

POROWATOŚĆ WYBRANYCH MEZOZOICZNYCH SKAŁ WĘGLANOWYCH PÓŁNOCNEGO OBRZEŻENIA GÓR ŚWIĘTOKRZYSKICH

POROSITY OF SELECTED MESOZOIC CARBONATE ROCKS OF THE NORTHERN EDGE OF THE HOLY CROSS MOUNTAINS

BARTŁOMIEJ RZONCA¹

Abstrakt. Praca prezentuje wyniki badań porowatości wybranych ośmiu facji węglanowych północnego mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Zbadano porowatość dwóch typów skał górnokredowych (turon): opoki z Pętkowic i wapienia z Janikowa. Pozostałe sześć zbadanych facji to skały górnourajskie (kimeryd i oksford): wapień koralowcowy z Zarzecza, oolit ze Skarbki, wapień skalisty z Przepaści, oolit z Wierzbicy, muszlowiec z Wierzbicy i wapień płytowy z Bałtowa. Z każdej ze zbadanych facji pobrano 30 próbek do oznaczenia porowatości otwartej (łącznie 240 oznaczeń) i 10 – porowatości całkowitej (łącznie 80 oznaczeń). W pracy zaprezentowano szczegółowe wyniki badań porowatości całkowitej i otwartej oraz wykresy umożliwiające prześledzenie rozkładów tych parametrów w badanych próbkach. Wykonane analizy pokazały, że najbardziej porowate spośród badanych skał są obie facje górnokredowe. Bardzo porowate są także obydwa badane oolity (ze Skarbki i z Wierzbicy). Najniższą porowatością cechują się muszlowiec z Wierzbicy oraz wapień koralowcowy z Zarzecza. Dodatkowo, w obrębie populacji próbek wapienia koralowcowego z Zarzecza wyróżniono dwa typy facjalne: sparytowy biolityt koralowy oraz wapień biodetryczny z ooidami i onkoidami. Pierwszy z nich jest około dziesięciokrotnie mniej porowaty niż drugi.

Słowa kluczowe: porowatość, przestrzeń porowa, skały węglanowe, Góry Świętokrzyskie.

Abstract. The paper presents the results of an investigation of the porosity of eight carbonate rock facies. The studied rocks come from the northern Mesozoic edge of the Holy Cross Mountains (Góry Świętokrzyskie) in Central Poland. Two types of Upper Cretaceous rock (Turonian) were investigated – Pętkowice opoka and Janików limestone – and six facies of Upper Jurassic rock (Kimmeridgian and Oxfordian): Bałtów Coral Limestone, Skarbka Oolite Limestone, Przepaść Massive Limestone, Wierzbica Oolite Limestone, Wierzbica Oyster Lumachelle, Bałtów Płaty Limestone. The paper discusses in detail the results of open porosity and total porosity studies as well as porosity distribution plots. Research has shown that the most porous of the investigated rocks are both Upper Cretaceous facies. Both oolite limestones (Skarbka and Wierzbica) are also characterized by high porosity. The least porous of the examined facies were Wierzbica Oyster Lumachelle and Bałtów Coral Limestone.

Key words: porosity, pore space, carbonate rocks, Holy Cross Mountains.

WSTĘP

Właściwości przestrzeni porowej należą do podstawowych parametrów skał węglanowych determinujących ich cechy jako skał zbiornikowych. W modelu pojęciowym sieci hydraulicznej skał węglanowych (Motyka, 1998) przestrzeń

porowa traktowana jest jako element pojemnościowy, odpowiedzialny za gromadzenie i oddawanie wody wolnej. W typowych przypadkach właśnie w mikroporach litej skały (matrycy) zmagazynowana jest absolutna większość wody.

¹ Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków; e-mail: b.rzonca@uj.edu.pl

Systemy szczelin i pustek krasowych aktywnie przewodzą wodę, ale gromadzą jej niewiele w porównaniu z przestrzenią porową (Motyka, 1998). Dotyczy to nie tylko wody, ale także innych mediów, na przykład węglowodorów. W dodatku, od cech przestrzeni porowej, a konkretnie od porowatości otwartej, zależą też właściwości dyspersyjne całego masywu węglanowego, przez co parametr ten wpływa bezpośrednio na szybkość migracji zanieczyszczeń (i znaczników) w wodach podziemnych (Zuber, Motyka, 1994). Od porowatości oraz od cech samych porów, takich jak rozkład wielkości czy skomunikowanie, zależą z kolei inne właściwości masy skalnej, w tym typowe parametry hydrogeologiczne: wodochłonność, odsączalność czy przepuszczalność.

