

ROBERT TARKA

Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, Zakład Hydrogeologii Podstawowej

WŁASNOŚCI HYDROGEOLOGICZNE UTWORÓW KREDY W SUDETACH NA PODSTAWIE BADAŃ LABORATORYJNYCH

THE LABORATORY INVESTIGATIONS OF HYDROGEOLOGICAL PROPERTY OF
CRETACEOUS ROCK IN SUDETY MTS.

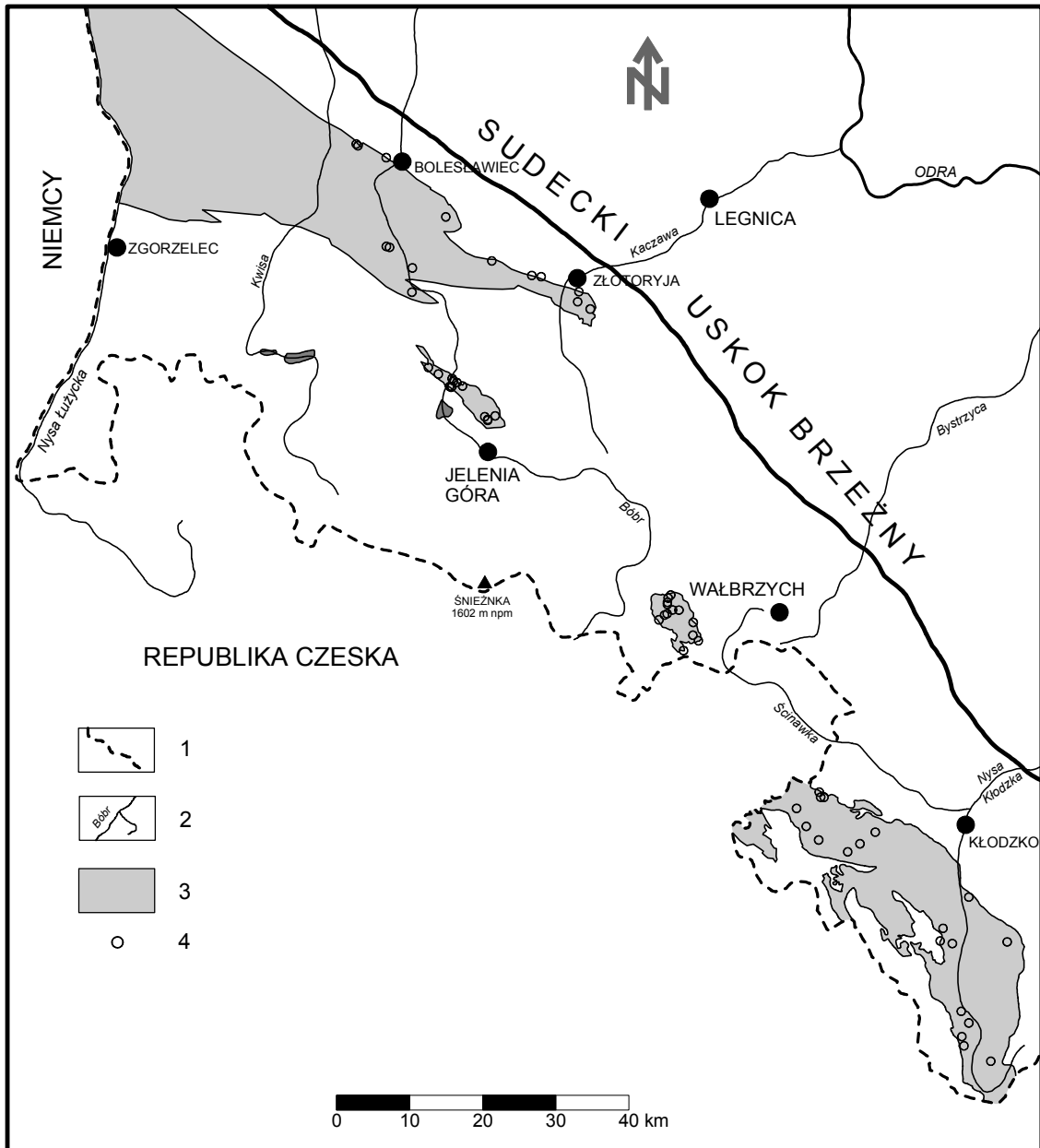
Słowa kluczowe: kreda, własności hydrogeologiczne, badania laboratoryjne

