

Porowatość wapieni jurajskich w profilu pionowym rejonu ujęcia Łobodno k. Kłobucka

Grzegorz Nikiel¹, Jolanta Sobik-Szoltyssek²

The porosity of the Jurassic limestones in the vertical profile Łobodno water intake area near Kłobuck. *Prz. Geol.*, 63: 972–975.

Abstract. The article presents the results of investigations the porosity of the limestone of the Upper and Middle Jurassic. The open porosity was tested on samples cut from the core in the borehole of the P-1 with a depth of 80 m which was drilled in the groundwater intake Łobodno near Kłobuck. For testing were prepared 59 samples from 23 ranges a depth. Examination of open porosity were made using hydrostatic weighing the samples saturated with water in in a vacuum chamber. The tests which were conducted show a large variability of the open porosity of the Jurassic limestone in the vertical profile containing in the range of 4–24%.

Keywords: porosity, pore space, Jurassic limestones

W szczelinowo-krasowych zbiornikach wód podziemnych, w których warstwę wodonośną stanowią skaliste utwory węglanowe, porowatość wapieni odgrywa znaczącą rolę w przepływie wód podziemnych. Podczas gdy szczeliny i kawerny decydują o kierunku i prędkości przepływu wód, przestrzeń porowa decyduje o zasobności zbiornika szczelinowo-krasowego (Motyka, 1998). Ponadto przestrzeń porowa matrycy skalnej ma istotne znaczenie przy przepływie zanieczyszczeń przez warstwę wodonośną. To od charakteru przestrzeni porowej zależą parametry decydujące o wielkości dyspersji i szybkości przemieszczania się zanieczyszczeń w wodach podziemnych (Zuber & Motyka, 1992, 1994).

Dotychczasowe badania przestrzeni porowej skał węglanowych Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej dotyczyły głównie materiału pozyskanego z naturalnych odsłoneń, takich jak: kamieniołomy, jaskinie, wychodnie (Liszkowska & Pacholewski, 1989; Rózkowski i in., 2001; Czop i in., 2009). W artykule przedstawiono wyniki badań porowatości otwartej wapieni jury górnej i środkowej w próbkach pobranych z rdzenia wiertniczego otworu badawczego P-1 wykonanego na terenie ujęcia wody podziemnej Łobodno.

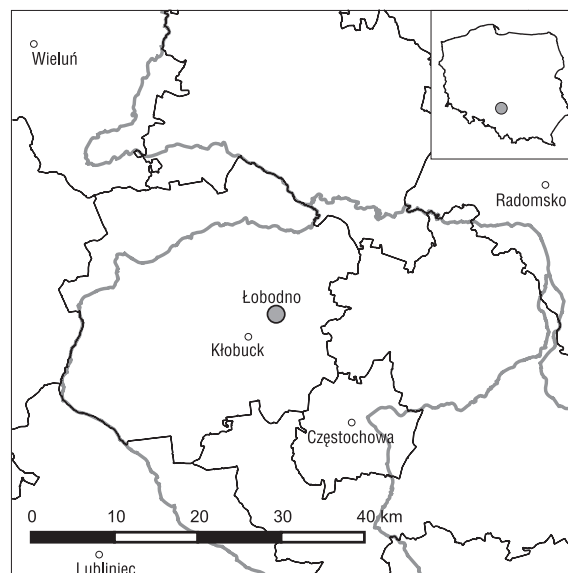
CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Otwór badawczy P-1, z którego pobrano próbki do badań, wykonano na terenie ujęcia Łobodno, w odległości około 4,5 km na NE od Kłobucka i około 15 km na NW od Częstochowy (ryc. 1).

W podziale geomorfologicznym Polski jest to fragment Wyżyny Wieluńskiej wchodzącej w skład zachodniego skrzydła subjednostki Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej.

Według geologicznego podziału Polski rejon badań jest położony w granicach monokliny śląsko-krakowskiej, struktury zbudowanej z utworów mezozoicznych, zalegających na starszym podłożu i przykrytych osadami czwartorzędowymi. Utwory mezozoiczne o rozciągłości NW–SE zapadają pod niewielkim kątem na NE.