W Polsce parametry hydrogeologiczne przestrzeni porowej skał węglanowych są badane od dawna (m.in.: Wilk i in., 1985; Borczak i in., 1990, 1994; Staško, 1992; Motyka, 1998; Motyka i in., 1998; Bielec, 1999; Krajewski, Motyka, 1999; Rózkowski i in., 2001). Dane o porowatości i innych cechach matrycy skalnej dla wielu obszarów występowania utworów węglanowych w Polsce są więc dostępne. Jednak w Górach Świętokrzyskich dotychczas dokładniej zbadane pod tym kątem zostały jedynie dewońskie wapienie i dolomity (Rzonca i in., 2003; Rzonca, 2005, 2006, 2008), budujące główny

użytkowy poziom wodonośny w obrębie tzw. trzonu paleozoicznego. Obszar zlokalizowany na północ i północny wschód od trzonu paleozoicznego, tradycyjnie określany jako północne (lub północno-wschodnie) mezozoiczne obrzeżenie Gór Świętokrzyskich, jest zbudowany z różnych skał mezozoicznych, z poważnym udziałem skał węglanowych. Na tym terenie badań właściwości przestrzeni porowej skał węglanowych było dotychczas niewiele. Jedynie w rejonie Ożarowa, w strefie kontaktu mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich i Niecki Lubelskiej, Kos (2005, 2007), w ramach szerszego projektu obejmującego różne aspekty krążenia wód podziemnych, oznaczył parametry hydrogeologiczne przestrzeni porowej dwudziestu próbek, reprezentujących różne facje jury górnej i kredy górnej. Z kolei Szpakiewicz (1973) badał parametry filtracyjne piaskowców jury dolnej z obszaru zlewni Kamiennej.

Niniejszy artykuł przedstawia wyniki badań porowatości wybranych ośmiu facji węglanowych północnego mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich: skał górnokredowych (turon, dwie facje) i górnourajskich (kimeryd i oksford, sześć facji). W skałach tych oznaczono porowatość całkowitą oraz porowatość otwartą.

METODA BADAŃ

Całość projektu oparta jest na laboratoryjnych badaniach odpowiednio wyselekcjonowanych próbek skał. W terenie pobierano – z naturalnych lub sztucznych odsłonięć – fragmenty skał o objętości od kilku do kilkunastu litrów. Dany typ skały (facja) był opróbowywany na niewielkim obszarze: próby pobierano w różnych częściach jednego odsłonięcia (zwłaszcza jeśli był to większy kamieniołom) lub w sąsiednich odsłonięciach, ale nie dalej niż kilkaset metrów od siebie (tab. 1). Dzięki takiej procedurze zachowana została jednorodna pozycja litostratygraficzna i petrograficzny typ skały. Wyniki nie są też obciążone ewentualnym zróżnicowaniem przestrzennym badanych cech skał – analiza zmienności przestrzennej (np. regionalnej) nie była celem tego projektu.

Pobrane w terenie fragmenty skał posłużyły do odwiercenia w laboratorium właściwych próbek – rdzeników. Z każdej badanej facji pobrano po 30 próbek do badania porowatości otwartej (średnica rdzeników 4,15 cm) i po 10 do badań porozymetrem helowym (średnica 2,45 cm). Te dwie analizy nie były więc przeprowadzane na tych samych próbkach (rdzenikach). Natomiast, co ważne, próbki do obu analiz pobierano zawsze z tych samych fragmentów skał: z danego fragmentu kilka rdzeników do jednej analizy i kilka do drugiej.

Podczas pobierania prób zarówno w terenie, jak i w laboratorium położony był duży nacisk na unikanie pobrania do badań zwietrzałych fragmentów skał. W terenie fragmenty skał były celowo oddzielane od litej skały; nie wykorzysty-

wano luźno leżących, nadwietrzałych fragmentów. Podczas odwiercania właściwych próbek (rdzeników), zwracano uwagę, aby nie obejmowały one zwietrzałych krawędzi.

Współczynnik **porowatości otwartej** został oznaczony, na odwierconych uprzednio rdzenikach, metodą trzykrotnego ważenia próbek: (1) nasączonych wodą, (2) nasączonych wodą ważonych w zanurzeniu w wodzie oraz (3) wysuszonych w temperaturze 110°C, czyli zmodyfikowaną metodą Kleczkowskiego i Mularza (1964). Jest to metoda szeroko stosowana w badaniach właściwości hydrogeologicznych przestrzeni porowej skał węglanowych, a jej dokładny opis zamieszczono w wielu pracach, także o zasięgu międzynarodowym (np. Borczak i in., 1990; Motyka i in., 1998; Pulido-Bosch i in., 2004). W Polsce metoda ta stała się podstawą badań właściwości przestrzeni porowej (Wilk i in., 1985; Borczak i in., 1994; Staško, 1992; Motyka, 1998; Bielec, 1999; Krajewski, Motyka, 1999; Rózkowski i in., 2001; Rzonca, 2008).

Współczynnik **porowatości całkowitej** został wyznaczony poprzez pomiar gęstości właściwej i objętościowej skał nowoczesnym porozymetrem helowym (zestaw AccuPyc 1330 i GeoPyc 1360 firmy Micromeritics). Analizy porowatości całkowitej zostały wykonane w laboratorium Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Badanie to objęte jest akredytacją laboratorium (procedura PB-02/SW-1). Limit oznaczalności zastosowanej metody wynosi 1,5%.