Key words: cretaceous, hydrogeological property, laboratory methods

Abstract: The results of laboratory investigations of porosity, storage and permeability of cretaceous rocks in Sudety Mts in this article were introduced. Porosity has changed from 2,1 to 28,2%, and average value is equal 14,7%. Rock hydrogeological property depends from kind of rocks and so for sandstones the average value of porosity is equal 16,8% and for mudstones and marls 9,8%. Storage has changed from 0,2 to 20,1%. Geometrical average value is equal 5%, for sandstones this is 8,5 % and for mudstones and marls - 1,5%. Geometrical average permeability is equal $5,7 \cdot 10^{-8}$ m/s. For sandstones average permeability carries out $3,6 \cdot 10^{-7}$ m/s. Marls are practically impermeable (average permeability - $8,0 \cdot 10^{-10}$ m/s).

1. WSTĘP

Znajomość własności przestrzeni porowej skał jest niezbędna do zrozumienia zjawiska ruchu wód podziemnych jak i do określenia ich zasobów. Znajomość zdolności przestrzeni porowej do przewodzenia i magazynowania wody ułatwia interpretację wyników próbných pompowań czy obserwacji odwadniania skał studniami ujęciowymi lub wyrobiskami górniczymi (Bielec 1999). Utwory kredy zajmują w Sudetach obszar o powierzchni ponad 1800 km² (rys. 1), z czego na znacznej powierzchni występują bezpośrednio na powierzchni. Zbiorniki występujące w tych osadach należą do najzasobniejszych, obok skał czwartorzędowych, zbiorników wód podziemnych w Sudetach. Znalazło to potwierdzenie w zaliczeniu znacznej części obszaru kredy sudeckiej do Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (Kleczkowski 1990). Na większości obszaru niecki śródsudeckiej i rowiu Nysy Kłodzkiej wody w utworach kredy stanowią pierwszy a zarazem jedyny poziom użytkowy. Jednak jak dotąd rozpoznanie tego piętra wodonośnego jest jedynie fragmentaryczne. Celem niniejszej pracy jest scharakteryzowanie własności hydrogeologicznych skał budujących to piętro wodonośne na podstawie wyników badań laboratoryjnych.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów poboru prób skalnych do badań laboratoryjnych.
 Objasnienia: 1 - granica państwa, 2 - rzeki, 3 - obszar występowania utworów kredy,
 4 - punkty poboru prób skalnych.

Fig. 1. Map of localisation of points for laboratory testing.

*Explanation: 1 - state boundary, 2 - rivers, 3 - the area of occurrence of cretaceous deposits,
 4 - the points of analysis.*

2. WŁAŚCIWOŚCI HYDROGEOLOGICZNE PRZESTRZENI POROWEJ

W celu określenia własności przestrzeni porowej skał kredowych na obszarze Sudetów pobrano 60 prób skalnych. Próby pobierane były w kamieniołomach i naturalnych odsłonięciach skał. Rozmieszczenie punktów opróbowania przedstawia rys. 1. Starano się pobierać próby ze wszystkich poziomów stratygraficznych piętra

kredowego jakie występowały na danym obszarze. Gdy w danym odsłonięciu obserwowano zróżnicowanie litologiczne to pobierano próby z każdej odmiany skały. Do wykonania oznaczenia odsączalności i przepuszczalności z pobranych prób wykonano ponad 200 próbek w kształcie walca o średnicy 36 mm i wysokości 50 mm oraz ponad 400 nieregularnych próbek do oceny porowatości efektywnej.