Na terenie ujęcia Łobodno utwory czwartorzędowe uległy praktycznie całkowitej redukcji i od powierzchni występują tu utwory mezozoiczne. Najstarszymi utworami mezozoiku w rejonie Łobodna są utwory triasu, których strop występuje na głębokości ok. 400 m. Na utworach triasu zalegają osady jury dolnej, które są bardzo zróżnicowane litologicznie. Powyżej występują ilaste osady jury środkowej: aalen i bajos dolny (warstwy kościeliskie – seria piaskowcowa), bajos górny i baton (iły, iłowce, łupki ilaste, piaski i piaskowce) oraz piętra kelowej (wapienie piaszczyste). Zalegające na wapieniach kelowej utwory jury górnej są wykształcone w facji węglanowej. Partie spągowe to osady dolnego oksfordu – warstwa stromatolitowa z cienką warstwą łu marglistego oraz wapienie i margle gąbkowe (tzw. warstwy jasnogórskie i zawodziankie),



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań
Fig. 1. Location of the study area

¹ Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Politechnika Częstochowska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa; GEOBIOS Sp. z o.o., ul. Tartakowa 82, 42-202 Częstochowa; g.nikiel@gmail.com.

² Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Politechnika Częstochowska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa; jszoltyssek@is.pcz.czyst.pl.

Tab. 1. Wyniki badań porowatości otwartej w profilu pionowym
Table 1. Open porosity test results in the vertical profile

Głębokość [m p.p.t.] Depth [m b.g.l.]	Nr próbki Sample number	Objętość otwartych porów Volume of open pores V_o [ml]	Objętość próbki Sample volume V_b [ml]	Gęstość objętościowa próbki Bulk density ρ_b [Mg/m ³]	Porowatość otwarta Open porosity n_o [%]	Średnia porowatość otwarta Average open porosity [%]
10,5–10,6	1	7,7	65,5	2,382	11,8	10
	2	2,9	32,8	2,458	8,9	
14,1–14,2	1	6,7	64,7	2,422	10,3	10
	2	6,2	68,5	2,454	9,0	
14,9–15,0	1	16,6	71,3	2,078	23,2	24
	2	20,0	82,0	2,041	24,4	
	3	13,1	54,0	2,048	24,3	
	4	14,4	60,0	2,056	24,1	
	5	12,1	49,3	2,044	24,4	
27,0–27,1	1	18,8	86,9	2,120	21,6	22
	2	16,8	74,5	2,095	22,5	
	3	11,0	48,9	2,095	22,5	
29,5–29,6	1	7,5	68,9	2,404	11,0	11
	2	9,4	78,4	2,382	12,0	
31,0–31,1	1	4,2	38,9	2,408	10,8	11
	2	8,7	70,2	2,369	12,3	
	3	10,2	84,4	2,376	12,1	
	4	4,4	42,5	2,422	10,4	
46,0–46,1	1	8,1	76,3	2,412	10,6	11
	2	9,3	82,7	2,397	11,3	
52,5–52,6	1	5,9	54,6	2,413	10,8	11
	2	4,9	42,9	2,385	11,3	
	3	3,7	30,5	2,378	12,1	
54,0–54,1	1	6,9	72,9	2,450	9,5	9
68,3–68,4	1	9,6	58,8	2,245	16,3	16
	2	7,1	45,4	2,275	15,7	
68,5–68,6	1	10,5	71,4	2,292	14,8	16
	2	8,5	52,6	2,248	16,3	
70,0–70,1	1	13,1	93,0	2,309	14,1	14
	2	13,8	95,7	2,310	14,4	
	3	11,0	88,8	2,371	12,4	
	4	14,1	91,3	2,272	15,5	
73,0–73,1	1	11,0	69,6	2,256	15,8	16
	2	8,3	49,3	2,241	16,8	
	3	10,8	66,9	2,254	16,1	
73,8–73,9	1	5,9	67,1	2,481	8,7	9
75,2–75,3	1	9,0	82,4	2,420	10,9	10
	2	10,2	99,9	2,427	10,2	
	3	6,2	67,0	2,448	9,2	
76,0–76,1	1	10,5	84,2	2,366	12,4	11
	2	7,1	82,1	2,455	8,7	
	3	9,7	93,5	2,422	10,4	
	4	10,5	89,9	2,387	11,7	
77,1–77,2	1	10,6	73,4	2,344	14,4	13
	2	8,7	69,6	2,374	12,6	
77,3–77,4	1	9,7	83,9	2,431	11,6	10
	2	6,7	68,2	2,466	9,8	
	3	8,9	88,2	2,477	10,1	
	4	6,5	71,0	2,491	9,1	
77,7–77,8	1	3,3	70,9	2,589	4,6	4
	2	2,9	71,2	2,637	4,1	
	3	3,6	79,6	2,609	4,5	
	4	3,5	81,6	2,597	4,2	
78,3–78,4	2	3,6	19,2	2,105	18,8	21
	3	4,4	18,9	2,077	23,2	
79,5–79,6	1	21,9	73,9	1,863	29,6	29
	2	20,8	74,9	1,906	27,8	
79,7–79,8	1	15,8	83,5	2,152	18,9	19
79,9–80,0	1	18,4	83,5	2,055	22,0	23
	2	18,5	75,0	1,992	24,6	

