

Robert TARKA\*

## WODONOŚNOŚĆ SKAŁ KREDOWYCH NA OBSZARZE SUDETÓW WATER-BEARING CAPACITY OF CRETACEOUS FORMATION IN THE SUDETY MTS

**Słowa kluczowe:** wody podziemne, własności hydrogeologiczne, utwory kredy

### Abstract

Cretaceous formation in Sudety Mts. are found in two structural basin: North Sudetic Synclinorium and Intrasudetic Basin with Nysa Graben. In this formation 3-4 water-bearing capacity has been described. Well discharge are variable and belong to range from 0, 3 to 252, 0 m<sup>3</sup> / h, mostly are lower than 60 m<sup>3</sup>/h. Arithmetic mean values is equal 34,8 m<sup>3</sup>/h when geometric average is 15,7 m<sup>3</sup>/h. Specific capacity similar to discharge is variable with geometric mean 1,5 m<sup>3</sup>/h/m. According to Krasny classification (1993) Cretaceous formation is characterised by medium properties and its large variability.

### 1. UTWORY KREDY W SUDETACH

Osady kredowe w Sudetach należą do jednego cyklu sedymentacyjnego, który rozpoczyna się transgresją morską i kończy się regresją morską (Radwański 1968). Osady kredowe powstawały w dwóch basenach strukturalnych: północnosudeckim i środkowosudeckim. Obecnie w Sudetach istnieje kilka obszarów występowania skał kredowych: dwa z nich znajdują się w północnych Sudetach - w niecce północnosudeckiej i rowie Wlenia (najbardziej na południowy-wschód wysunięty element tektoniczny niższego rzędu synklinorium północnosudeckiego), pozostałe zaś w środkowych Sudetach, a mianowicie w niecce śródsudeckiej wraz z rowem Nysy Kłodzkiej, zapadliskiem Kudowy oraz Górami Bystrzyckimi i Orlickimi.

W wyniku alpejskich ruchów tektonicznych masyw czeski wszedł w cenomanie w stadium zanurzania się, wskutek czego został objęty transgresją morską. Sedymentacja osadów kredy przebiegała odmiennie w poszczególnych obszarach. Związane jest to zarówno ze zróżnicowaniem subsydencji dna, z różnym oddaleniem od obszarów lądowych, które dostarczały materiału do zbiornika morskiego oraz z różną aktywnością tych obszarów. Od górnego cenomanu do dolnego koniakum między basenem północnosudeckim a środkowosudeckim istniało połączenie, na które wskazuje podobieństwo facjalnego wykształcenia osadów gromadzonych w tych basenach. Różnica w sedymentacji w tych dwóch obszarach jest widoczna dopiero w wyższej części profilu kredy. W cenomanie i dolnym turonie w obu obszarach powstały bowiem, nie różniące się w sposób istotny sekwencje transgresyjne. Począwszy od środkowego turonu notuje się znaczne rozbieżności

---

\*Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, Zakład Hydrogeologii Podstawowej

w wykształceniu osadów. Polegają one na różnicach miąższości ogniw litologicznych w depresji śródsudeckiej i rowie Nysy Kłodzkiej a także na występowaniu ogniw litologicznych ograniczonych do jednej z dwóch omawianych jednostek geologicznych. Łączna miąższość osadów kredy w rowie Nysy Kłodzkiej jest przeszło dwukrotnie większa niż w depresji śródsudeckiej. Maksymalna subsydencja dna zbiornika sedymentacyjnego w depresji śródsudeckiej przypada na środkowy i górny turon podczas gdy rów Nysy Kłodzkiej był najintensywniej wypełniony osadami w koniak. Różnice w warunkach sedymentacji osadów kredy najlepiej odzwierciedla tab. 1.

