo-kwarcowej i nagromadzeń substancji bitumicznej (Jarmołowicz-Szulc, 2000, 2001b, 2009c, d; Jarmołowicz-Szulc, Dudok, 2000, 2001, 2005; Jarmołowicz-Szulc i in., 2008, 2012). Kwarc drobnokrystaliczny jest młodszy od kalcytu lub równowiekowy z nim; autigeniczny kwarc grubokrystaliczny występuje po kalcyście i jest późniejszy od substancji bitumicznej lub niekiedy równowiekowy z nią. Dolomit i kalcyt są dwojakiego rodzaju – „czyste” i manganowe. Kwarc wykrył się w formie drobnych osobników na ściankach żyłek lub jako wyraźne automorficzne kryształy (kwarc typu diament marmaroski) w wypełnieniach bitumicznych i/lub węglanowych. W kwarcu i węglanach licznie występują inkluzje fluidalne (tabl. II: 3–6). Temperatura homogenizacji inkluzji solankowych w kwarcu wynosi 150–222°C (tab. 2). Węglowodory są obecne w postaci inkluzji pierwotnych w diamentach marmaroskich i wtórnych w kalcyście; są to węglowodory stałe, ciekłe i gazowe. Zaobserwowano inkluzje homogeniczne i heterogeniczne. Niekiedy stałe bituminy występują w kwarcu w takiej ilości, że prowadzi to do prawie całkowitego zabarwienia kryształów na czarno. W wyniku badań stwierdzono, że sekwencja genetyczna minerałów i materii organicznej w melanżu w rejonie Jabłonki–Cisna–Kalnica jest następująca: kalcyt I/ dolomit I; kwarc I; kalcyt II/ dolomit II; substancja bitumiczna; kwarc (typu diament marmaroski). Ustalenie zależności między wydzielonymi strefami melanżu a strefami migracji węglowodorów oraz ustalenie głębokości „zakorzenienia” stref melanżu związanych ze strefami ścięć pozasekwencyjnych wymaga przeprowadzenia badań sejsmicz-

nych i dalszych badań geochemiczno-mineralogicznych. Ostatnio Jankowski, Leśniak i Matyasik (2015, inf. ustna) podali podobną sekwencję mineralną, a ponadto stwierdzili obecność gipsu o wymiarach mikrometrycznych.

Dane obliczone na podstawie różnych parametrów i wyniki szczegółowych badań inkluzji fluidalnych wskazują, że przez skały osadowe Karpat fliszowych migrowały zróżnicowane fluidy, ewidentnie wykorzystujące ścieżki tektoniczne. Fluidy te odpowiadają za mineralizację żyłową i za występowanie bituminów. Bituminy różnią się pod względem stopnia przeobrażenia termicznego, prawdopodobnie wskutek niehomogenicznej genezy.

Migracja fluidów solankowych o charakterze wodnych roztworów chlorkowo-siarczanowym z dwutlenkiem węgla zachodziła na badanym obszarze w trakcie powstawania wczesnego kalcytu, w temperaturze powyżej 235°C (Jarmołowicz-Szulc, Dudok, 2005; Jarmołowicz-Szulc i in., 2012). Krystalizacja kwarcu następowała po krystalizacji kalcytu, a diamenty marmaroskie tworzyły się w stosunkowo niskiej temperaturze. Fluid kwarcowy miał niewielkie zasolenie (tab. 2). Jak wynika z obecności nagromadzeń bituminów i występowania inkluzji węglowodorowych w kwarcu, w skałach migrowały węglowodory. Pułapki w skale macierzystej zawierały nagromadzenia wczesnej ropy, która później została zmieniona przez migrujące solanki. Wysoka temperatura powodująca zmiany była wynikiem migracji zmineralizowanych fluidów odpowiedzialnych za krystalizację kalcytu i kwarcu. Migracja węglowodorów i solanek zachodziła cyklicznie w obrębie żył.

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Wykorzystany materiał – spoiwo skał osadowych paleozoiku, mezozoiku i paleogenu – jest trudny – zarówno pod względem przeprowadzania analizy inkluzji, jak i interpretacji. Inkluzje pierwotne występują rzadko, są pojedyncze i nie mają jednoznacznej pozycji w minerałach, co utrudnia określenie ich cech i genezy. Czynniki utrudniającymi badania temperaturowe są także: wielkość wrostków, sposób przygotowania preparatu i przejrzystość próbek. W przypadku inkluzji, których wymiary wynoszą przeciętnie 1–3 µm (rzadko więcej), trudno jest prowadzić miarodajne obserwacje zmian zachodzących w ich wnętrzu w trakcie zamrażania i podgrzewania. Procesy te są wyraźniej widoczne na stoliku Linkam niż w stosowanym wcześniej zestawie Fluid Inc. System, jednak problem stanowi zaciemnienie obrazu mikroskopowego, a tym samym brak przejrzystości.