których miąższość nie przekracza 6 m. Wyżej zalegają utwory zaliczone do oksfordu środkowego (wapienie pływowe, jasnokremowe z krzemieniami) oraz utwory oksfordu górnego, zwane warstwami mirowskimi (wapienie skaliste przechodzące w stropie w margliste i kredowate barwy białej). Strop utworów jury górnej jest bardzo nierówny i w rejonie Łobodna zalega na rzędnych od ok. 205 do 250 m n.p.m., a w rejonie otworu P-1 – 243 m n.p.m.

METODY BADAŃ

Badania porowatości otwartej utworów węglanowych jury górnej i środkowej prowadzono na próbkach skał wyciętych z rdzenia pozyskanego podczas wiercenia otworu badawczego P-1 na terenie ujęcia Łobodno. Otwór badawczy P-1 wykonano do głębokości 80 m. Wiercenie aparatem rdzeniowym o średnicy 132 mm prowadzono w 4 odcinkach, w przelocie: 8,5–15,0 m, 27,0–34,0 m, 45,0–54,5 m, 68,0–80,0 m, a na pozostałych odcinkach wiercenie prowadzono świdrem gryzowym. Łącznie aparatem rdzeniowym odwiercono 35 m, czyli ok. 44 % otworu.

Z pozyskanego rdzenia do badań wybrano te fragmenty, które umożliwiły wycięcie próbek o regularnym kształcie. Próbki z rdzenia wycięto piłą diamentową, formując je do kształtu zbliżonego do graniastosłupa prawidłowego o podstawie kwadratowej i wymiarach ok. $3 \times 3 \times 7$ cm. Objętość próbek zawierała się w przedziale 19–100 cm³, średnio 69 cm³. Przy wycinaniu próbek starano się, aby stosunek pola powierzchni do objętości był zawarty w granicach od 0,080 do 0,020 mm⁻¹ (PN-EN 1936:2010). Próbki do badań wycięto z 23 zakresów głębokości. W zależności od stanu (spękań) rdzenia w wytypowanym do badania przedziale głębokości wycinano od 1 do 4 próbek, otrzymując łącznie 59 próbek.

Zestawienie wszystkich próbek poddanych badaniom przedstawiono w tabeli 1.

Porowatość otwartą dla przygotowanych próbek oznaczono metodą powszechnie wykorzystywaną w badaniach hydrogeologicznych (Kleczkowski & Mularz, 1964). Podczas badań wykorzystano również zalecenia zawarte w PN-EN 1936:2010 „Metody badań kamienia naturalnego – oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości” dotyczące: przygotowania próbek, ich kształtu i objętości, oraz wartości podciśnienia i czasu nasycania próbek wodą. Zgodnie z zastosowanymi metodami w pierwszej kolejności wszystkie przygotowane próbki zważono po wysuszeniu do stałej masy. Następnie nasycano je wodą destylowaną. Przed nasyceniem usunięto z nich powietrze poprzez umieszczenie w komorze próżniowej, w której przez 2 godziny utrzymywano obniżone ciśnienie na poziomie 2 kPa. Po usunięciu powietrza z porów próbek, nasycano je stopniowo wodą w czasie ok. 15 min. utrzymując obniżone ciśnienie na poziomie 2 kPa. Próbki po nasyceniu wodą przywrócono w komorze ciśnienie atmosferyczne i pozostawiono zanurzone na 24 godziny. Następnie zważono je dwukrotnie: raz w powietrzu i drugi raz w wodzie destylowanej wykorzystując wagę hydrostatyczną.

Badanie wszystkich próbek przeprowadzono w 4 cyklach, co było związane z pojemnością komory próżniowej. Wybierając próbki do kolejnych cykli przestrzegano zasady, aby zdublowane z tych samych przedziałów głębokości były badane w odrębnych cyklach.

Analizę statystyczną uzyskanych rezultatów wykonano za pomocą programu STATISTICA 7.0, stosując jednoczynnikową analizę wariancji lub, w przypadku niespełnienia jej założeń, test ANOVA rang Kruskala-Wallisa. Kiedy stwierdzono istotne statystycznie różnice, wykonano test Tukey'a (*post-hoc*).

