

Jacek MOTYKA, Zbigniew WILK

Pionowe zróżnicowanie wodoprzepuszczalności węglanowych skał triasowych w świetle statystycznej analizy wyników próbnych pompowań (monoklina śląsko–krakowska)

WSTĘP

Na tle ogólnego stopnia rozpoznania hydrogeologicznego triasu monokliny śląsko–krakowskiej szczególnie wielkim zagęszczeniem punktów badawczych, tj. wierceń i próbnych pompowań, odznacza się olkuski rejon rudonośny. Istnieje tam jednak nadal wiele problemów, wymagających odrębnych, szczegółowych studiów. Należą do nich podstawowe zagadnienia hydrogeologii kopalnianej, takie jak uściślenie prognoz zasięgu oddziaływania istniejących kopalń rud cynkowo–ołowiowych, dopływów wód do nowobudowanych kopalń, oraz określenie zjawisk będących zagrożeniem przy prowadzeniu robót górniczych. Ostatnio prognozy takie opracowuje się m. in. za pomocą metod modelowania.

Jednym z problemów, który się wyłonił w trakcie przygotowywania programu do modelowań analogowych, prowadzonych w Instytucie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH, było określenie zmian przepuszczalności w profilu węglanowych skał triasowych, które są zasadniczą serią wodonośną rejonu Olkusza. Chodziło głównie o uzyskanie podstaw do oceny czy popełnia się błędy i jakie, przyjmując (z powodu braku innej możliwości), że węglanowe skały triasowe, obejmujące ret oraz dolny i środkowy wapień muszlowy, reprezentują w profilu pionowym kompleks wodonośny jednorodny pod względem przepuszczalności.

W artykule niniejszym scharakteryzowano materiał podstawowy oraz metodykę, którą zastosowano do wyjaśnienia powyższej kwestii, a także przedstawiono wyniki badań.

CHARAKTERYSTYKA I KRYTYCZNA DYSKUSJA MATERIAŁÓW PODSTAWOWYCH

Wnioskowanie na podstawie wyników analizy statystycznej jakichkolwiek danych eksperymentalnych może prowadzić na manowce, jeżeli się nie podda krytycznej analizie materiałów wyjściowych. Dotyczy to szczególnie wyników próbnych pompowań w skałach szczelinowych. Wyniki te mogą być obciążone wieloma błędami, pochodzącymi z różnych źródeł. Uświadomienie sobie jakiego rodzaju materiał podstawowy został poddany analizie pozwoli zachować właściwy dystans w stosunku do jej wyników.

Materiałem wyjściowym do scharakteryzowania własności filtracyjnych poszczególnych poziomów wodonośnych rejonu Olkusza oraz do naświetlenia pionowej zmienności przepuszczalności węglanowych skał triasowych były wyniki około 300 próbnych pompowań, wykonanych w przeważającej mierze w skałach triasowych głównie przez Przedsiębiorstwo Geologiczne w Krakowie (tab. 1).

Tabela 1

Liczbowe zestawienie próbnych pompowań w poszczególnych piętrach wodonośnych (do 1972 r.)

Piętro wodonośne	Liczba próbnych pompowań	Procent ogólnej liczby próbnych pompowań
Czwartorzędowe	22	7,6
Jurajskie	23	8,0
Triasowe	236	81,7
Paleozoiczny kompleks wodonośny	2	0,7
Permska seria izolująca	6	2,0
Ogółem	289	100,0

Próbne pompowania były prowadzone na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat. Początkowo wykonywano je za pomocą podnośników powietrznych typu Mammuth, jednak z powodu pulsacyjnego charakteru pracy tego typu pomp wyniki pomiaru wydajności i depresji mogą być znacznie zniekształcone, co oczywiście wpływa na ostateczny wynik obliczenia współczynnika filtracji. Z upływem czasu zmieniła się technika pompowań. Wprowadzono wirowe pompy głębinowe (typ GP), pracujące w sposób ciągły.

Część badań wykonano w otworach z samowypływem, bez stosowania jakichkolwiek pomp.