Temperatura homogenizacji jest zróżnicowana w zależności od otworu i rodzaju cementu. W przypadku pojedynczych inkluzji otrzymano różne wartości temperatury homogenizacji dla poszczególnych minerałów wypełniających przestrzeń porową. W przypadku inkluzji dwufazowych temperatura homogenizacji kalcytu, kwarcu i anhydrytu jest inna. Minerały takie jak kalcyt i anhydryt są podatne na działanie czynników zewnętrznych (ciśnienie i temperatura).

Interpretacja wyników oznaczeń mikrotermometrycznych w odniesieniu do diagenety jest trudna. Większość próbek skał pochodzi z dużej głębokości (od kilkuset do nawet 3000 m), co wraz z niejednokrotnie wysoką temperaturą homogenizacji inkluzji i z ich poroziąganiem może wskazywać, że wyniki częściej odzwierciedlają etap pogrzebienia niż pierwotne warunki powstawania cementów.

Należy podkreślić, że z badaniami diagenety są związane dwa zasadnicze problemy, dotyczące analizy inkluzji fluidalnych i interpretacji wyników. Nawet jeśli przesłanki petrograficzne wskazują na uwieszenie wrostków w czasie wzrostu kryształu, temperatura topnienia lodu i temperatura homogenizacji mogą być zróżnicowane z powodu reekwilibracji (Goldstein, Reynolds, 1994). W przypadku kryształów, które powstawały w mieszanych fluidach, zakres temperatury topnienia lodu może być szeroki (odpowiada to zmienności zasolenia). Z kolei głębokie pogrzebienie może się wiązać z rozciąganiem i cieknięciem inkluzji. Inkluzje zamknięte w niskiej temperaturze mogą być niestabilne w czasie ogrzewania związanego z pogrzebaniem (Burruss, 1981; Goldstein, Reynolds, 1994). Dochodzi wtedy do nieelastycznej deformacji ścianek inkluzji, będącej wynikiem wzrostu wewnętrznego ciśnienia. Taka deformacja powodu-

je wzrost objętości, a tym samym wzrost temperatury homogenizacji. Z uwagi na niejednorodność fazowości inkluzji w anhidrycie ze skał dewońskich można by przypuszczać, że uzyskana temperatura homogenizacji (ok. 180°C) wskazuje właśnie na taki przypadek, jednak jest ona zbliżona do temperatury wyznaczonej przez Aulstead i in. (1988) – dewońskie skały z Kanady, również z bardzo dużej głębokości – co może świadczyć o tym, że minerały krystalizowały z gorących, zasolonych wód.

Kontynuując dyskusję o rodzaju reakcji na wzrost ciśnienia wewnętrznego polegającej na powstawanie spękań, powodujących cieknięcie inkluzji (Roedder, 1984), należy podkreślić, że takie inkluzje mogą zostać ponownie wypełnione wodą formacyjną, co spowoduje zmianę parametrów temperaturowych. O ile w przypadku badanych próbek nie zaobserwowano symptomów cieknięcia, to wyniki zamrażania i homogenizacji inkluzji można uznawać za miarodajne.

Jak już wspomniano, temperatura eutektiku (pierwszego topnienia) wynosząca mniej niż –21°C wskazuje na obecność we fluidach jonów wapnia i/lub magnezu wraz z NaCl (Shepherd i in., 1985); temperatura ok. –50°C jest zbliżona do eutektiku układu NaCl–CaCl₂–MgCl₂–H₂O.

W prostym układzie NaCl–H₂O temperatura topnienia lodu wyznaczona w wyniku badań odpowiada konkretnej wartości zasolenia (Brown, 1989; Bodnar, 2003).

Przeprowadzone analizy inkluzji fluidalnych niejednokrotnie można uznać za wstępne ze względu na duże zróżnicowanie materiału badawczego i ograniczoną ilość wrostków nadających się do badań.

W niektórych partiach spoiwa zaobserwowano porożnięte inkluzje, co oznacza, że „zapisały” one warunki p-T, na które wpływały procesy zachodzące później niż tworzenie cementu. Na podstawie takich inkluzji nie można odtworzyć pierwotnych warunków krystalizacji cementu, ponieważ nie jest spełniony podstawowy warunek – zamknięcie układu.