Tabela 1

Charakterystyka badanych skał i miejsc poboru próbek
 Characteristics of the investigated rocks and sampling sites

Nazwa	Miejsce poboru prób	Współrzędne miejsca poboru prób	Opis skały	Wiek skały	Literatura
Opoka z Pętkowic	Pętkowice, północna krawędź doliny Kamiennej – przy posesji Pętkowice 17 oraz dalej w kierunku zachodnim	N 51°00'53,2" E 21°36'13,0" oraz N 51°00'56,1" E 21°36'4,9"	opoka mikrytowa słabo zapiaszczona	turon (górna kreda)	Pozaryski, 1948
Wapień koralowcowy z Zarzeczca	Zarzeczce koło Bałtowa, łom oraz odsłonięcia naturalne w prawym brzegu doliny Kamiennej	N 51°00'53,3" E 21°32'35,7" oraz N 51°00'47,3" E 21°32'31,8"	1) sparytowy wapień organogeniczny (sparytowy biolityt koralowy)... 2) ... z licznymi wkładkami żółtawego wapienia biodetrytycznego z ooidami i onkoidami (grainstone)	środkowy/górny oksford (górna jura)	Zarzeczce Coral Limestones wg Gutowskiego (2006); Bałtów Coral Limestones (Bcl) wg Gutowskiego (1998)
Oolit ze Skarbki	Skarbka, nieczynny kamieniołom „Skarbka”; różne części kamieniołomu	N 51°00'37,5" E 21°34'01,6"	oolitowy wapień detrytyczny (grainstone i packstone) przelawicowy wapieniem mikrytowym z ooidami (mudstone i wackstone)	górný oksford (górna jura)	Skarbka Oolite Limestones (Sol) wg Gutowskiego (1998)
Wapień z Janikowa	Janików, łomy po wschodniej stronie drogi Ożarów–Zawichost	N 50°51'48,4" E 21°42'45,1"	wapień biodetrytyczny (kalkarenit intrabiosparyt, grainstone/packstone) lekko zapiaszczony	dolny turon (górna kreda)	Wapień mszywiolowe wg Pozaryskiego (1948); piaskowce janikowskie wg Łumiewskiego (1923)
Wapień skalisty z Przepaści	Przepaść koło Ćmielowa, łomy po obu stronach drogi Ćmielów–Podgrodzie	N 51°53'37,3" E 21°32'31,2" oraz N 51°53'27,4" E 21°32'23,9"	wapień organodetrytyczny (wackstone) z krzemieniami, z fragmentami gąbek, małżów, ramienionogów, z onkoidami i intraklastami mikrytowymi (biomikryt z intraklastami i onkoidami)	dolny/średni oksford (górna jura)	Przepaść Massive Limestones (Pml) wg Gutowskiego (1998)
Oolit z Wierzbicy	Wierzbica, kamieniołom „Wierzbica”, zachodni kraniec wyrobiska	N 51°15'32,7" E 21°03'15,4"	żółtawy wapień oolitowy (grainstone) przelawicowy wapieniem mikrytowym typu wackstone	dolny kimeryd (górna jura)	Wierzbica Oolite and Platy Limestones (Wopl) wg Gutowskiego (1998)
Muszlowiec z Wierzbicy	Wierzbica, kamieniołom „Wierzbica”, północno-wschodnia część wyrobiska	N 51°15'29,0" E 21°03'15,5"	grafitowo-czarny zlep muszlowy (około 80% muszli <i>Nanogyra</i>) o mikrytowym spoiwie marglistym, lekko bitumiicznym	najwyższa część dolnego kimerydu (górna jura)	Wierzbica Oyster Lumachelle (Wol) wg Gutowskiego (1998)
Wapień plytowy z Bałtowa	Bałtów, odsłonięcia: w centrum miejscowości oraz przy posesji Bałtów 67	N 51°01'3,28" E 21°32'27,8" oraz N 51°00'41,4" E 21°32'15,9"	wapień mikrytowy (mudstone) lekko marglisty	środkowy oksford (górna jura)	Bałtów Platy Limestones (Bpl) wg Gutowskiego (1998)

WYNIKI

Opis badanych skał i lokalizacji punktów opróbowania zawiera tabela 1. Zbadano dwie charakterystyczne, znane w regionie, facje górnokredowe reprezentujące turon: opokę z Pętkowic i wapień z Janikowa. Pozostałe sześć zbadanych facji to skały górnourajskie: oksford i (rzadziej) kimeryd. Wszystkie badane skały górnourajskie zostały szczegółowo opisane przez Gutowskiego (1998), przy czym wapień koralowcowy z Zarzecza został w tym artykule nazwany „Bałtów Coral Limestones”, ale w nowszej publikacji (Gutowski, 2006) występuje jako „Zarzecze Coral Limestones” (tabela 1).

Jednym z założeń wstępnych było objęcie badaniami jak najbardziej różnorodnych typów skał. Jedyny przypadek badania dwóch podobnych do siebie facji, to przypadek oolitu ze Skarbki i oolitu z Wierzbicy. Należą one jednak do nieco innych wydzieleni stratygraficznych (oksford górny vs. kimeryd dolny) i występują w znacznym oddaleniu od siebie (ponad 40 km w linii prostej).