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Bezpośrednim wynikiem przeprowadzonych badań było uzyskanie masy wysuszonej próbki (m_d), masy nasyconej próbki zanurzonej w wodzie (m_h) oraz masy nasyconej próbki zważonej w powietrzu (m_s). Uzyskane wyniki pozwoliły na obliczenie porowatości otwartej (n_o) przy wykorzystaniu wzoru:

$$n_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \cdot 100$$

gdzie:

m_d – masa wysuszonej próbki [g],

m_h – masa nasyconej próbki zanurzonej w wodzie [g],

m_s – masa nasyconej próbki zważonej w powietrzu [g],

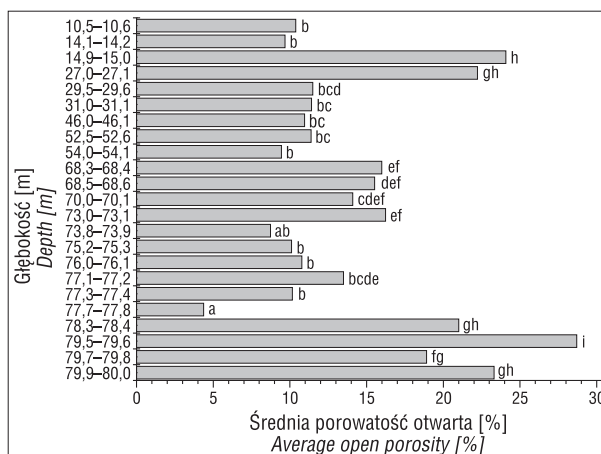
n_o – porowatość otwarta [%].

Oprócz porowatości otwartej określono również: objętość próbki (V_b), objętość otwartych porów w próbce (V_o) oraz gęstość objętościową próbki (ρ_b). Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów przedstawiono w tabeli 1.

Dla poszczególnych przedziałów głębokości średnie wartości porowatości otwartej są zbliżone do uzyskanych wartości dla pojedynczych próbek z danych głębokości, co wskazuje, że zastosowana metodyka badań nie generowała znaczącego błędu.

Wartość minimalna i maksymalna porowatości otwartej wyniosła odpowiednio 4,4 i 28,7%, wartość średnia to 14,5%, a mediana 11,5%. Odchylenie standardowe wynosi 6,12, co wskazuje na stosunkowo duże zróżnicowanie otrzymanych wartości porowatości otwartej.

Analiza statystyczna nie wykazała zależności między głębokością poboru a porowatością próbki. Wartość porowatości jest w tym przypadku powiązana z typem litologicznym



Ryc. 2. Zależność między porowatością a głębokością. Statystycznie istotne różnice są reprezentowane przez różne litery obok słupków (ANOVA i Tukey test, $p < 0,05$)

Fig. 2. The relationship between porosity and depth. Statistically significant differences are represented by different letters next to the bars (ANOVA and Tukey test, $p < 0,05$)

Tab. 2. Porównanie wartości porowatości otwartej na tle wydziałów litologicznych**Table 2.** Comparison of the open porosity in relation to lithology

Głębokość [m p.p.t.] Depth [m b.g.l.]	Średnia porowatość otwarta Average open porosity [%]	Litologia według dokumentacji hydrogeologicznej (Mizera i in., 2013) Lithology of hydrogeological documentation (Mizera et al., 2013)	Stratygrafia Stratigraphy
10,5–10,6	10	wapień skalisty <i>rocky limestone</i>	jura górna <i>Upper Jurassic</i>
14,1–14,2	10	wapień piaszczysty <i>sandy limestone</i>	
14,9–15,0	24		
27,0–27,1	22	wapień marglisty z krzemionką <i>marly limestone with silica</i>	
29,5–29,6	11		
31,0–31,1	11		
46,0–46,1	11		
52,5–52,6	11	wapień marglisty, twardy, splekany <i>marly limestone, hard, cracked</i>	
54,0–54,1	9		
68,3–68,4	16	wapień szary z krzemionką i glaukonitem <i>the gray limestone with silica and glauconite</i>	jura środkowa <i>Middle Jurassic</i>
68,5–68,6	16		
70,0–70,1	14		
73,0–73,1	16		
73,8–73,9	9		
75,2–75,3	10	wapień szarozielony, marglisty <i>marly limestone gray-green</i>	
76,0–76,1	11		
77,1–77,2	13	zlepienieć wapienny <i>conglomerate limestone</i>	
77,3–77,4	10		
78,3–78,4	21	wapień z glaukonitem <i>limestone with glauconite</i>	
79,5–79,6	29		
79,7–79,8	19	wapień szary z kalcym <i>the gray limestone with calcite</i>	
79,9–80,0	23		

badanych skał. Na wykresie (ryc. 2) przedstawiono wyniki testu Tukey'a opisującego zależność między średnią porowatością otwartą a poszczególnymi przedziałami głębokości.