## 2. WYSTĘPOWANIE WÓD PODZIEMNYCH W UTWORACH KREDY

W utworach kredy, na całym obszarze wyróżnić można 3-4 poziomy wodonośne. Dolny poziom wodonośny o najregularniejszym wykształceniu występuje w piaskowcach ciosowych cenomanu. Miąższość tych piaskowców wynosi do 20 m w niecce śródsudeckiej i do 50-60 m w basenie północnosudeckim. Lokalnie może się zwiększać do 130 m w okolicy Wilkowa i zmniejszać do 20 m w południowej części rowu Wlenia. Poziom środkowy związany jest z piaskowcami środkowego turonu a poziom górny z piaskowcami górnego turonu i koniak. Najczęściej jednak poziom środkowy i górny nie są wyraźnie oddzielone od siebie i łączą się razem tworząc na przeważającej części obszaru tak zwane górne piętro wodonośne. Oba piętra wodonośne rozdzielone są pakietem utworów marglistych o miąższości około 30 m., wieku górny cenoman-dolny turon. Na obszarze występowania utworów santonu występuje jeszcze poziom wodonośny związany z piaskowcami ilastymi. Jednak ze względu na niewielki stopień spękania tych warstw są one słabo wodonośne. Na obszarach silnie zaangażowanych tektonicznie utwory kredy tworzą jeden kompleks wodonośny (np. rejon Gorzanowa i Międzylesia w rowie Nysy Kłodzkiej). Na obszarach, gdzie utwory kredy przykryte są utworami czwartorzędowymi najczęściej górny poziom wodonośny łączy się z wodami piętra czwartorzędowego tworząc wspólny poziom wodonośny (np. niecka Krzeszowa, synklina Lwówka). Natomiast dolny poziom wodonośny pozostaje w hydraulicznym kontakcie z wodami starszych pięter wodonośnych (krystaliczne podłoże, skały osadowe permu i triasu).

## 3. WODONOŚNOŚĆ UTWORÓW KREDY

Porównując wodonośność skał kredowych na obszarze niecki śródsudeckiej i niecki północnosudeckiej oparto się o dostępne wyniki próbnych pompowań w otworach hydrogeologicznych. Zebrano informację z 47 otworów z obszaru niecki północnosudeckiej i 93 otworów z niecki śródsudeckiej i rowu Nysy Kłodzkiej. Rozmieszczenie otworów na analizowanym obszarze nie jest równomierne. Najslabiej rozpoznana jest zachodnia część synklinorium północnosudeckiego, gdzie utwory kredy przykryte są dość miąższą pokrywą utworów trzecio- i czwartorzędowych. Brak jest również danych o wodonośności kredy na obszarze Gór Bystrzyckich. Do obszarów o dobrym rozpoznaniu zaliczyć można rów jerzmanicki, zapadlisko Kudowy czy okolice Polanicy Zdrój. Praktycznie wszystkie analizowane studnie ujmują pierwszy użytkowy poziom wodonośny w kredzie na danym obszarze. Z tego względu prezentowaną charakterystykę wodonośności utworów kredy można traktować jednocześnie jako charakterystykę pierwszego poziomu użytkowego. Na obszarze synklinorium północnosudeckiego ujętą warstwę wodonośną stanowią piaskowce, natomiast na obszarze niecki śródsudeckiej i rowu Nysy Kłodzkiej wody ujmowane są zarówno z

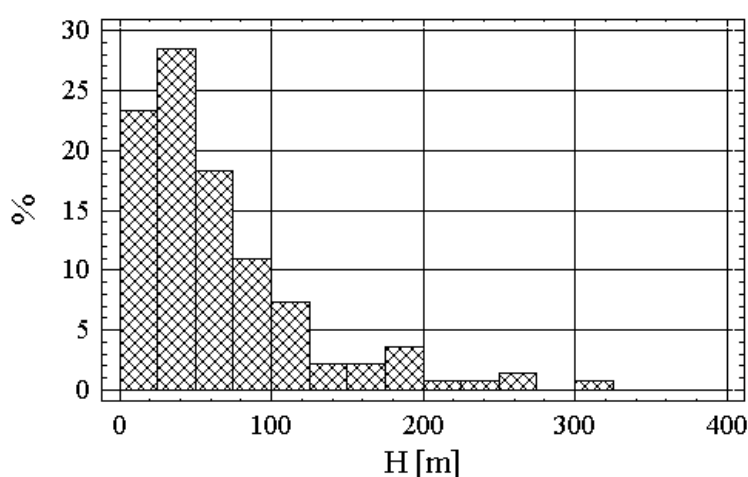
TABELA 1. Litologia i stratygrafia górnej kredy