Podstawowe statystyki opisowe uzyskanych wyników zawarto w tabeli 2, zaś cechy rozkładu poszczególnych populacji wyników można prześledzić na figurze 1. Porowatość badanych populacji próbek skał węglanowych bardzo znacznie

się różni. Najbardziej porowate, w sensie porowatości całkowitej i otwartej, są badane skały górnokredowe: opoka z Pętkowic i wapień z Janikowa. Najwyższe wartości badanych parametrów osiąga opoka z Pętkowic, którą charakteryzuje średnia (geometryczna) porowatość otwarta i całkowita wynoszące, odpowiednio, 43,45 i 51,54%. Do skał bardzo porowatych należy także zaliczyć obydwie badane facje wapieni oolitowych – ze Skarbki i z Wierzbicy. Z kolei muszlowiec z Wierzbicy i wapień koralowcowy z Zarzecza są bardzo mało porowate. Najmniejszą porowatością spośród zbadanych skał cechuje się muszlowiec z Wierzbicy; średnia geometryczna porowatość otwarta wynosi 2,50%. Jednocześnie, aż pięć z dziesięciu badanych próbek tej skały charakteryzowało się porowatością całkowitą poniżej limitu oznaczalności metody, wynoszącego 1,5% (fig. 1g).

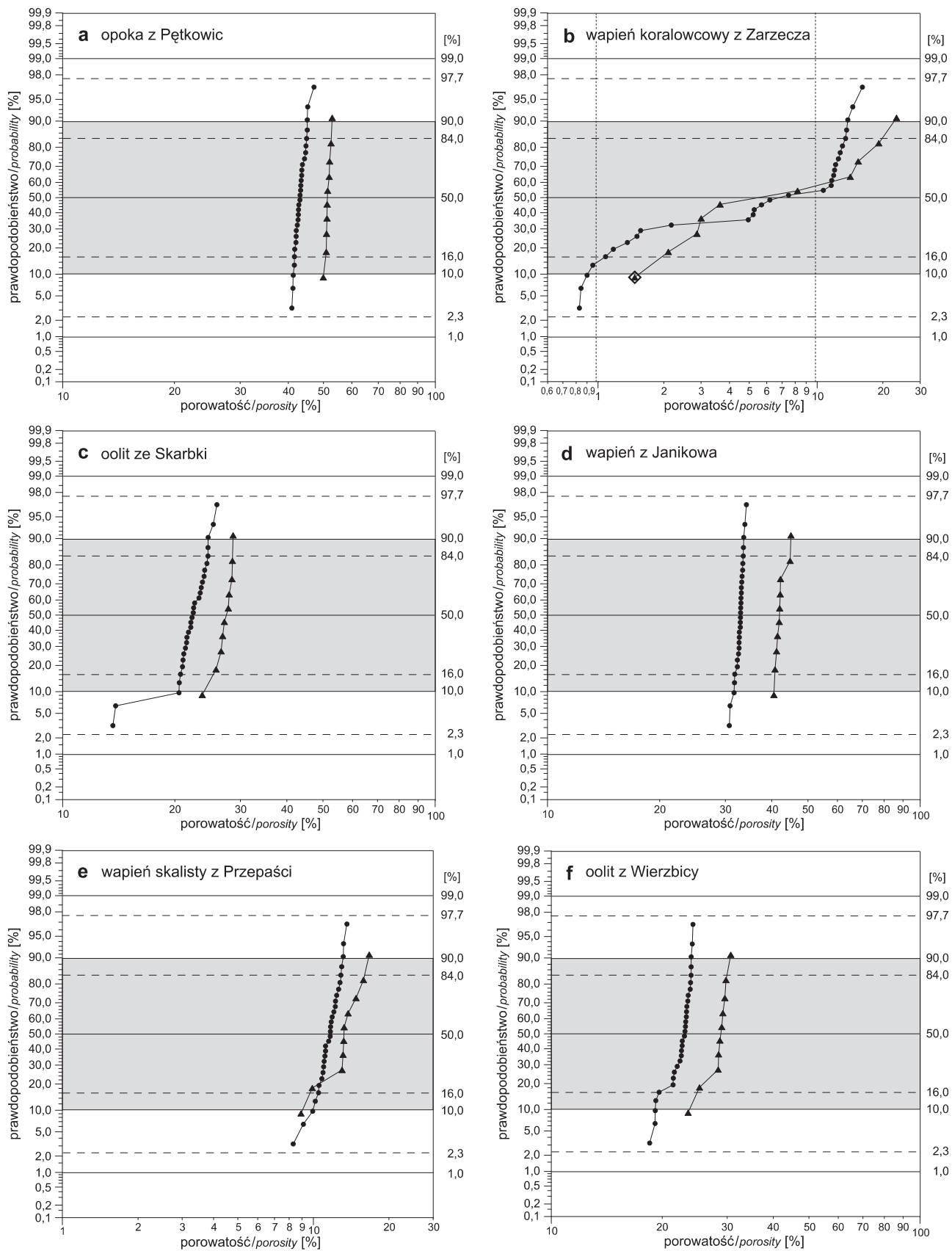
Niektóre próbki skał (należących do dwóch spośród ośmiu zbadanych facji) charakteryzowały się porowatością całkowitą poniżej limitu oznaczalności (wspomniany powyżej muszlowiec z Wierzbicy – 5 próbek, wapień koralowcowy z Zarzecza – 1 próbka). Wartości średnie porowatości całkowitej oraz inne dane statystyczne obliczono dla tych