Źródłem błędów przy obliczaniu współczynników filtracji mogła być technika wiercenia i sposób przygotowania otworów do pompowania. Pompowania w otworach złożowych wierconych na płuczkę, przy zbyt krótkim czasie pompowania oczyszczającego, mogły zniekształcić dane wyjściowe (wydajność, depresja), a tym samym i wyniki obliczeń niektórych współczynników filtracji.

Celem prac hydrogeologicznych była przede wszystkim ocena warunków wodnych złóż rud cynkowo-olowiowych w odpowiednich kategoriach poznania. Z tego powodu próbne pompowania prowadzono w otworach złożowych o średnicach 0,15—0,25 m, a nie w specjalnie do tego celu wykonanych otworach hydrobadawczych. Konsekwencją tego była ograniczona możliwość stosowania agregatów pompowych o dużych wydajnościach, w związku z czym oraz z powodu dużej przepuszczalności szczelinowej skał triasowych pompowania przeprowadzono przy stosunkowo małych depresjach (tab. 2)

Tabela 2

Zestawienie wartości depresji stosowanych w toku próbnych pompowań

Przedział depresji w m	Liczba próbnych pompowań	Przedział depresji w m	Liczba próbnych pompowań
0—0,50	54	5,51—6,00	5
0,51—1,00	30	6,01—6,50	10
1,01—1,50	34	6,51—7,00	8
1,51—2,00	27	7,01—7,50	1
2,01—2,50	27	7,51—8,00	2
2,51—3,00	18	8,01—8,50	3
3,01—3,50	24	8,51—9,00	3
3,51—4,00	10	9,01—9,50	2
4,01—4,50	14	9,51—10,00	1
4,51—5,00	6	10,00—15,00	20
5,01—5,50	11	> 15,00	21

Prawie 60% ogólnej liczby próbnych pompowań wykonywano przy depresjach nie przekraczających 3 m (tab. 2). Z wielkością depresji wiążą się dwie kwestie dość istotne z punktu widzenia oceny wyników analizy. Kwestia pierwsza wiąże się z objętością „próbki”, tj. z wielkością przestrzeni opróbowanej na przepuszczalność za pomocą pompowania. Wielkość tej przestrzeni jest zależna od zasięgu depresji i długości czynnej części otworu. Przy niewielkich depresjach zasięg ich wpływu jest również nieduży i względnie mała jest objętość „próbki” badanych skał. Druga kwestia dotyczy charakteru ruchu wody w skałach otaczających otwór w toku próbnego pompowania. Ogólnie wiadomo, że charakter ruchu zależy od prędkości przepływu wody, ta zaś jest funkcją przepuszczalności skał i gradientu hydraulicznego. Na ogół uważa się, że skały szelinowo-krasowe, w jakich prowadzono pompowania, reprezentują środowisko, w którym bardzo łatwo może dochodzić do przejścia ruchu laminarnego w mieszany i turbulentny. Jakkolwiek ogólne formuły wyrażające tzw. nieliniowe prawa filtracji są znane od dawna (wzory: Pronego — Forchheimera, Chezy-Krasnopolskiego, Smrekera — Missbacha), to jednak brak jest wiarygodnych i łatwych do zastosowania kryteriów oceny charakteru ruchu. Wymagają one w każdym razie bądź to dyspo-