	Synklinorium północnosudeckie				Synklinorium śródsudeckie		Rów Nysy Kłodzkiej	
	Zachód	Miaższość [m]	Wschód	Miaższość [m]		Miaższość [m]		Miaższość [m]
Santon dolny	mułowce kwarcowe mułowce margliste mułowce margliste	250-400	piaskowce z ilami piaskowce iły z węglami	0-800	brak osadu		brak osadu	
Koniak górny	margle piaszczyste	200	brak osadów		brak osadu		piaskowce	5-40
Koniak dolny	margle ilaste	80	piaskowce piaskowce margliste margle piaszczyste	100-200	brak osadów		iłowce mułowce i piaskowce iłowce margliste	210-400
Turon górny	margle piaszczyste margle piaszczyste margle ilaste	100-200	margle piaszczyste margle ilaste	100-200	piaskowce piaskowce, margle ilaste	30-150	margle ilaste iłowce margle ilaste	150-190
Turon środkowy	margle ilaste margle ilaste wapienie	75	mułowce, piaskowce margle ilaste	45-80	mułowce piaskowce mułowce	110-160	mułowce piaskowce mułowce	80-130
Turon dolny	margle ilaste margle ilaste wapienie	20-50	margle mułowce, piaskowce margle	20-50	margle ilaste mułowce	30-80	margle margle, piaskowce mułowce	20-40
Cenoman górny	wapienie margle piaskowce	50	margle piaskowce piaskowce	50-135	piaskowce wapniste piaskowce piaskowce	10-50	piaskowce wapniste piaskowce piaskowce	5-15
Cenoman dolny	brak osadów		brak osadów		piaskowce wapniste	0-10	piaskowce wapniste	0-10

Na podstawie: J. Milewicz 1973, 1991, S. Radwański 1973, 1975.

piaskowców jak i z mułowców oraz margli. Wody w utworach kredowych występują przeważnie na głębokościach od kilku, częściej kilkunastu do kilkuset metrów, lokalnie nawet poniżej tysiąca metrów (np. w centrum niecki północnosudeckiej). W ponad połowie przypadków głębokość ujęcia wody, wyznaczona jako środek strefy zafiltrowania, jest mniejsza od 50 m (ryc. 1). W górnych warstwach wodonośnych, gdy stanowią one pierwszy od poziomu terenu, odkryty, poziom wodonośny (np. w Kotlinie Kłodzkiej) zwierciadło wody jest swobodne lub nieznacznie napięte. W głębszych poziomach wodonośnych, szczególnie w cenomanie, z reguły stwierdza się wody pod ciśnieniem od kilku do kilkudziesięciu atmosfer. Największe ciśnienia występują w części zachodniej i południowo-zachodniej synklinorium północnosudeckiego, gdzie użytkowy poziom wodonośny przykryty jest mięszym pakietem utworów santonu i trzeciorzędu oraz na brzegach rowu Nysy Kłodzkiej. Nierzadko zdarzają się samowypływy jak na przykład w południowej części niecki Krzeszowa.

Wydajności studni są bardzo różne i zmieniają się od 0,3 do 252,0 m<sup>3</sup>/h, najczęściej jednak są mniejsze od 60 m<sup>3</sup>/h. Średnia wydajność analizowanych otworów wynosi 34,8 m<sup>3</sup>/h a średnia geometryczna 15,7 m<sup>3</sup>/h. Wydajności jednostkowe zmieniają się, tak jak i wydajności całkowite, w szerokim zakresie, a średnia geometryczna wartość wynosi 1,5 m<sup>3</sup>/h/m. Rozkład przestrzenny zmienności wydajności jednostkowej zbliżony jest do rozkładu wydajności całkowitej. Najwyższe wydajności studni na obszarze synklinorium północnosudeckiego uzyskano w otworach znajdujących się na ujęciu w Złotoryi co może być związane z przebiegającym w pobliżu uskokiem jержmanickim. Najniższe wydajności występują w centralnej części synklinorium, gdzie ujmowane są wody ze słabo spękaných osadów koniaku i santonu. Na obszarze niecki śródsudeckiej i rowu Nysy Kłodzkiej największe wydajności występują w okolicach Pokrzywny, Różanki, Gorzanowa, Domaszkowa i Jeleniowia. Są to wartości przekraczające 150 m<sup>3</sup>/h. Analizując rozkład wydajności całkowitej można zauważyć, że wydajności rosną z północy ku centrum obszaru i ze wschodu w kierunku Gór Stołowych. Związane jest to z większym zaangażowaniem tektonicznym tej części obszaru.