Tabela 2

Charakterystyka porowatości otwartej i całkowitej
Open porosity and total porosity of the investigated samples

	Opoka z Pętkowic	Wapień koralowcowy z Zarzecza	Oolit ze Skarbki	Wapień z Janikowa	Wapień skalisty z Przepaści	Oolit z Wierzbicy	Muszlowiec z Wierzbicy	Wapień płytowy z Bałtowa
porowatość otwarta [%]								
Liczba próbek	30	30	30	30	30	30	30	30
Minimum	41,2322	0,8379	13,6397	30,7419	8,3072	18,4809	1,3879	8,2480
Maksimum	47,2635	16,3615	25,9456	34,1719	13,5985	24,2160	6,5122	12,3972
Średnia geometryczna	43,4275	4,9860	21,9306	32,7808	11,4651	22,3144	2,2663	10,4039
Średnia arytmetyczna	43,4503	7,6744	22,1261	32,7902	11,5307	22,3790	2,5063	10,4561
Mediana	43,3579	6,8630	22,3270	32,9499	11,6725	23,0003	1,9465	10,6341
Rozstęp	6,0312	15,5235	12,3059	3,4300	5,2913	5,7350	5,1243	4,1492
Odchylenie standardowe	1,4398	5,4828	2,7224	0,7898	1,2165	1,6781	1,3052	1,0503
Odchylenie standardowe logarytmu	0,0143	0,4733	0,0619	0,0106	0,0480	0,0341	0,1860	0,0445
porowatość całkowita [%]								
Liczba próbek	10	10	10	10	10	10	10	10
Minimum	50,0600	<1,5 *	23,6900	40,5100	8,9200	23,5000	<1,5 **	9,9300
Maksimum	52,8800	23,4000	28,6700	44,9800	16,6800	30,6600	11,3000	13,6500
Średnia geometryczna	51,5431	5,8009	27,1230	42,1548	13,0318	28,1493	2,1764	12,0962
Średnia arytmetyczna	51,5490	9,3610	27,1640	42,1790	13,2420	28,2310	3,7270	12,1650
Mediana	51,3550	5,9750	27,4950	41,9000	13,2250	28,8150	2,3800	12,4150
Rozstęp	2,8200	22,6500	4,9800	4,4700	7,7600	7,1600	10,5500	3,7200
Odchylenie standardowe	0,8242	8,2049	1,5377	1,5239	2,3810	2,1888	3,6343	1,3319
Odchylenie standardowe logarytmu	0,0069	0,4944	0,0254	0,0154	0,0840	0,0355	0,4997	0,0494

* – jedna próbka poniżej limitu oznaczalności / one sample below the detection limit; ** – pięć próbek poniżej limitu oznaczalności / five samples below the detection limit; wartości wyróżnione (pogrubione) – objaśnienie w tekście / Values marked (bold) – explanation in the paper



cd. fig. 1



fig. 1 cd.

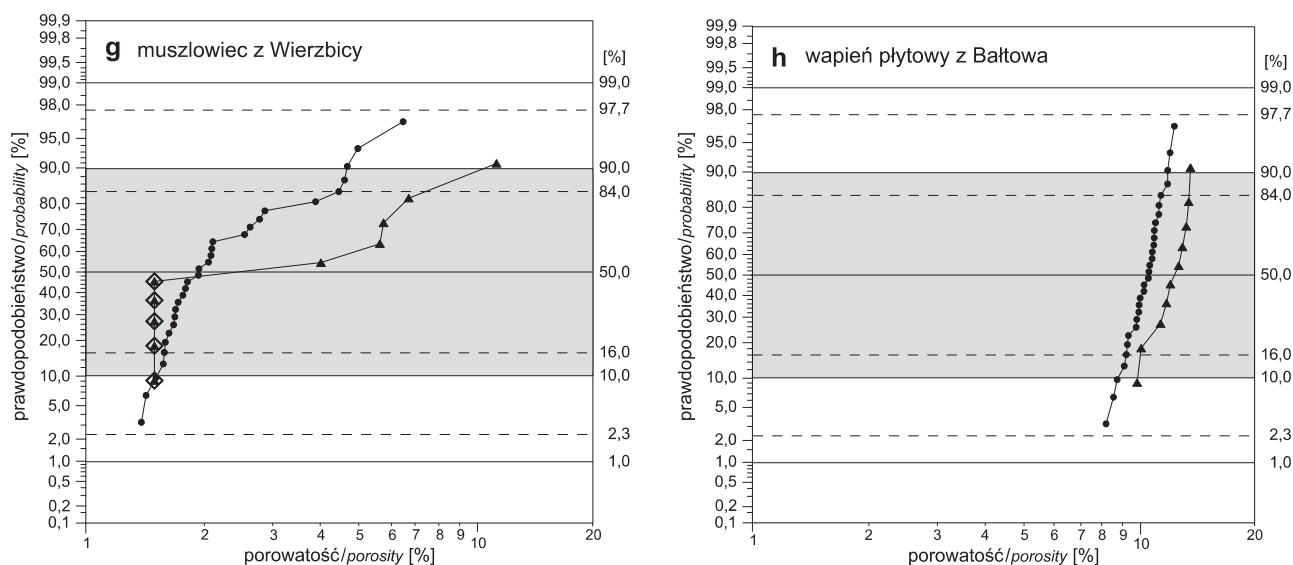


Fig. 1. Rozkłady współczynników porowatości przedstawione za pomocą kumulacyjnych wykresów prawdopodobieństwa