Porowatość wyznaczono opierając się na metodyce zaproponowanej przez Kleczkowskiego i Mularza (1964). Odsączalność wyznaczono wykorzystując najbardziej rozpowszechnioną metodę przy tego rodzaju badaniach, to jest metodę odwirowania (Motyka et al. 1971). Polega ona na wymuszeniu grawitacyjnego odsączania wody z próby za pomocą siły odśrodkowej wytworzonej w trakcie wirowania. Przy wyznaczeniu przepuszczalności zastosowano metodą zbliżoną do metody stosowanej w aparacie Rogoża (Rogoż, 1975). Jest to metoda, w której przepuszcza się przez próbkę w kształcie walca powietrze, równoległe do jej osi.

2.1. Porowatość efektywna

Porowatość efektywna skał kredowych w Sudetach na podstawie wykonanych badań zmienia się w zakresie od 2,1 do 28,2% (tab. 1). Ponieważ rozkład współczynnika porowatości efektywnej jest zbliżony do normalnego (rys. 2), więc wartość przeciętną najlepiej charakteryzuje wartość średnia. Wynosi ona 14,7%, a standardowe odchylenie 6,89%.

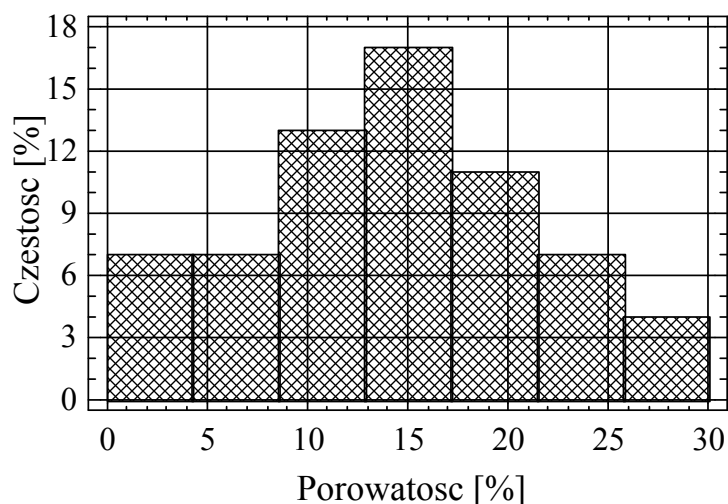
Tab. 1. Charakterystyka podstawowych własności przestrzeni porowej skał kredowych w Sudetach.

Tab. 1. Results of hydrogeological property of cretaceous deposits in Sudety Mts.

	Wszystkie próby	Piaskowce	Mułowce i margle
Ilość oznaczeń	60	42	18
porowatość efektywna (%)			
Średnia	14,7	16,8	9,6
Średnia geometryczna	12,5	15,7	7,3
Minimum	2,1	4,3	2,1
Maximum	28,2	28,2	26,8
odsączalność (%)			
Średnia	7,8	9,7	3,4
Średnia geometryczna	5,0	8,5	1,5
Minimum	0,2	0,8	0,2
Maximum	20,1	18,3	20,1
współczynnik filtracji (m/s)			
Średnia	$4,21 \cdot 10^{-6}$	$5,92 \cdot 10^{-6}$	$1,92 \cdot 10^{-7}$
Średnia geometryczna	$5,72 \cdot 10^{-8}$	$3,57 \cdot 10^{-7}$	$8,00 \cdot 10^{-10}$
Minimum	$1,15 \cdot 10^{-10}$	$4,13 \cdot 10^{-10}$	$1,15 \cdot 10^{-10}$
Maximum	$5,72 \cdot 10^{-5}$	$5,72 \cdot 10^{-5}$	$3,44 \cdot 10^{-6}$

Najwięcej oznaczeń porowatości efektywnej znajduje się w przedziale od 10 do 20 a nawet do 25%. Stanowią one prawie 70% wszystkich oznaczeń. Analizując zależność porowatości od litologii widać, że wyższymi wartościami charakteryzują się piaskowce. Porowatość efektywna piaskowców zawiera się w przedziale od 4,3 do 28,2%, a wartość

średnia wynosi 16,8%. Mułowce i margle charakteryzują się porowatością w przedziale od 2,1 do 26,8 % i wartością średnią 9,8%, czyli prawie o połowę niższą niż piaskowce.