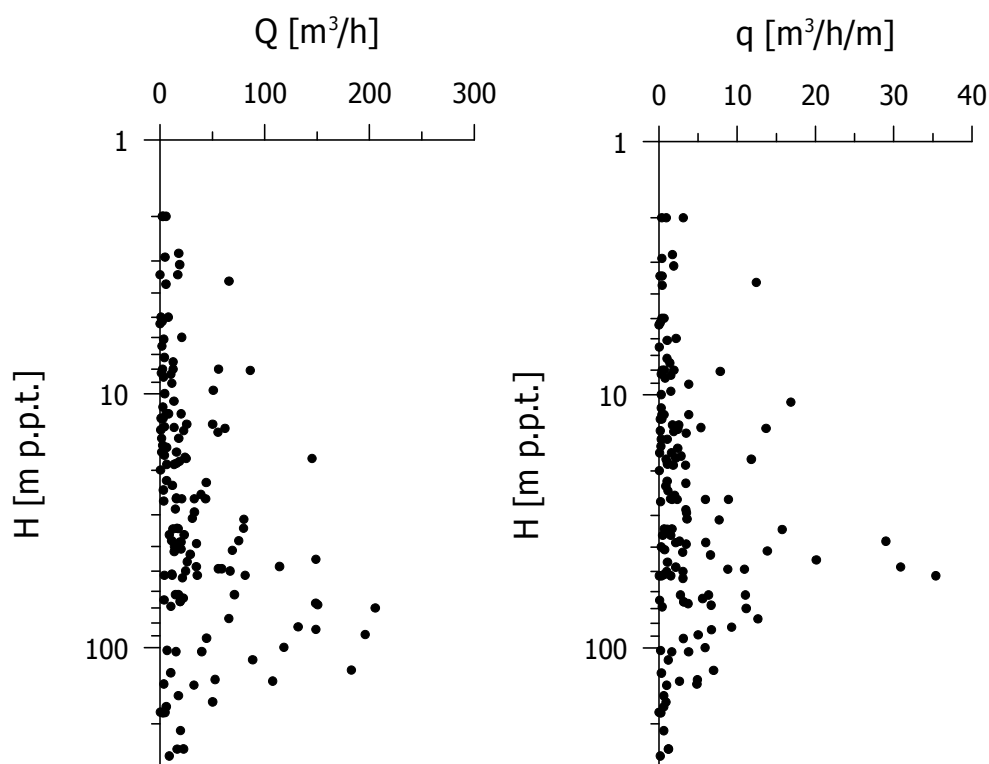


RYCINA 1. Głębokość ujęcia (H) wód podziemnych w utworach kredy sudeckiej.

Średnie geometryczne charakterystyki wydajności otworów na poszczególnych obszarach występowania utworów kredy w Sudetach przedstawia tab. 2. Najwyższe średnie wydajności całkowite i jednostkowe z otworów występują na obszarze synklinorium północnosudeckiego i rowu Nisy Kłodzkiej. Natomiast obszar niecki Batorowa i zapadliska Kudowy cechują niższe wartości charakterystyk wydajności. Związane jest to z tym, że na tych obszarach stosunkowo dużo otworów ujmuje wody ze skał mułowcowych i marglistych. Analizując zależność wydajności maksymalnej otworów od głębokości (ryc. 2) można zauważyć, że

TABELA 2. Średnie geometryczne wartości charakterystyk wydajności całkowitych (Q) i wydajności jednostkowych (q) otworów na obszarze kredy w Sudetach.