Kropki – porowatość otwarta, trójkąty – porowatość całkowita; wartości w romboidalnej obwódecie – poziom oznaczalności metody (1,5%), rzeczywiste wartości porowatości całkowitej zaznaczonych w ten sposób próbek były poniżej tej wartości

Distribution of porosity coefficients shown as cumulative probability plots

Dots – denote open porosity, while triangles denote total porosity; values denoted using a diamond-shaped border show the detection limit of the method selected (1.5%). The true total porosity values of the samples marked this way were under 1.5%

dwóch populacji, zakładając porowatość całkowitą wzmiankowanych próbek równą 0,75% (czyli połowę limitu oznaczalności). Zatem w przypadku tych dwóch populacji policzone wartości są jedynie przybliżeniem wartości rzeczywistych; zostały one wyróżnione w tabeli 2.

Większość badanych populacji próbek cechuje bardzo jednorodny rozkład porowatości. Są to rozkłady logarytmiczno-normalne (log-normalne), lub zbliżone do log-normalnych. Przy zastosowanej konwencji tworzenia figur log-normalność rozkładu wyrażana jest przez prostoliniowość wykresu (fig. 1). W niniejszym tekście przywoływana jest średnia geometryczna (porowatości), jako miara tendencji centralnej rozkładu log-normalnego. Najbardziej jednorodne rozkłady i zarazem najmniejsza zmienność porowatości otwartej i całkowitej charakteryzuje skały najbardziej porowate: opokę z Pętkowic oraz wapień z Janikowa. Bardzo niewielka zmienność porowatości cechuje też wapień płytowy z Bałtowa, wapień skalisty z Przepaści oraz oolit ze Skarbki, a w znacznym stopniu także oolit z Wierzbicy (fig. 1).

Największą zmiennością porowatości cechują się z kolei próbki skał najmniej porowatych – wapienia koralowcowego z Zarzecza oraz, do pewnego stopnia, muszlowca z Wierzbicy. W przypadku wapienia koralowcowego z Zarzecza można także mówić o wyraźnej niejednorodności rozkładów porowatości. Jak wykazała analiza, ta niejednorodność rozkładów

wynika z faktu, że na wapień ten składają się dwa typy facjalne: – sparytowy biolityt koralowy oraz – żółtawy wapień biodetrytyczny z ooidami i onkoidami (tab. 1). Próbki wapienia koralowcowego z Zarzecza zostały przed wykonaniem analiz porowatości rozdzielone makroskopowo. W obrębie partii 30 próbek, w których zbadano porowatość otwartą, wydzielono 10 próbek reprezentujących typ 1 (biolityt) i 12 – typ 2 (wapień biodetrytyczny), a pozostałe 8 próbek reprezentowało połączenie obydwu typów. Różnice porowatości otwartej i jej rozkładu w tych trzech grupach są bardzo duże (fig. 2a). Sparytowy biolityt koralowy jest co najmniej o rząd wielkości mniej porowaty (w sensie porowatości otwartej) niż wapień biodetrytyczny. Rozkłady porowatości w próbkach biolitytu i wapienia biodetrytycznego są jednorodne, o cechach rozkładu log-normalnego (fig. 2a). Natomiast niejednorodny jest rozkład porowatości próbek mieszanych; dwie najbardziej porowate próbki reprezentują, jak wynika z wykresu, cechy wapienia biodetrytycznego. Z kolei 10 próbek przeznaczonych do oznaczenia porowatości całkowitej podzielono po połowie: 5 sztuk reprezentowało typ 1, a 5 sztuk – typ 2 (fig. 2b). Także tutaj widoczna jest bardzo duża różnica porowatości, w granicach rzędu wielkości. W dodatku jedna próbka sparytowego biolitytu koralowego cechowała się porowatością niższą od limitu oznaczalności metody (< 1,5%).