Rys. 2. Histogram rozkładu porowatości efektywnej skał kredowych w Sudetach.

Fig. 2. Histogram of active porosity of cretaceous rock in Sudety Mts.

Uzyskane wyniki porowatości efektywnej zestawiono z wynikami wcześniejszych prac, publikowanymi w literaturze (tab. 2.). Zauważyć można dużą zbieżność wyników. Szczególnie zbliżone wartości średniego współczynnika porowatości otrzymano dla wyników publikowanych w pracy Dziedzica et al. (1979). Większe różnice występują w porównaniu z badaniami S. Kowalskiego (1983).

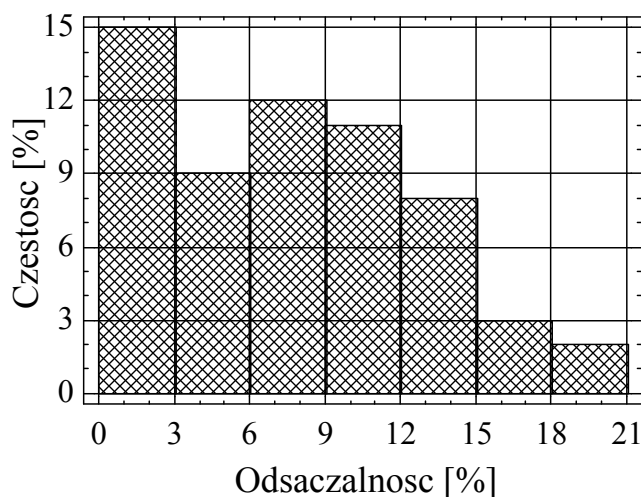
Tab. 2. Zestawienie wyników badań nad porowatością efektywną (%) skał kredowych w Sudetach.

Tab. 2. List of effective porosity calculation for cretaceous deposits in Sudety Mts.

utwory	badania własne	dane na podstawie literatury	
niecka północnosudecka			
piaskowce	22,1 (16,5 - 28,2)	22,7 (12,4 - 29,8)	Dziedzic K. et al. (1979)
niecka Batorowa			
piaskowce	15,7 (12,2 - 20,7)	15,8 (13,2 - 18,7)	Dziedzic K. et al. (1979)
		13,9 (7,5 - 21,3)	Kowalski S. (1983)
mułowce	5,5 (2,6 - 11,7)	6,8 (3,5 - 10,0)	Kowalski S. (1983)

2.2. Odsączalność

Odsączalność skał kredowych na podstawie analizowanych próbek mieści się w przedziale od 0,2 do 20,1% (tab. 1). Średni współczynnik odsączalności wynosi 7,8%, a średni geometryczny 5,0%. Rozkład współczynnika odsączalności przedstawia rys. 3. Jest on wyraźnie asymetryczny, dodatni. Prawie 70% prób wykazuje odsączalność mniejszą od 10%.



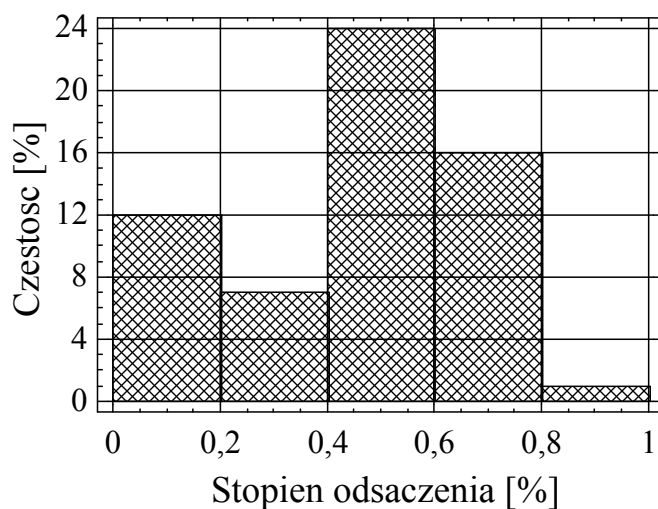
Rys. 3. Histogram rozkładu odsączalności skał kredowych w Sudetach.