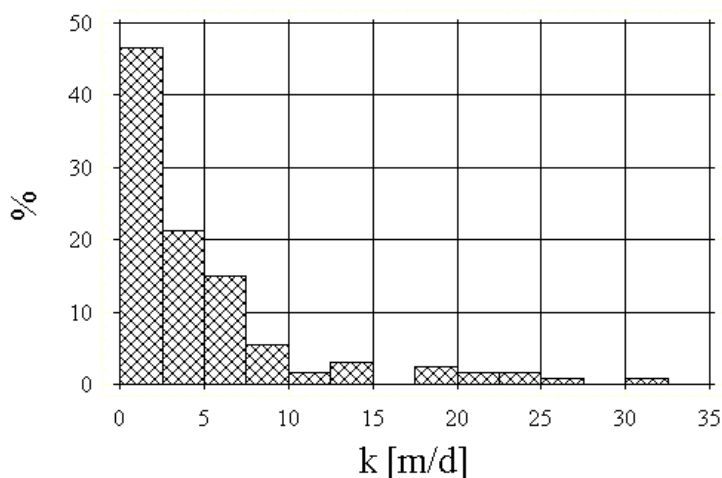
Obszar	Ilość pomiarów	Średnia geometryczna wydajność całkowita [m <sup>3</sup> /h]	Średnia geometryczna wydajność jednostkowa [m <sup>3</sup> /h/m]
Synklinorium północnosudeckie	47	20,5	1,9
Niecka Batorowa	34	11,2	1,1
Zapadlisko Kudowy	18	7,5	1,1
Rów Nisy Kłodzkiej	41	21,3	1,7



Rycina 2. Zależność wydajności całkowitej (Q) i jednostkowej (q) otworów od głębokości nawiercenia wody (H).

największe wydatki związane są z warstwami wodonośnymi zalegającymi płytko pod powierzchnią terenu do 20-30 m. Przy ujęciu wód znajdujących się głębiej wydajności maksymalne rzadko przekraczają 40 m<sup>3</sup>/h. W przypadku wydajności jednostkowej nie obserwuje się jednak jakiegokolwiek jej zależności z głębokością. Może to sugerować, że w całym przebadanym profilu utworów kredowych panują podobne warunki hydrogeologiczne wpływające na formowanie się dopływów wody do otworów studziennych. Wysokie wartości wydajności jednostkowej (>10 m<sup>3</sup>/h/m) obserwuje się zarówno na głębokości kilku metrów p.p.t. jak i na głębokości poniżej 60 m p.p.t.

W celu dalszej charakterystyki wodonośności utworów kredy w Sudetach obliczono na podstawie próbnych pompowań, współczynnik filtracji. Na analizowanym obszarze przepływ wody ma charakter porowo-szczelinowy. W tego typu wodonośnościach, szczególnie przy wytworzeniu dużych gradientów hydraulicznych może dojść do przejścia ruchu laminarnego w mieszany, a następnie w turbulentny. Z tego względu do wyznaczenia współczynnika filtracji wykorzystano dane z pierwszego stopnia pompowania. Dla całego zbioru analizowanych otworów wartości współczynnika filtracji zawierają się w przedziale od 0,02 do 167,04 m/d, a średnia geometryczna wartość współczynnika filtracji wynosi 2,49 m/d ( $2,88 \cdot 10^{-5}$  m/s). W przedstawionym na rycinie 3 rozkładzie współczynnika filtracji dla większej czytelności pominięto cztery największe wartości powyżej 50 m/d. Prawie połowa (46,5%) wartości jest mniejszych od 2,5 m/d, a zdecydowana większość zawiera się w przedziale do 10 m/d. Procentowy udział zgodnie z klasyfikacją Pazdry (1983) przedstawia tabela 3. Ponad



RYCINA 3. Histogram rozkładu współczynnika filtracji (k).