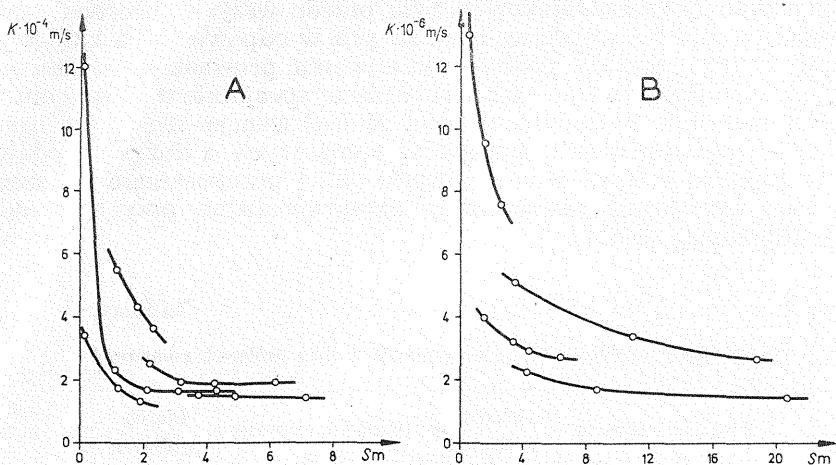


Fig. 1. Wykresy zależności współczynników filtracji (K) od depresji (S) wytwarzanej w trakcie próbnego pompowania dla skał: A — dobrze przepuszczalnych, B — gorzej przepuszczalnych

Diagram showing the relationship between water permeability coefficient (K) and the depression (S) formed in the course of pumping tests for: A — well-permeable rocks, B — less permeable rocks

nowania danymi z co najmniej trzystopniowego pompowania (T. Macioszyk, 1964), bądź też pomiaru gęstości oraz szerokości i szorstkości szczelin tnących badany maszyn skalny (K. P. Seiler, 1972).

Z nowszych opracowań wynika (K. P. Seiler, 1972; J. A. Norwatow, A. I. Korotkow, 1973), że chociaż w ośrodku szczelinowo-krasowym lub szczelinowym rzeczywiste prędkości przepływu wody mogą być dość duże (do kilku kilometrów na dobę), to jednak w warunkach naturalnych mamy do czynienia z ruchem laminarnym. Jednak wiele analiz wyników próbnego pompowania w takich ośrodkach dowodzi, że przy sztucznie wytwarzanych większych gradientach następuje przejście w ruch mieszany lub turbulentny. Pośrednio wskazują na to także dane analizowane w niniejszym opracowaniu.

Na figurze 1 przedstawiono wykresy zależności współczynników filtracji (K) od depresji (S) w otworach badawczych, w których prowadzono próbnego pompowania przy co najmniej trzech stopniach depresji. W przedziale dużych przepuszczalności (10^{-4} — 10^{-3} m/s) obserwuje się dość szybki spadek wartości współczynnika filtracji ze wzrostem depresji (fig. 1A), natomiast po przekroczeniu depresji 2—3 m wartości te nie podlegają już większym zmianom. Przymyślnie należy to wiązać z przejściem ruchu laminarnego przez mieszany do turbulentnego i z ostatecznym ustaleniem się reżimu przepływu burzliwego. Przy mniejszych przepuszczalnościach (fig. 1B) stabilizacja wartości współczynnika filtracji następuje dopiero przy depresji około 7—12 m. Mogłoby to wskazywać, że osiągnięcie ruchu burzliwego przy mniejszych przepuszczalnościach, a zatem większych oporach przepływu, wymaga większej depresji, co jest zgodne z teorią.

Przeliczenia dla potrzeb niniejszego opracowania zostały wykonane przy założeniu, że wszystkie próbne pompowania odbywały się w warunkach ruchu laminarnego. Założenie to jest zapewne całkiem słuszne dla próbnych pompowań prowadzonych przy małych depresjach, które stanowią większość analizowanych przypadków (tab. 1). Wykazana na figurze 1 zależność współczynników filtracji (K) od depresji jest zapewne jedną z przyczyn rozproszenia tych wartości.

W świetle powyższych uwag pewna część współczynników winna być traktowana nie jako współczynniki filtracji *sensu stricto*, lecz jako współczynniki proporcjonalności we wzorach Chezy — Krasnopolskiego lub Smrekera — Missbacha (współczynniki fluacji lub współczynniki ruchu mieszanego).