Innym zagadnieniem badawczym jest mineralizacja żyłowa występująca w rejonie karpackim w granicach Polski w okolicy Cisnej, Kalnicy, Jabłonek i Rabego oraz w rejonie Mszany Dolnej. Tę mineralizację węglanowo-kwarcową należy rozpatrywać w nawiązaniu do wyraźnych nagromadzeń substancji bitumicznej zarówno w jednostkach śląskiej i du-

kielskiej (por. Jaromłowicz-Szulc, Dudok, 2000, 2005; Dudok i in., 2002; Kotarba i in., 2005; Jaromłowicz-Szulc i in., 2008), jak i w melanżu tektonicznym (Jankowski, Jaromłowicz-Szulc, 2009; Jaromłowicz-Szulc, 2009b). Ich wzajemna relacja często jest widoczna już w skali makroskopowej i doskonale uwidacznia się w skali mikroskopowej wraz ze zróżnicowaniem chemicznym. Można uznać, że w dolomicie wypełnienie kalcytowe (kalcyt I) jest starsze niż substancja bitumiczna i automorficzny kwarc (typu diament marmaroski). Z kolei krystaliczny kwarc tworzący małe żyłki powstał przed białym kalcytem. Substancja bitumiczna – różnie określana w literaturze, np. asfaltyt (Karwowski, Dorda, 1986), antraksolit (Dudok i in., 2002), pirobitumin (Marynowski w: Jaromłowicz-Szulc i in., 2012) – na ogół zajmuje środkową część żyłek, niekiedy otula ziarna kwarcu lub wypełnia bardzo cienkie żyłki. Kwarc wykrył się jako drobne osobniki na ścianach żyłek lub w formie wyraźne automorficznych kryształów (typu diament marmaroski) w wypełnieniach bitumicznych i/lub węglanowych.

Z badaniami i interpretacją wyników badań inkluzji fluidalnych wiążą się pewne problemy. Nawet jeśli przesłanki petrograficzne wskazują na uwięzienie wrostków w czasie wzrostu kryształu, oznaczone wartości temperatury topnienia i temperatury homogenizacji mogą się zmienić w wyniku reekwilibracji (Goldstein, Reynolds, 1994). W przypadku kryształów, które powstały w mieszanych fluidach, temperatura topnienia lodu może mieć szeroki zakres, co jest zgodne ze zmianami zasolenia. Drugi problem stanowi głębokie pogrzebanie, którego efektem może być rozciąganie i cieknięcie inkluzji (ang. *stretching*, *leakage*). Inkluzje uwięzione w niskiej temperaturze mogą być niestabilne w czasie ogrzewania związanego z pogrzebaniem (Burruss, 1981; Goldstein, Reynolds, 1994). Dochodzi do nieelastycznej deformacji ścianek inkluzji będącej wynikiem wzrostu wewnętrznego ciśnienia. Również spękania, powodujące cieknięcie inkluzji, powstają wskutek wzrostu ciśnienia wewnętrznego (Roedder, 1984). Takie inkluzje mogą zostać ponownie wypełnione wodą formacyjną, co będzie się wiązało ze zmianą parametrów temperaturowych. Jeśli jednak nie występują symptomy cieknięcia, wyniki zamrażania inkluzji, a co za tym idzie estymację zasolenia, można uznać za miarodajne.

WNIOSKI

1. W cemencie węglanowym (syderyt, ankeryt, kalcyt) piaszczowców z różnych regionów Polski dwufazowe pierwotne inkluzje fluidalne są nieliczne. Na ogół przeważają inkluzje jednofazowe lub asocjacje inkluzji o zróżnicowanym stosunku faz.

2. W cemencie kwarcowym inkluzje dwufazowe występują liczniej niż w cemencie węglanowym.

3. Zasolenie fluidów w inkluzjach jest bardzo zróżnicowane, podobnie jak ich gęstość.

4. Zasolenie i gęstość fluidów są różne w zależności od regionu, głębokości i rodzaju spoiwa.

5. Na podstawie wyników badań mikrotermometrycznych paleofluidów stwierdzono istnienie różnych złożonych

układów solankowych, np. H₂O–NaCl–CaCl₂–MgCl₂, oraz obecność fluidów mieszanych, w tym H₂O–CO₂. Niekiedy w inkluzjach zamkniętych w spoiwie/minerałach występuje metan.

6. Badania inkluzji fluidalnych powinny być prowadzone w ścisłym powiązaniu z badaniami petrograficznymi, a ich wyniki należy interpretować w odniesieniu do rezultatów innych analiz, np. geochemicznych.

Podziękowania. Autorka składa serdeczne podziękowanie recenzentom, J. Parafiniukowi i M. Stefaniukowi, za życzliwość oraz za konstruktywne uwagi dotyczące manuskryptu.