Porównanie otrzymanych wartości porowatości otwartej na tle wydziałów litologicznych przedstawiono w tabeli 2. Analiza uzyskanych wyników wykazała, że w trzech przypadkach wartość średniej porowatości otwartej znacznie odbiega od średniej porowatości otwartej innych próbek dla danego wydziału litologicznego. Dla wapienia piaszczystego (próbki nr 2 i 3) uzyskano średnią wartość porowatości otwartej odpowiednio 10 i 24%. Dla wapienia marglistego z krzemionką w próbce nr 4 osiągnięto wartość średniej porowatości otwartej dwukrotnie większą od pozostałych 5 próbek tego wydziału litologicznego (próbki nr 5 do 9). Kolejnym przypadkiem, w którym wystąpiła rozbieżność uzyskanych wartości średniej porowatości otwartej był wapień szary z krzemionką i glaukonitem. Dla tego wydziału litologicznego w próbce nr 14

średnia porowatość otwarta była na poziomie 9%, a w pozostałych próbkach uzyskano średnią porowatość otwartą w przedziale 14–16%.

WNIOSKI

Uzyskane wyniki badań wskazują, że wartości porowatości otwartej wapieni jurajskich w badanym profilu pionowym zawierają się w szerokim przedziale od 4 do 29%. Wysoką porowatością otwartą charakteryzowały się wapienie piaszczyste jury górnej, a wapienie z glaukonitem jury środkowej wykazują jej dużą zmienność. Uzyskane wartości porowatości otwartej dla utworów węglanowych jury górnej i środkowej są zbliżone do wyników badań wapieni jurajskich Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej rejonu Częstochowy (Czop i in., 2009) oraz wyższe niż dla rejonu zlewni Wiercicy (Liszkowska & Pacholewski, 1989) i rejonu krakowskiego (Rózkowski i in., 2001).

Wyniki badań porowatości otwartej nie wykazały korelacji z głębokością, z jakiej były pobierane próbki.

Stwierdzone w badaniach znaczne różnice w uzyskanych wartościach średniej porowatości otwartej w trzech przypadkach wystąpiły na granicy wydziałów litologicznych. Mimo że porowatość przy określaniu litologii jest cechą drugorzędą i dla różnych typów litologicznych skał jej wartość może być zbliżona, w tym przypadku występujące różnice mogą być wskazaniem do ponownej weryfikacji granic wydziałów litologicznych. Przeprowadzenie takiej korekty wymaga jednak wykonania dodatkowych badań.

Autor w latach 2012–2014 był stypendystą programu: „DoktorIS – Program stypendialny na rzecz innowacyjnego Śląska” współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

LITERATURA

- CZOP M., GUZIK M., MOTYKA J., PACHOLEWSKI A. & RÓZKOWSKI K. 2009 – Warunki hydrogeologiczne złoża wapieni i margli Latośówka-Rudniki w Rudnikach koło Częstochowy. Biul. Państw. Inst. Geol., 436: 69–76.
- KLECZKOWSKI A. & MULARZ S. 1964 – Przyczynek do metodyki wyznaczania porowatości skał dla celów hydrogeologicznych. Prz. Geol., 12 (2): 103–105, Warszawa.
- LISZKOWSKA E. & PACHOLEWSKI A. 1989 – Ilościowa ocena struktury hydraulicznej masywu wapieni gómojurajskich zlewni Wiercicy. Wody szczelinowo-krasowe i problemy ich ochrony: 23, 32. Mat. Konf. Nauk. Wyd. SGGW AR, Warszawa.
- MOTYKA J. 1998 – A conceptual model of hydraulic networks in carbonate rocks, illustrated by examples from Poland. Hydrogeology J., 6 (4): 469–482.
- PN-EN 1936:2010 – Metody badań kamienia naturalnego – oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości.
- RÓZKOWSKI J., MOTYKA J., BORCZAK S. & RÓZKOWSKI K. 2001 – Własności hydrogeologiczne macry skalnej wapieni gómojurajskich Wyżyny Krakowskiej w świetle badań laboratoryjnych. Współczesne Problemy Hydrogeologii, 10 (1): 253–256. UWroc., Wrocław.
- ZUBER A. & MOTYKA J. 1992 – Przepływ znaczników i polutantów przez węglanowe skały szczelinowate: 1 – porowatość macry jako najważniejszy parametr. Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski: 103–110. Wyd. Sudety, Wrocław.
- ZUBER A. & MOTYKA J. 1994 – Matrix porosity as the most important parameter of fissured rocks for solute transport at large scales. Hydrogeology J., 158: 19–46.