Analizowana w niniejszej pracy populacja współczynników filtracji jest obciążona skutkami nierównomiernego rozmieszczenia otworów badawczych. Zagęszczenie informacji na stosunkowo niewielkim obszarze występowania skał szczelinowo-krasowych może zniekształcić obraz rzeczywistego rozkładu wartości badanego zbioru współczynników filtracji. Informacje o ich wielkości mogą bowiem dotyczyć strefy uprzywilejowanej, tzn. o wyraźnie innej przepuszczalności w stosunku do całego badanego obszaru. W takim przypadku, dla celów analizy statystycznej należałoby losowo wybrać tylko część ich wartości. Pomimo tych zastrzeżeń autorzy uznali za stosowne uwzględnić, przynajmniej w niniejszej pracy, wszystkie wyniki próbnych pompowań, co należy wziąć pod uwagę przy ostatecznym wnioskowaniu.

Współczynniki filtracji, zestawione w kilku dokumentacjach (Archiwum PG, Kraków), były obliczane za pomocą różnych wzorów i przy zastosowaniu różnych schematów obliczeniowych. Aby uniknąć rozbieżności stąd wynikających, autorzy ponownie przeliczyli wyniki tych pompowań, stosując jednolite schematy obliczeniowe, dostosowane do stanu technicznego otworu w trakcie próbnego pompowania, przy pomocy zmodyfikowanego wzoru obliczeniowego (L. W. Borewski, 1971; L. Jarodzki, 1972). Fakt ten należy podkreślić, ponieważ przeliczenie wyników próbnych pompowań według jednolitych zasad eliminuje jedno z ważnych źródeł ewentualnego rozproszenia wartości współczynników filtracji, niezgodnych z ich „rzeczywistym” rozkładem. Pod tym względem materiał wyjściowy analizowany w niniejszej pracy w istotny sposób różni się (na korzyść) od danych pochodzących z innych obszarów i opracowanych przez innych autorów. Na przykład J. Krajewska-Pinińska (1963) zwraca uwagę, że dokładność obliczeń wartości tworzących analizowany przez nią zbiór współczynników filtracji jest wątpliwa, m. in. z powodu stosowania nieporównywalnych metod obliczeniowych.

Dotychczas opublikowane przez J. Krajewską-Pinińską (1963) oraz S. Krajewskiego statystyczne analizy współczynników filtracji skał szczelinowych opierały się wyłącznie na danych pochodzących z ujęć studziennych. Ujęcia te były lokalizowane w miejscach, odznaczających się dobrymi warunkami hydrogeologicznymi, a tym samym także dobrymi przepuszczalnościami, a wyniki pompowań w otworach negatywnych nie były na ogół dokumentowane. Materiał analizowany w niniejszym opracowaniu, pochodzący z otworów złożowych, jest wolny od takich obciążeń i z tego powodu jest bardziej reprezentatywny. Z doświadczeń wiadomo

jednak, że materiał ten może nie obejmować ani otworów o wydajnościach bardzo wielkich, w których pompy o małej wydajności wywoływały tylko znikomą depresję, ani otworów o wydajnościach bardzo małych, w których dopływ wody nie nadążał za wydajnością pomp.

ROZKŁAD CZĘSTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW FILTRACJI W WYDZIELONYCH OGNIWACH TRIASOWEGO PIĘTRA WODONOŚNEGO

Wielu badaczy dzieli wyższą, węglanową część śląsko-krakowskiego triasowego piętra wodonośnego na poziom wodonośny wapienia muszłowego — tzw. główny triasowy poziom wodonośny w ujęciu Z. Wilka — i poziom wodonośny retu. Podstawą tego podziału jest obecność w wapieniach warstw gogolińskich izolujących wkładki marglistych. Wyniki wstępnych badań dotyczących tego zagadnienia (Z. Wilk, J. Motyka, J. Niewdana, 1971) sugerują, że w rejonie olkuskim zredukowane przez