LITERATURA

- AULSTEAD K.L., SPENCER R.J., KROUSE H.R., 1988 — Fluid inclusion and isotopic evidence on dolomitization, Devonian of western Canada. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **52**: 1027–1035.
- BAKKER R.J., 2003 — Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modeling bulk fluid properties. *Chem. Geol.*, **194**: 3–23.
- BAKKER R.J., 2009 — Package FLUIDS. Part 3: correlations between equations of state, thermodynamics and fluid inclusions. *Geofluids*, **9**: 63–74.
- BAKKER R.J., 2012 — Package FLUIDS. Part 4: thermodynamic modeling and purely empirical equations for H₂O–NaCl–KCl. *Min. Petrol.*, **105**: 1–29.
- BAKKER R.J., BROWN P.E., 2003 — Chapter 7. Computer modeling in fluid inclusion research. W: I. Samson i in. (red.). Fluid inclusions. *Min. Assoc. Can. Short Course Ser.*, **32**: 185–203.
- BODNAR R.J., 2003 — Chapter 4. Introduction to aqueous-electrolyte fluid inclusions. W: I. Samson i in. (red.). Fluid inclusions. *Min. Assoc. Can. Short Course Ser.*, **32**: 81–101.
- BROWN P.E., 1989 — FLINCOR: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data. *Am. Min.*, **74**: 1390–1393.
- BURRUSS R.C., 1981 — Hydrocarbon fluid inclusions in studies of sedimentary diagenesis. W: L.S. Hollister, M.L. Crawford (red.) A short course in fluid inclusions. *Min. Assoc. Can. Short Course Handbook*, **6**: 138–156.
- DUDOK I.V., KOTARBA M., JARMOŁOWICZ-SZULC K., 2002 — Employment of pyrolytic methods in geochemical studies of organic matter of the vein formation in the flysch of the Carpathian Mts. *Geol. Geokhim. Goriuch. Kop.*, **1**: 76–87.
- GOLDSTEIN R.H., REYNOLDS T.J., 1994 — Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *SEPM Short Course*, **31**.
- GOLDSTEIN R.H., ROSSI D., 2002 — Recrystallization in quartz overgrowths. *J. Sed. Res.*, **72**: 432–440.
- JANKOWSKI L., JARMOŁOWICZ-SZULC K., 2009 — Particular tectonic zones (the mélange zones) as potential and significant paths for fluid migration and mineral formation. *Mineralog. Rev.*, **59**, 1: 31–44.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 1993 — Wstępne badania inkluzji fluidalnych w skałach czerwonego spągowca. W: A. Maliszewska, M. Kuberska (red.) Analiza petrograficzna wypełnienia przestrzeni porowej w skałach osadowych czerwonego spągowca zachodniej części Niżu Polskiego. *Narod. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 1995a — Fluid inclusions in the studies of the Permian sedimentary rocks from the Polish Lowland. W: XIII International Congress on Carboniferous–Permian (XIII ICC-P), August 28–September 2, 1995, Kraków, Poland. Abstracts: 61. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 1995b — Fluid inclusions in diagenesis of the Cambrian sandstones. W: XIII European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI), Sitges, Hiszpania, 20–23.06.1995. *Boll. Espanola Min.*, **18**, 1 (Supplement): 1–2.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 1997 — Zastosowanie inkluzji fluidalnych w cementach skal paleozoiku Niżu Polskiego w poszukiwaniach ropy i gazu. *Narod. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 1998a — Studies on the filling of pore space in the Rotliegendes sedimentary rocks, SW Poland: fluid inclusions, luminescence, isotopes. W: D.A. Vanko, J.S. Cline (red.) PACROFI VII. Pan-American Conference on Research on Fluid Inclusions. Programs and Abstracts. Univ. Las Vegas, Las Vegas, Nevada, USA: 36.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 1998b — Quartz cements in the Cambrian sandstones, Żarnowiec region, N Poland: a fluid inclusion study. *Geol. Quart.*, **42**, 3: 311–318.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 1999a — Izotopowo-inkluzyjne badania spoiw diagenetycznych w obrębie złoża gazu Paproć–Cicha Góra. *Prz. Geol.*, **47**, 5: 476–477.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 1999b — Systematyka inkluzji fluidalnych w wypełnieniach przestrzeni porowej skał osadowych paleozoiku Niżu Polskiego. *Prz. Geol.*, **47**, 6: 542–546.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 2000 — Mineralogiczne i geochemiczne warunki tworzenia „diamentów marmaroskich” na podstawie badań inkluzji fluidalnych w minerałach żyłowych w Karpatach zewnętrznych. *Narod. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 2001a — Badania inkluzji fluidalnych w spoiwie kwarcowym piaskowców kambru środkowego na obszarze Bloku Łeby w Morzu Bałtyckim – implikacje diagenetyczne, izotopowe i geochemiczne. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **399**: 1–90.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 2001b — Charakterystyka wypełnień żyłowych w południowo-wschodniej części polskich Karpat (kalcyt, kwarc, bituminy). *Prz. Geol.*, **49**, 9: 785–792.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 2009a — Recent contribution to mineralogical and geochemical studies in the Carpathians. *Mineralog. Rev.*, **59**, 2: 42–55.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 2009b — Mineralogical and geochemical approach to fissure fillings in selected Carpathian units. W: ECROFI-XX 20th Biennial Conferences: European current research on fluid inclusions. fluid and melt inclusions, using bubbles to decode the Earth. Granada, Spain, September 21–27, 2009. Programme and Abstracts. Cambr. Univ. Press, Cambridge: 119–120.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 2009c — Analiza inkluzji fluidalnych w wypełnieniach przestrzeni porowej skał czerwonego spągowca w wybranych rejonach Niżu Polskiego. *Prz. Geol.*, **57**, 4: 343–349.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., 2013 — Analiza inkluzji fluidalnych. W: A. Kozłowska i in. (red.) Diagenetyka syderytowych rud żelaza jury środkowej z północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich i obszaru częstochowsko-wieluńskiego. *Arch. MNiSW*, Warszawa.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., DUDOK I.V., 2000 — Fluid inclusion studies in vein minerals of the Carpathians, Poland–Ukraine. W: Abstracts of the 11th Congress of Regional Committee in Mediterranean Neogene Stratigraphy. Fes, 27–30 September 2000. Ministry of Industry, Commerce, Energy and Mines Organize, Morocco: 132.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., DUDOK I.V., 2001 — Minerale żyłowe polskich i ukraińskich Karpat fliszowych. *Prz. Geol.*, **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. *Geol. Quart.*, **49**, 3: 291–304.