Fig. 3. Histogram of storage of cretaceous rock in Sudety Mts

Porównując odsączalność skał o różnej litologii (tab. 1) należy stwierdzić, że największą odsączalnością charakteryzują się piaskowce, dla których współczynnik odsączalności zawiera się w przedziale od 0,8 do 18,3%. Średnia geometryczna wartość współczynnika odsączalności piaskowców wynosi 8,5%. Mułowce i margle charakteryzują się odsączalnością w przedziale od 0,2 do 20,1 % i średnią geometryczną 1,5%. Z tego widać, że skały mułowcowe i margliste oddają wodę w znikomych ilościach, kilkukrotnie mniej niż piaskowce.

Oznaczenie porowatości skał i ich współczynnika odsączalności umożliwia obliczenie stopnia odsączenia, to jest stosunku współczynnika odsączalności do współczynnika porowatości. Wielkość ta pośrednio informuje o wielkości porów, a tym samym także o łatwości odsączenia się wody z przestrzeni porowej (Bielec et al. 1993). Dla badanego zbioru próbek stopień odsączenia mieści się w przedziale od 0,05 do 0,87 a jego wartość średnia wynosi 0,47.

Analizując histogram rozkładu stopnia odsączenia (rys. 4) wyraźnie widać dwa maksima. Pierwsze związane jest z skałami marglistymi i mułowcowymi, które oddają niewielkie ilości wody. Średnia wartość stopnia odsączenia dla tych skał wynosi 0,15. Drugie maksimum reprezentuje piaskowce dla których średni stopień odsączenia wynosi 0,56, czyli jest ponad dwukrotnie większy niż dla mułowców i margli.

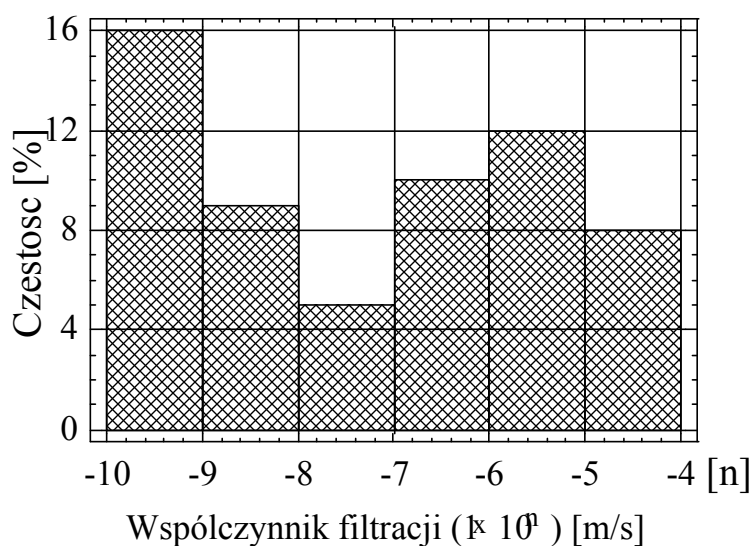


Rys. 4. Histogram rozkładu stopnia odsączenia skał kredowych w Sudetach.