TABELA 3. Procentowy rozkład współczynnika filtracji (k) dla utworów kredy sudeckiej.

Klasa	Przedział	Liczebność	Procenty
Bardzo dobra	>86,4 m/d	1	0,8
Dobra	86,4-8,64 m/d	19	14,5
Średnia	8,64-0,864 m/d	81	61,8
Słaba	0,864-0,0864 m/d	27	20,6
Skały półprzepuszczalne	<0,0864 m/d	3	2,3

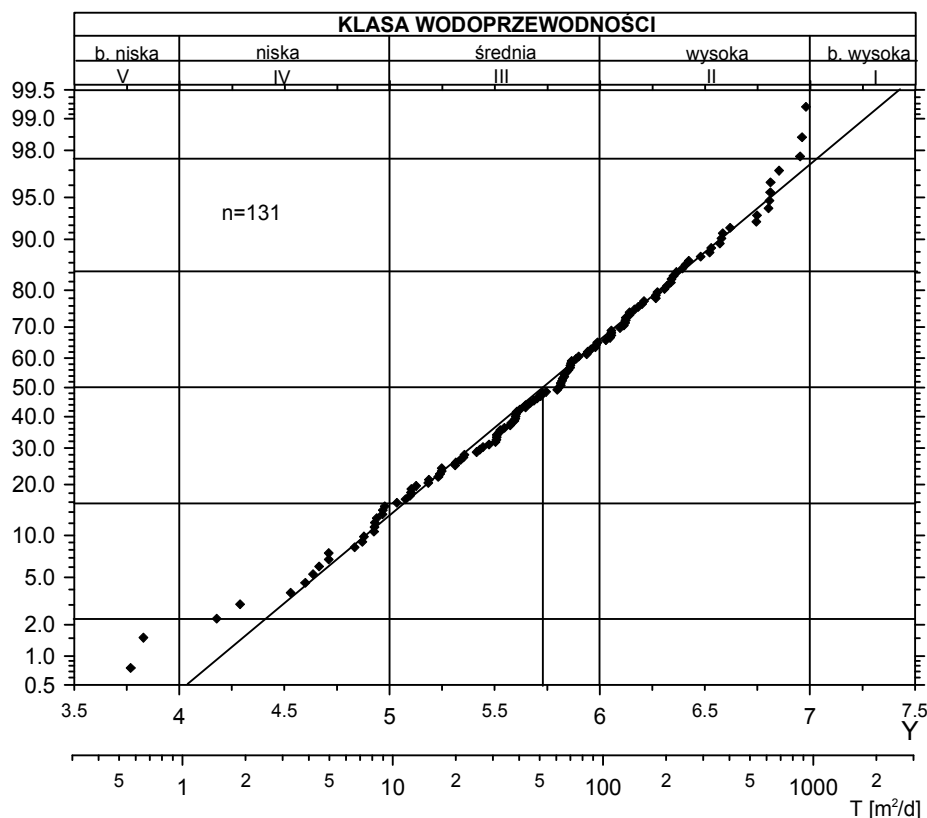
TABELA 4. Średnie geometryczne wartości współczynnika filtracji (k) na obszarze kredy w Sudetach.

Obszar	Ilość pomiarów	Średnia geometryczna [m/d]	Standardowe odchylenie log(k)
Synklinorium północnosudeckie	46	2,90	0,53
Niecka Batorowa	30	2,05	0,82
Zapadlisko Kudowy	18	2,96 (1,86)	0,74 (0,51)
Rów Nysy Kłodzkiej	35	2,09	0,70