- JARMOŁOWICZ-SZULC K., JASIONOWSKI M., 2009 — Fluid inclusion and isotopic characterization of diagenetic minerals in the SG-1 borehole, W Poland. *W: ECROFI-XX 20th Biennial Conferences: European current research on fluid inclusions. fluid and melt inclusions, using bubbles to decode the Earth.* Granada, Spain, September 21–27, 2009. Programme and Abstracts. Cambr. Univ. Press, Cambridge: 121–122.
- 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. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **444**: 73–98.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., DUDOK I.V., JANKOWSKI L., 2008 — Organic matter in the Carpathian rocks from Poland and Ukraine. *W: 33rd International Geological Congress.* Oslo, Norway, 6–14 August 2008.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., KOZŁOWSKA A., KUBERSKA M., 2010a — Petrological studies, isotopic and fluid inclusion relations in the Miocene sandstones in the Polish segment of the Carpathian Foredeep. *W: XIX Congress of the Carpathian-Balkan Geological Association.* Thessaloniki, Greece, 23–26 September, 2010. Abstracts Volume. *Geol. Balk.*, **39**, 1/2: 174.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., MATYASIK I., JANKOWSKI L., 2010b — Kontynuacja badań materii organicznej i minerałów w Karpatach – wyniki z obszaru pogranicza polsko-ukraińskiego. *Pr. Nauk. INiG*, **170**: 689–694.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., KOZŁOWSKA A., KUBERSKA M., 2011 — Temperature and isotopic relations in the Middle Miocene sandstones from the Ukrainian Carpathian Foredeep Basin – a reconnaissance study. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **81**: 79–86.
- 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**, 1: 138–158.
- JARMOŁOWICZ-SZULC K., KOZŁOWSKA A., KUBERSKA M., 2015 — Characteristics of diagenesis, isotopic relations and reservoir properties of the Middle Miocene sandstones in the Carpathian Foredeep (Poland and Ukraine). *Geol. Quart.*, **59**, 4: 750–761.
- JASIONOWSKI M., 1997 — Zarys litostratygrafii osadów mioceńskich wschodniej części zapadliska przedkarpackiego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **373**: 43–60.
- KARWOWSKI Ł., DORDA J., 1986 — The mineral-forming environment of „Marmarosh Diamonds”. *Min. Pol.*, **17**, 1: 3–16.
- KOTARBA M.J., WIĘCŁAW D., KOSAKOWSKI P., KOWALSKI A., 2005 — Potencjał węglowodorowy skał macierzystych i geneza gazu ziemnego akumulowanego w utworach miocenu zapadliska przedkarpackiego w strefie Rzeszowa. *Prz. Geol.*, **53**, 1: 67–76.
- KOZŁOWSKA A.J., JARMOŁOWICZ-SZULC K.L., 2009 — Geochemical and mineralogical exploration of sandstones in the Lublin Carboniferous Basin, SE Poland. *W: D.R. Lentz i in. (red.) Proceedings of the 24th International Applied Geochemistry Symposium.* Fredericton, New Brunswick, Canada, June 1–4, 2009. T. 1. [b.w.], Canada: 377–380.
- KOZŁOWSKA A., FELDMAN-OLSZEWSKA A., JARMOŁOWICZ-SZULC K., KUBERSKA M., MALISZEWSKA A., 2013 — Diagenetyczne syderytowe rudy żelaza jury środkowej z północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich i obszaru częstochowsko-wieluńskiego. *Arch. MNiSW*, Warszawa.
- KUBERSKA M., 1999 — Etapy cementacji piaskowców czerwonego spągowca w świetle badań izotopowych. *Prz. Geol.*, **47**, 5: 477–478.
- KUBERSKA M., 2004 — Diagenetyczne osady czerwonego spągowca w strefie Szczecinek–Bydgoszcz (Pomorze Zachodnie). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **411**: 87–168.
- MALISZEWSKA A., KUBERSKA M., 1996 — Cementacja piaskowców czerwonego spągowca a ich porowatość i przepuszczalność. *Nafta-Gaz*, **9**: 365–373.
- MALISZEWSKA A., KUBERSKA M., 2009 — O badaniach izotopowych diagenetycznego illitu z piaskowców czerwonego spągowca Wielkopolski i Pomorza Zachodniego. *Prz. Geol.*, **57**, 4: 322–327.
- MALISZEWSKA A., KUBERSKA M., KIERSNOWSKI H., JARMOŁOWICZ-SZULC K., JACKOWICZ E., LANGIER-KUŹNIAROWA A., BORKOWSKA B., 1997 — Modele diagenetyczne osadów czerwonego spągowca w zachodniej części Niziny Polskiej. *Narod. Arch. PIG-PIB*, Warszawa.
- MALISZEWSKA A., KIERSNOWSKI H., KUBERSKA M., KOZŁOWSKA A., SIKORSKA M., JARMOŁOWICZ-SZULC K., 2008 — Litofacje i właściwości zbiornikowe piaskowców czerwonego spągowca na obszarze monokliny przed-sudeckiej. *Narod. Arch. PIG-PIB*, Warszawa.
- MUCHEZ P., MARSHALL J.D., TOURET J.L.R., VIAENE W.A., 1994 — Origin and migration of paleofluids in the Upper Viséan of the Campine Basin, northern Belgium. *Sedimentology*, **41**, 1: 133–145.
- ROEDDER E., 1984 — Fluid inclusions. *Rev. Min.*, **12**.
- SAMSON I., ANDERSON A., MARSHALL D. (red.), 2003 — Fluid inclusions. Analysis and interpretation. *Min. Assoc. Can. Short Course Ser.*, **32**.
- SHEPHERD T.J., RANKIN A.H., ALDERTON D.H.M., 1985 — A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, New York.
- SIKORSKA M., 2000 — Provenance petrological study of the Upper Vendian and Cambrian clastic material; foreland of the Pomeranian Caledonides (northern Poland). *Geol. Quart.*, **44**, 3: 237–247.