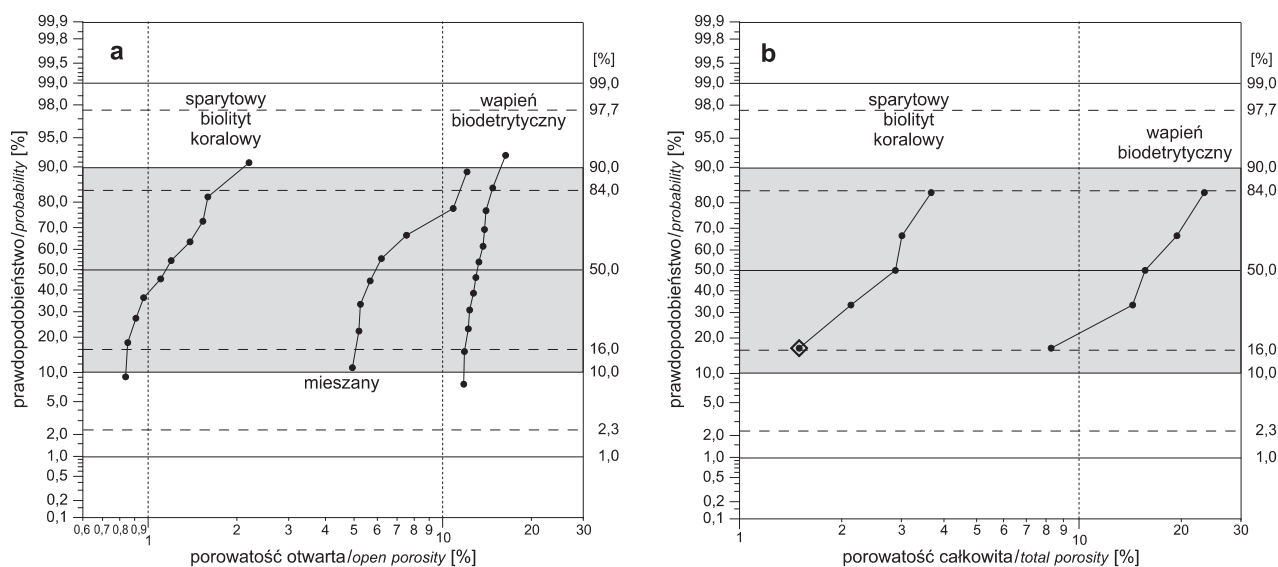


Fig. 2. Wapień koralowcowy z Zarzecza: rozkłady porowatości w wyróżnionych typach facjalnych

a – porowatość otwarta, b – porowatość całkowita; romboidalna obwódka – patrz objaśnienia do fig. 1

Coral limestone from Zarzecze: porosity distributions in recognized facies

a – open porosity, b – total porosity; diamond-shaped border markers – see explanations under Fig. 1

PODSUMOWANIE

Przeprowadzono badania porowatości litych fragmentów skał węglanowych północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. W próbkach ośmiu wybranych facji oznaczono porowatość otwartą i porowatość całkowitą. Zbadano dwie facje skał górnokredowych – opokę z Pętkowic i wapień z Janikowa – oraz sześć górnokredowych: wapień koralowcowy z Zarzecza, oolit ze Skarbki, wapień skalisty z Przepaści, oolit z Wierzbicy, muszlowiec z Wierzbicy i wapień płytowy z Bałtowa.

Badania pokazały, że najbardziej porowate spośród badanych skał są obie facje górnokredowe: opoka z Pętkowic i wapień z Janikowa. Bardzo porowate są także obydwa badane wapienie oolitowe (ze Skarbki i z Wierzbicy). Najniższą porowatością cechują się muszlowiec z Wierzbicy oraz wapień koralowcowy z Zarzecza.

W obrębie populacji próbek wapienia koralowcowego z Zarzecza wyróżniono dwa typy facjalne: sparytowy biolityt koralowy oraz wapień biodetrytyczny z ooidami i onkoidami. Pierwszy z nich jest około dziesięciokrotnie mniej porowaty niż drugi, w sensie porowatości otwartej, jak też całkowitej.

Podziękowania. Autor serdecznie dziękuje dr. inż. Zbigniewowi Złonkiewiczowi (OŚ PIG, Kielce) za pomoc w opisywaniu badanych skał oraz Adamowi Kołodziejowi za pomoc w pracach terenowych.

Badania wykonano w ramach projektu badawczego własnego MNiSW numer N N525 461736.

LITERATURA

- BIELEC B., 1999 — Właściwości hydrogeologiczne przestrzeni porowej skał zwięzłych z obszaru Polski. Praca doktorska, AGH Kraków.
- BORCZAK S., MOTYKA J., PULIDO-BOSCH A., 1990 — The hydrogeological properties of the matrix of the chalk in the Lublin coal basin (southeast Poland). *Hydrol. Sci. J.*, **35**, 5: 523–534.
- BORCZAK S., LEŚNIAK T.C., MOTYKA J., 1994 — Właściwości hydrogeologiczne przestrzeni porowej dolnokarbońskich wapieni i dolomitów czatkowickich. *Prz. Geol.*, **42**, 8: 653–657.
- GUTOWSKI J., 1998 — Oxfordian and Kimmeridgian of the northeastern margin of the Holy Cross Mountains, Central Poland. *Geol. Quart.*, **42**, 1: 59–72.