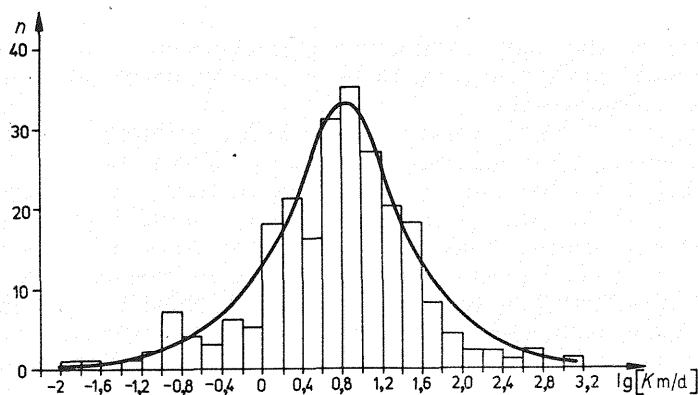


Fig. 2. Rozkład częstości współczynników filtracji (K) w triasowym piętrze wodonośnym

Frequency distribution of permeability coefficients (K) in Triassic water-bearing deposits

n — liczebność empiryczna

n — empirical number

dolomityzację wapienie warstw gogolińskich wykazują lokalnie cechy skał przepuszczalnych. Jest to spowodowane bardzo silnym ich spękaniem i skrasowieniem.

Wobec małej miąższości lub zupełnego braku skał wodonośnych w osadach niższego piaskowca pstrego, przy rozwiązywaniu niektórych zagadnień praktycznych, np. za pomocą modelowania, węglanowe osady triasu traktuje się łącznie jako wspólne triasowe piętro wodonośne. Stratygraficznie obejmuje ono wyższą część retu oraz wchodzące w skład wapienia muszłowego warstwy gogolińskie i olkuskie (S. Śliwiński, 1961)

lub też częściowo albo całkowicie je zastępujące dolomity kruszczone i diploporowe. Komplex tych skał ma miąższość około 100—120 m. Są one silnie szczelinowate i skrasowiałe, dzięki czemu odznaczają się bardzo dobrą przepuszczalnością, a z powodu korzystnych warunków zasilania także dużymi zasobami wód. Bliższa charakterystyka warunków hydrogeologicznych rejonu olkuskiego jest zamieszczona w opracowaniu Z. Wilka i W. Zimnego (1973).

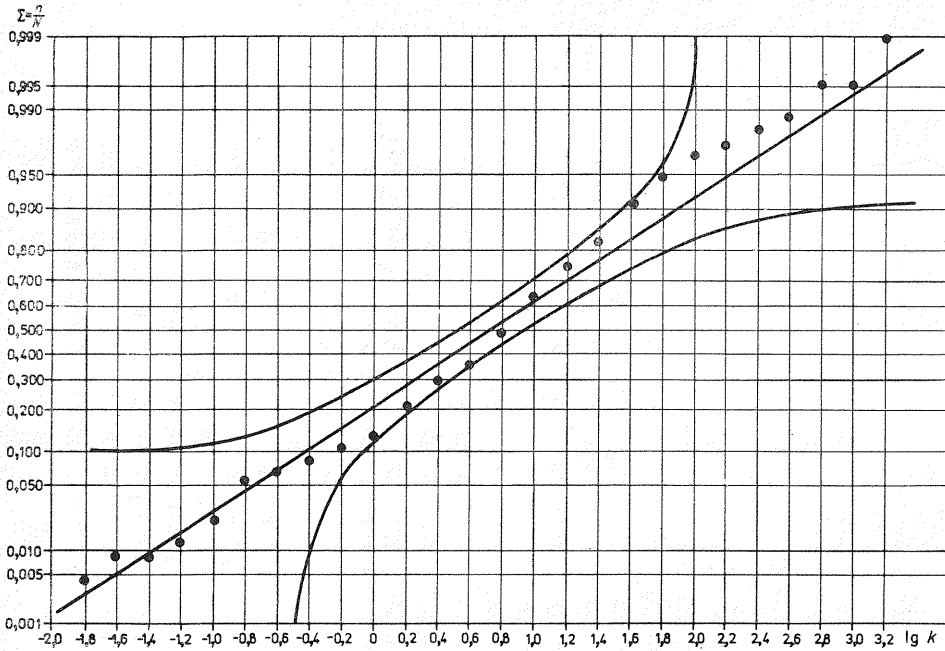


Fig. 3. Test graficzny Smirnowa-Kołmogorowa na normalny charakter rozkładu logarytmów współczynników filtracji (K) węglanowej serii triasowej