SUMMARY

Fluid inclusions – tiny portions of paleofluids may be trapped in the cements of sedimentary rocks, i.e. in the minerals filling their pore space. Studies on fluid inclusions were widely performed in different areas of Poland (Fig. 1) – in the Baltic Sea region, in the Polish Lowlands and in the Carpathians, aiming at fluid characteristics in the geological material, microthermometric measurements and application of

fluid inclusions as geothermometer, generally in respect to the petrological and geochemical research (e.g., Jarmołowicz-Szulc, 1998, 2001, 2011). Characteristics and results of microthermometric studies of fluid inclusions which occur in the cements of sedimentary rocks of the age oscillating from Cambrian to Permian and from Jurassic to Paleogene and Miocene are presented. Fluid inclusions were analyzed in the

carbonates, quartz and anhydrite cements in deposits from different boreholes drilled in the northern and central parts of Poland and/or in Paleogene rocks occurring on the surface in the south east. FI studies comprised microscopic inclusion characteristics (“fluid inclusion petrography”), observations of fluorescence and cathodoluminescence and microthermometry (Plates I, II). Due to different types of minerals, different features of the inclusions have been observed. The inclusions studied are primary and secondary in origin. They display one, two or, less frequently, three phases. The inclusions are filled by the paleofluids of variable compositions and densities. Homogenization temperatures of inclusions obtained in the minerals and rocks lie in different intervals