trzy czwarte z wyznaczonych wartości współczynnika filtracji należy do klasy średniej i dobrej. Tylko 23% cechuje się słabymi właściwościami filtracyjnymi. Najwyższe wartości współczynnika filtracji na obszarze synklinorium północnosudeckim, powyżej 50 m/d, występują w synklinie leszczyńsko-jezermanickiej, co związane jest niewątpliwie ze znaczną miąższością piaskowców w tej części niecki i ich dobrym wysortowaniem. Na przeważającej części obszaru dominują wartości w granicach od 1 do 10 m/d, jedynie w obszarze na południe i na zachód od Bolesławca są one wyższe od 10 m/d. Na obszarze Kotliny Kłodzkiej najwyższe wartości obserwuje się w centralnej części rowu Nysy. Maleją one następnie w kierunku północnym, wschodnim i południowym. Najwyższe wartości współczynnika filtracji związane są z obszarem charakteryzującym się najbardziej skomplikowaną tektoniką w obszarze między Bystrzycą Kłodzką i Długopolem. Na obszarze niecki Batorowa najwyższe wartości występują pomiędzy Polanicą Zdrój a Szalejowem. Również rów Nysy Kłodzkiej cechuje się wyższymi wartościami współczynnika filtracji w porównaniu z niecką Batorowa. Potwierdzeniem tego są wartości średnie współczynnika filtracji obliczone dla poszczególnych podobszarów (tab. 4). Dla całego obszaru śródsudeckiego średnia wartość współczynnika filtracji wynosi 2,24 m/d. Wysoka wartość dla zapadliska Kudowy w porównaniu z innymi obszarami kredy śródsudeckiej związana jest z wysokimi wynikami współczynnika filtracji uzyskanymi dla dwóch otworów (85,86 i 167,04 m/d). Bez tych otworów średnia geometryczna wartość współczynnika filtracji wynosi dla tego obszaru 1,86 m/d. Wyniki zestawione w tabeli 4 pokazują, że najwyższą średnią geometryczną wartością współczynnika filtracji charakteryzuje się synklinorium północnosudeckie. Dla obszaru śródsudeckiego średnie wartości współczynnika filtracji na poszczególnych podobszarach są do siebie zbliżone. Niższe wartości średnie dla kredy śródsudeckiej w porównaniu z obszarem północnosudeckim związane są niewątpliwie z faktem ujęcia w tym pierwszym obszarze wód nie tylko z utworów piaskowcowych, ale również z mułowców i margli. Z tego względu w tabeli 5 przedstawiono porównanie średnich wartości współczynnika filtracji na poszczególnych obszarach w rozbiciu na wykształcenie litologiczne warstw wodonośnych. Wynika z tego, że utwory mułowcowe i margliste cechują się niższymi wartościami współczynnika filtracji. Jednak nie jest to szczególnie duża różnica i wynosi, poza rowem Nysy Kłodzkiej, jedynie kilkanaście procent. Wpływa na to zapewne duże spękanie tych utworów w strefie wietrzeniowej. Jeżeli porównać tylko otwory ujmujące warstwy piaskowców, to średnia geometryczna wartość dla obszaru śródsudeckiego jest podobna jak na obszarze północnosudeckim. Czyli piaskowce na całym obszarze występowania kredy w Sudetach cechują się zbliżonymi wartościami właściwości hydrogeologicznych.

TABELA 5. Porównanie średnich geometrycznych wartości współczynnika filtracji [m/d] na obszarze kredy śródsudeckiej w zależności od litologii warstwy wodonośnej.

Obszar	Litologia ujętej warstwy wodonośnej	
	mułowce i margle	piaskowce
Niecka Batorowa	1,35	2,02
Zapadlisko Kudowy	3,63 (1,92)	1,73
Rów Nysy Kłodzkiej	1,20	4,29
Cała kreda śródsudecka	1,72 (1,40)	2,99



RYCINA 4. Rozkład wskaźnika wydajności jednostkowej (Y) utworów kredowych na siatce prawdopodobieństwa.

Statystyczna analiza wydajności jednostkowej zgodnie z metodą zaprezentowaną przez Krasnego (1993) wskazuje na wartość współczynnika wodoprzewodności wynoszącą w granicach  $50 \text{ m}^2/\text{d}$  (ryc. 4).