Fig. 4. Histogram of degree of drain off cretaceous rock in Sudety Mts

2.3. Przepuszczalność

Współczynnik przepuszczalności skał klastycznych górnej kredy w Sudetach zmienia się w przedziale od 0,00001 do 4,94 mD, co w przeliczeniu na współczynnik filtracji dla wody o temperaturze 10°C stanowi przedział od $1,15 \cdot 10^{-10}$ do $5,72 \cdot 10^{-5}$ m/s (tab. 1).



Rys. 5. Histogram rozkładu współczynnika filtracji skał kredowych w Sudetach

Fig. 5. Histogram of hydraulic conductivity of cretaceous rock in Sudety Mts

Średnia geometryczna wartość współczynnika filtracji wynosi $5,72 \cdot 10^{-8}$ m/s, co zgodnie z klasyfikacją Pazdry (1983) kwalifikuje skały jako półprzepuszczalne. Analizując histogram rozkładu logarytmów współczynnika filtracji kredowych utworów w Sudetach (rys. 5) można zauważyć wyraźne dwa maksima. Pierwsze w przedziale od $1 \cdot 10^{-10}$ do $1 \cdot 10^{-8}$ m/s odpowiada współczynnikowi filtracji mułowców i margli i drugie maksimum od $1 \cdot 10^{-7}$ do $1 \cdot 10^{-4}$ m/s charakterystyczne jest dla piaskowców. Dla piaskowców średnia geometryczna wartość współczynnika filtracji wynosi $3,57 \cdot 10^{-7}$ m/s. Znacznie niższym współczynnikiem filtracji charakteryzują się mułowce i margle. Ich średni geometryczny współczynnik filtracji wynosi $8,00 \cdot 10^{-10}$ m/s. A zatem są to skały praktycznie nieprzepuszczalne.

Badaniem przepuszczalności w skałach kredy górnej w Sudetach zajmował się J. Wojewoda (1985). Analizował on przede wszystkim piaskowce z obszaru Gór Stołowych i badał wpływ cech strukturalnych piaskowców na ich przepuszczalność. Wykazał on anizotropię przepuszczalności osadów w zależności od kierunku przeprowadzonego badania w stosunku do położenia próbki. Różnica pomiędzy najmniejszą i największą przepuszczalnością próbki w zależności od kierunku badania dochodziła do 70%, a przeważnie wynosiła około 50%. W badaniach tych próbki orientowane były w stosunku do powierzchni warstwowania dla piaskowców warstwowanych przekątnie w dużej skali oraz w stosunku do kierunków geograficznych w przypadku piaskowców warstwowanych przekątnie w dużej skali i piaskowców niewarstwowanych. Piaskowce warstwowane przekątnie w dużej skali wykazywały największą przepuszczalność równoległe do warstwowania. W przypadku pozostałych rodzajów piaskowców nie zaobserwowano wyraźnego typu anizotropii. Przeprowadzone przez autora badania wykazały również anizotropię przepuszczalności w zależności od kierunku oznaczenia (tab. 3). Badania przeprowadzono na piaskowcach niewarstwowanych i warstwowanych przekątnie w dużej skali. Różnice pomiędzy wartościami minimalnymi a maksymalnymi mieszczą się w granicach 9,7 do 34,9 %. Są więc niższe niż podawane przez J. Wojewodę.

Tab. 3. Zmienność przepuszczalności (mD) w zależności od kierunku badania.

Tab. 3. Variation of permeability (mD) due to direction of analysis

Nr próby	Kierunek			Różnica min i max [%]
	prostopadle do powierzchni terenu	N-S	W-E	
5	25,80	21,75	-	18,6
11	71,21	46,32	54,50	34,9
40	384,24	457,11	-	15,9
62	1533,7	1738,3	1331,8	23,4
65	1621,5	1756,1	1796,5	9,7

Badania nad anizotropią przepuszczalności prowadził również B. Bielec (1999). Jednak w swojej pracy podał on tylko zależności regresyjne łączące współczynnik filtracji badany równoległe i prostopadle do uławicenia i wskazał, że wartość współczynnika filtracji uzyskana dla próbek wyciętych równoległe do uławicenia jest zazwyczaj większa niż próbek wyciętych prostopadle do uławicenia.