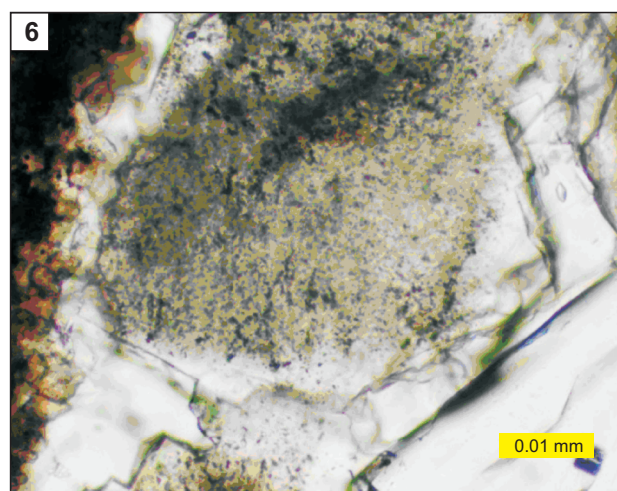
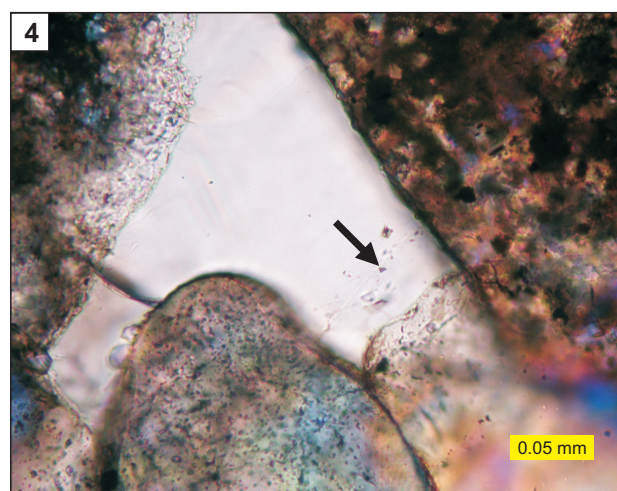
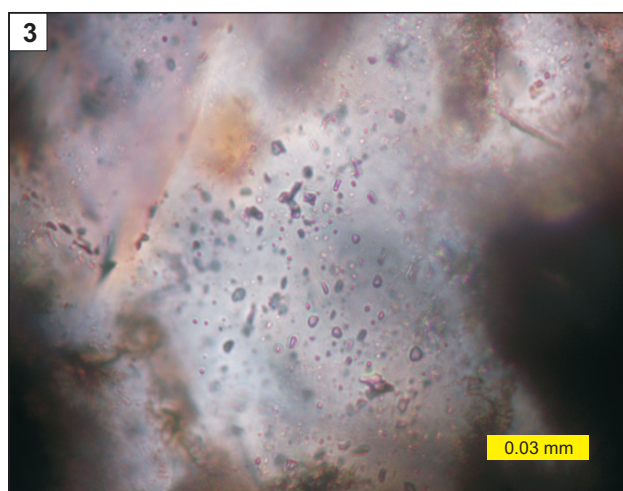
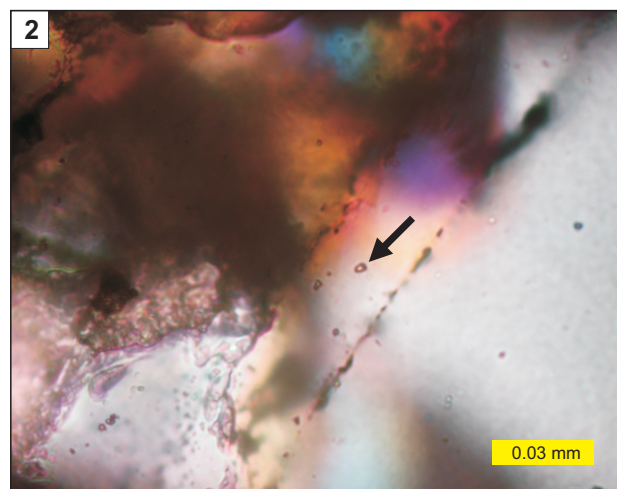
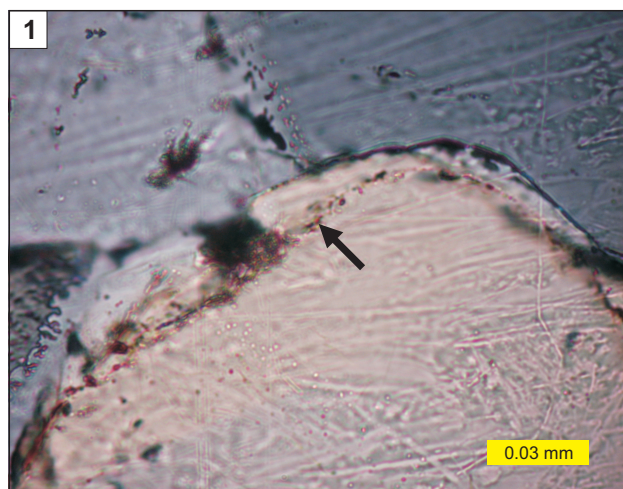
due to inclusion type, position and location, i.e. they show variability in respect to the cement type and geological history of the study area (Tables 1, 2). Densities of fluids are differentiated and the chemical systems are more or less complicated depending on the geological past. Salinities of fluids are also diverse in respect to the cement type and locality. The microthermometric results have been compared with the effects of analyses of isotopes (C, O, Sr). Data show migration of fluids in time, formation of cement generations in different basins, and the origin of quartz veins. Such an interpretation of the microthermometric analyses is enabled only when the fluid inclusion studies *sensu stricto* are combined, e.g., with the isotopic studies.