Z analizy ryciny 4 wynika również, że większość otworów znajduje się w III i II klasie, czyli charakteryzuje się średnią i wysoką wodoprzewodnością. Do określenia stopnia zmienności właściwości hydraulicznych ośrodka skalnego wykorzystuje się odchylenie standardowe indeksu Y ( $Y = \log(10^6 q)$ , gdzie  $q$  w  $l/s \text{ m}$ ). Wartość standardowego odchylenia równa 0,624 pozwala zaliczyć to środowisko skalne w którym wykonano analizowane próbn



pompowania do zróżnicowanego. Czyli warstwy wodonośne kredowego piętra wodonośnego na analizowanym obszarze charakteryzuje się średnią i wysoką wodoprzewodnością oraz dużą jej zmiennością (zróżnicowany typ środowiska hydrogeologicznego).

#### 4. PODSUMOWANIE

Osady kredowe w Sudetach występują w dwóch basenach strukturalnych: synklinorium północnosudeckim i niecce śródsudeckiej z rowem Nisy Kłodzkiej. W utworach kredy wyróżnić można 3-4 poziomy wodonośne. Wydajności studni są bardzo różne i zmieniają się od 0,3 do 252,0 m<sup>3</sup>/h, najczęściej jednak są mniejsze od 60 m<sup>3</sup>/h. Średnia wydajność analizowanych otworów wynosi 34,8 m<sup>3</sup>/h a średnia geometryczna 15,7 m<sup>3</sup>/h. Wydajności jednostkowe zmieniają się, tak jak i wydajności całkowite, w szerokim zakresie, a średnia geometryczna wartość wynosi 1,5 m<sup>3</sup>/h/m. Analizując zależność wydajności maksymalnej otworów od głębokości (ryc. 2) można zauważyć, że największe wydatki związane są z warstwami wodonośnymi zalegającymi płytko pod powierzchnią terenu do 20-30 m. Przy ujęciu wód znajdujących się głębiej wydajności maksymalne rzadko przekraczają 40 m<sup>3</sup>/h. W przypadku wydajności jednostkowej nie obserwuje się jednak jakiegokolwiek jej zależności z głębokością. Może to sugerować, że w całym przebadanym profilu utworów kredowych panują podobne warunki hydrogeologiczne wpływające na formowanie się dopływów wody do otworów studziennych.

Dla całego zbioru analizowanych otworów wartości współczynnika filtracji zawierają się w przedziale od 0,02 do 167,04 m/d, a średnia geometryczna wartość współczynnika filtracji wynosi 2,49 m/d ( $2,88 \cdot 10^{-5}$  m/s). Ponad trzy czwarte z wyznaczonych wartości współczynnika filtracji należy do klasy średniej i dobrej a tylko 23% cechuje się słabymi właściwościami filtracyjnymi. Na podstawie statystycznej analizy wydajności jednostkowej, zgodnie z metodą zaprezentowaną przez Krasnego (1993), średnia wartość współczynnika wodoprzewodności wynosi w granicach 50 m<sup>2</sup>/d. Rozkład wskaźnika wydajności jednostkowej Y wykazuje, że warstwy wodonośne kredowego piętra wodonośnego na analizowanym obszarze charakteryzuje się średnią i wysoką wodoprzewodnością oraz dużą jej zmiennością (zróżnicowany typ środowiska hydrogeologicznego).

#### LITERATURA:

- Krasny J., 1993 - *Classification of transmissivity magnitude and variation*. Ground Water. Vol.31.No 2.
- Milewicz J., 1971 - *Kreda północnosudecka a wschodniobrandenburska*. Kwart. Geol., T.15, nr 1. Warszawa.
- Milewicz J., 1973 - *Niecka północnosudecka*. W: Budowa geologiczna Polski, T. I Stratygrafia, cz.2 mezozoik, Wyd. Geol. Warszawa.
- Milewicz J., 1991 - *O rozwoju północnosudeckiego basenu kredowego*. Biuletyn PIG, nr 367, Warszawa.
- Pazdro Z., 1983 - *Hydrogeologia ogólna*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Radwański S., 1968 - *Górnokredowe osady w Sudetach i wpływ tektoniki na ich sedymentację*. Kwart. Geol. T. 12, nr 3. Warszawa.
- Radwański S., 1975 - *Kreda Sudetów Środkowych w świetle wyników nowych otworów wiertniczych*. Biuletyn PIG, nr 287, Warszawa.