- GUTOWSKI J., 2006 — Upper Jurassic shallow-water carbonate platform and open shelf facies. Field trip B2. *W: Jurassic of Poland and adjacent Slovakian Carpathians.* (red. A. Wierzbowski i in.): 169–206. Field trip guidebook of 7th International Congress on the Jurassic System, Poland, Kraków, 6–18.09.2006. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KLECZKOWSKI A., MULARZ S., 1964 — Przyczynek do metody wyznaczania porowatości skał dla celów hydrogeologicznych. *Prz. Geol.*, **12**, 2: 103–105.
- KOS M., 2005 — Warunki hydrogeologiczne w strefie kontaktu jurajskiego i kredowego piętra wodonośnego w rejonie Ożarowa. Praca doktorska, PIG Kielce.
- KOS M., 2007 — Własności filtracyjne utworów górnej jury i górnej kredy w strefie kontaktu mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich i Niecki Lubelskiej w rejonie Ożarowa (Wyżyna Kielecka). *W: Współczesne Problemy Hydrogeologii*, t. 13, 3: 807–811. AGH, Kraków.
- KRAJEWSKI S., MOTYKA J. 1999 — Model sieci hydraulicznej w skałach węglanowych w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **388**: 115–138.
- ŁUNIEWSKI A., 1923 — Z geologii okolic Zawichosta. *Spraw. Państw. Inst. Geol.*, **2**: 49–72.
- MOTYKA J., 1998 — A conceptual model of hydraulic networks in carbonate rocks, illustrated by examples from Poland. *Hydrogeol. J.*, **6**: 469–482.
- MOTYKA J., PULIDO-BOSCH A., BORCZAK S., GISBERT J., 1998 — Matrix hydrogeological properties of Devonian carbonate rocks of Olkusz (Southern Poland). *J. Hydrol.*, **211**: 140–150.
- POŻARYSKI W., 1948 — Jura i kreda między Radomiem, Zawichostem i Kraśnikiem. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **46**: 1–106.
- PULIDO-BOSCH A., MOTYKA J., PULIDO-LEBOEUF P., BORCZAK S., 2004 — Matrix hydrodynamic properties of carbonate rocks from the Betic Cordillera (Spain). *Hydrological Processes*, **18**: 2893–2904.
- RÓŻKOWSKI J., MOTYKA J., BORCZAK S., RÓŻKOWSKI K., 2001 — Własności hydrogeologiczne matrycy skalnej wapieni górnourajskich Wyżyny Krakowskiej w świetle badań laboratoryjnych. *W: Współczesne Problemy Hydrogeologii*, t. 10, 1: 253–256. UWroc., Wrocław.
- RZONCA B., 2005 — Hydrogeologiczne właściwości przestrzeni porowej dewońskich skał węglanowych w Górach Świętokrzyskich. *Prz. Geol.*, **53**, 5: 400–409.
- RZONCA B., 2006 — Hydrogeologiczne właściwości dewońskich skał węglanowych w masywie świętokrzyskim. *Kwart. AGH Geologia*, **32**, 3: 235–343.
- RZONCA B., 2008 — Carbonate aquifers with hydraulically non-active matrix: A case study from Poland. *J. Hydrol.*, **355**: 202–213. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2008.03.021.
- RZONCA B., BORCZAK S., PRAŻAK J., 2003 — Wstępna ocena własności hydrogeologicznych matrycy dewońskich skał węglanowych (Góry Świętokrzyskie). *W: Współczesne Problemy Hydrogeologii*, t. 11, 1: 211–214. Gdańsk.
- STAŚKO S., 1992 — Wody podziemne w węglanowych utworach triasu opolskiego. *Pr. Geol.-Miner. UWr*, **32**: 1–72.
- SZPAKIEWICZ M., 1973 — Wody podziemne w utworach liasu północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich w obszarze przyległym do doliny rzeki Kamiennej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **277**: 55–68.
- WILK Z., MOTYKA J., BORCZAK S., MAKOWSKI Z., 1985 — Własności mikrohydrauliczne utworów wapienia muszlowego i retu południowej części monokliny śląsko-krakowskiej. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **55**, 3/4: 485–508.
- ZUBER A., MOTYKA J., 1994 — Matrix porosity as the most important parameter of fissured rocks for solute transport at large scales. *J. Hydrol.*, **158**: 19–46.

SUMMARY

The purpose of the paper is to present the results of an investigation of the porosity of eight carbonate rock facies. The studied rocks come from the northern Mesozoic edge of the Holy Cross Mountains (Góry Świętokrzyskie) in Central Poland. Two types of Upper Cretaceous rock (Turonian) were investigated – Pętkowice opoka and Janików limestone – and six facies of Upper Jurassic rock (Kimmeridgian and Oxfordian), characterized in detail by Gutowski (1998): Bałtów Coral Limestone, Skarbka Oolite Limestone, Przepaść Massive Limestone, Wierzbica Oolite Limestone, Wierzbica Oyster Lumachelle, Bałtów Platy Limestone (Tab. 1). From each of the eight investigated facies 30 samples were taken for open porosity determination (240 tests) and 10 samples for total porosity determination (80 tests). The paper discusses in detail the results of open porosity and total porosity

studies as well as porosity distribution plots (Fig. 1). Research has shown that the most porous of the investigated rocks are both Upper Cretaceous facies. The highest porosity values were determined for samples of Pętkowice opoka, with the geometric means for open porosity and total porosity 43.45% and 51.54%, respectively (Tab. 2). Both oolite limestones (Skarbka and Wierzbica) are also characterized by high porosity. Among the investigated facies, the least porous was Bałtów Coral Limestone; Wierzbica Oyster Lumachelle is characterized by a geometric mean for open porosity of 2.5%. In addition, the collection of Bałtów Coral Limestone samples was divided into two facies type subgroups: (1) sparite coral biolithite and (2) oncolitic and oolitic grainstone. The latter is about ten times more porous than the former in terms of both total and open porosity (Fig. 2).