TABLICE
PLATES

TABLICA I**Inkluzje fluidalne w spoiwach badanych skał paleozoiku**

Fluid inclusions in the cements of the Paleozoic rocks studied

- Fig. 1. Dwufazowe inkluzje w obrębie cementu kwarcowego i na granicy obwódka – kwarc detrytyczny (strzałki). Otwór wiertniczy Żarnowiec IG 1, głęb. 3150,3 m. 1 nikol. Światło spolaryzowane
Two-phase inclusions in the quartz cement and at the boundary between the quartz rim and detrital grain (arrows). Żarnowiec IG 1 borehole, depth 3150.3 m. One nicol. Polarised light
- Fig. 2. Inkluzje w cemencie kwarcowym (obwódka kwarcowa) w piaskowcu kambru środkowego z obszaru Morza Bałtyckiego (strzałka). Otwór wiertniczy B-3-9/95, pr. 8. Światło spolaryzowane. 1 nikol
Inclusions in the quartz cement (a quartz rim) of the Middle Cambrian sandstone from the Baltic Sea area (arrow). B-3-9/95 borehole, sample 8. Polarised light. One nicol
- Fig. 3. Inkluzje w cemencie węglanowym w piaskowcu karbońskim. Otwór wiertniczy Terebin, głęb. 530 m. Światło spolaryzowane. 1 nikol
Inclusions in the carbonate cement of the Carboniferous sandstone. Terebin borehole, depth 530 m. Polarised light. One nicol
- Fig. 4. Jednofazowe inkluzje w cemencie w piaskowcu czerwonego spągowca. Otwór wiertniczy Cicha Góra, pr. 22. Światło spolaryzowane. 1 nikol
One phase inclusions in the carbonate cement of the Rotliegend sandstone. Cicha Góra borehole, sample 22. Polarised light. One nicol
- Fig. 5. Inkluzje w cemencie anhydrytowym w piaskowcu czerwonego spągowca jednofazowe (strzałka). Otwór wiertniczy Paproć 9, pr. 9. Światło spolaryzowane. 1 nikol
One phase inclusions in the anhydrite cement of the Rotliegend sandstone. Paproć 9 borehole, sample 9. Polarised light. One nicol
- Fig. 6. Inkluzje fluidalne w kalcycie z formacji cechsztyńskiej. Otwór wiertniczy SG 1, głęb. 3256,34 m. Światło spolaryzowane, 1 nikol
Fluid inclusions in calcite from the Zechstein formation. SG 1 borehole, depth 3256.34 m. Polarised light. One nicol



TABLICA II

Inkluzje fluidalne w spoiwach badanych skał mezozoiku i miocenu oraz skałach paleogenu (obszar południowy)

Fluid inclusions in the cements of the Mesozoic and Miocene rocks and in the Paleogene rocks (southern region)

- Fig. 1. Jednofazowe inkluzje fluidalne typu (L1+L2). Fragment ooidu węglanowego. Jura. Otwór wiertniczy Parkoszowice, głęb. 104,1 m. Światło spolaryzowane. 1 nikol
One-phase fluid inclusions of the (L1+L2) type. Part of a carbonate ooid. Parkoszowice borehole, depth 104.1 m. Polarised light. One nicol
- Fig. 2. Jednofazowe inkluzje fluidalne w cemencie węglanowym (strzałka). Otwór wiertniczy Pruchnik 22, próbka 3. Światło spolaryzowane. 1 nikol
One-phase fluid inclusions in the carbonate cement (arrow). Pruchnik 22 borehole, sample 3. Polarised light. One nicol
- Fig. 3. Jednofazowa inkluzja fluidalna w kwarcu typu diament marmaroski wypełniona metanem. Rejon Jabłonek, Wołosate (Karpaty), próbka 9. Światło spolaryzowane. 1 nikol
One-phase fluid inclusion in the Marmarosh diamond quartz filled by methane. Wołosate region, the Carpathians. Sample 9. Polarised light. One nicol
- Fig. 4. Jednofazowa inkluzja fluidalna w kwarcu typu diament marmaroski wypełniona metanem i stałymi fazami. Rejon Jabłonek, Wołosate (Karpaty) próbka 9. Światło spolaryzowane. 1 nikol
One-phase fluid inclusion in the Marmarosh diamond quartz filled in by methane and solid phases. Wołosate region, the Carpathians. Sample 9. Polarised light. One nicol
- Fig. 5. Jednofazowa inkluzja fluidalna w kwarcu typu diament marmaroski wypełniona metanem. Rejon Jabłonek (Karpaty), próbka Ru 8/2009. Światło spolaryzowane. 1 nikol
One-phase fluid inclusion in the Marmarosh diamond quartz filled by methane. Jabłonki region, the Carpathians. Sample Ru 8/2009. Polarised light. One nicol
- Fig. 6. Różne typy inkluzji fluidalnych w węglanach. Strzałka wskazuje wydłużoną dwufazową inkluzję. Rejon Jabłonek (Karpaty), próbka Ru 1/2009. Światło spolaryzowane. 1 nikol
Different types of fluid inclusions in carbonates. Arrow points to the elongated, two-phase inclusion. Jabłonki region, the Carpathians. Sample Ru 1/2009. Polarised light. One nicol