Obserwowana anizotropia przepuszczalności wpływa niejednokrotnie w sposób znaczący na uzyskiwane wyniki. Dlatego w prezentowanej pracy przyjęto, że wszystkie analizowane w tej pracy wyniki pochodzą z rdzeni wyciętych zawsze prostopadle do powierzchni terenu. Umożliwia to dokonanie obiektywnego porównania przepuszczalności skał z różnych odsłoneń, miejsc występowania utworów kredy i w poszczególnych epokach kredy.

3. WNIOSKI

1. Porowatość skała kredowych w Sudetach zmienia się od 2,1 do 28,2% a średnia wartość wynosi 14,7%. Porowatość, tak jak i pozostałe analizowane własności hydrogeologiczne skał, uzależniona jest od wykształcenia litologiczne skał. Dla piaskowców średnia porowatość wynosi 16,8% a dla mułowców i margli 9,8%
2. Odsączalność zmienia się od 0,2 do 20,1% a średnia geometryczna wartość wynosi 5,0%. Skały mułowcowe i margliste oddają wodę w znikomych ilościach (średnia odsączalność 1,5%), kilkukrotnie mniej niż piaskowce (średnia odsączalność 8,5%).
3. Współczynnik filtracji skał kredowych w Sudetach zawiera się w przedziale od $1,15 \cdot 10^{-10}$ do $5,72 \cdot 10^{-5}$ m/s (tab. 1). Średnia geometryczna wartość współczynnika filtracji wynosi $5,72 \cdot 10^{-8}$ m/s. Dla piaskowców średnia geometryczna wartość współczynnika filtracji wynosi $3,57 \cdot 10^{-7}$ m/s. Znacznie niższym współczynnikiem filtracji charakteryzują się mułowce i margle. Ich średni geometryczny współczynnik filtracji wynosi $8,00 \cdot 10^{-10}$ m/s. A zatem są to skały praktycznie nieprzepuszczalne.
4. Przepuszczalność skał warstwowanych charakteryzuje się anizotropią. Piaskowce warstwowane przekątnie w dużej skali wykazują największą przepuszczalność równoległą do warstwowania. Różnica pomiędzy największą i najmniejszą wartością przepuszczalności w zależności od kierunku badania dochodzi do 35%

4. SPIS LITERATURY

Bielec B.: 1999 - *Własności hydrogeologiczne przestrzeni porowej skał zwięzłych z obszaru Polski*. Praca doktorska. AGH, Kraków.

Dziedzic K., Kozłowski S., Majerowicz A., Sawicki L. (red.), 1979 - *Surowce mineralne Dolnego Śląska*. Ossolineum, Wrocław.

Kleczkowski A.S. (red): 1990 - *Mapa Głównych Zbiorników Wód Podziemnych w Polsce wymagających szczególnej ochrony*. Wyd. AGH, Kraków.

Kleczkowski A., Mularz., 1964 - *Przyczynek do metodyki wyznaczania porowatości skał dla celów hydrogeologicznych*. Przegl. Geol. 2, Warszawa.

Kowalski S., 1983 a - *Wody podziemne w skałach górnokredowych Gór Stołowych*. Prace Hydrogeologiczne z. 15, Wyd. Geol., Warszawa.

Motyka J., Szczepańska J., Witczak S., 1971 - *Zastosowanie wirówki do badań współczynnika odsączalności i dynamiki oddawania wody przez skałę*. Technika Poszukiwań, 37, Kraków.

Pazdro Z., 1983 - *Hydrogeologia ogólna*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.

Rogoż M., 1975 - *Urządzenie do oznaczania przepuszczalności skał zwięzłych*. Przegl. Górn. 7-8.

Wojewoda J., 1985 - *Anizotropia przepuszczalności górnokredowych piaskowców progu Radkowa (Sudety środkowe)*. Przegląd Geologiczny nr 6, Warszawa.