The Smirnov-Kolmogorov graphic test for normal character of the distribution of logarithms of permeability coefficients (K) in Triassic carbonate series

Na osi rzędnych skala probabilistyczna, bezwymiarowa; n — liczebność empiryczna, N — liczebność populacji

Undimensional probability scale on the ordinate axis; n — empirical number of K ; N — total number of K in the population

Współczynniki filtracji (albo fluacji lub ruchu mieszanego) triasowego piętra wodonośnego mieszczą się w bardzo szerokich granicach od 0,014 do 1205 m/d ($1,6 \cdot 10^{-7}$ — $1,4 \cdot 10^{-2}$ m/s). Na figurze 2 przedstawiono diagram rozkładu tych współczynników. Zgodnie z zasadami statystyki matematycznej za szerokości przedziałów klasowych przyjęto $1/4$ wartości odchylenia standardowego (s), otrzymując 26 klas. Z dzwonowego kształtu diagramu, którego podstawę stanowią logarytmy wartości współczynników filtracji (K), wynika, że ich rozkład ma charakter lognormalny. Sprawdzone to za pomocą testu graficznego Smirnowa-Kołmogorowa (J. Greń, 1974), uzyskując pozytywny wynik testu przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ (fig. 3). Kształt diagramu sugeruje również, że badana popula-

cja może być sumą dwu lub więcej podzbiorów o różnych parametrach rozkładu lub zgoła o innym jego charakterze. Może się to wiązać z regionalnym, a więc poziomym zróżnicowaniem przepuszczalności lub też z jej zmianami w pionie.

Pewne światło na to zagadnienie rzucają dane zawarte w tab. 3 i na fig. 4, które charakteryzują rozrzut współczynników filtracji w poszczególnych ogniwach litostratygraficznych węglanowych skał triasowych i miarodajne wartości tych współczynników. Przyczyną zakłócenia „gładkości” wykresu lognormalnego rozkładu współczynników filtracji mogą być prawdopodobnie także liczne źródła błędów (zasygnalizowane w poprzednim rozdziale) popełniane przy określaniu ich wartości.

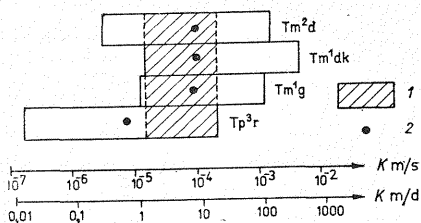


Fig. 4. Przedziały wartości współczynników filtracji (K) w poszczególnych ogniwach triasowego piętra wodonośnego

Intervals of magnitudes of permeability coefficients (K) in the particular members of the Triassic water-bearing horizon

Tp^3r — ret; wapień muszlowy; Tm^1g — warstwy olkuskie i gogolińskie, Tm^1dk — dolomity kruszczone, Tm^2d — dolomity dipoporowe; 1 — wspólny przedział dla wszystkich ogniw; 2 — miarodajne wartości współczynników filtracji w poszczególnych ogniwach

Tp^3r — Roethian; Muschelkalk; Tm^1g — Olkusz and Gogolin Beds, Tm^1dk — Ore-bearing Dolomites, Tm^2d — Dipopora Dolomites; 1 — common interval for all the members; 2 — reliable values (geometric means) of permeability coefficients in the particular members

W tabeli 3 uwzględniono próbne pompowania, przeprowadzone tylko w jednym ogniwie triasu, w związku z czym liczba ich jest mniejsza niż liczba próbnych pompowań wykazana w tab. 1.

Z tabeli 3 i figury 4 wynika, że osady retu są znacznie słabiej przepuszczalne od skał wapienia muszlowego.

Dysponując rozkładem współczynników filtracji można określić ich wartości miarodajne przyjmując, że są nimi wartości najczęstsze (modalne). Dla lognormalnego typu rozkładu przyjęto (A. E. Czapowski, W. W. Percowski, 1972), że miarodajną wartością jest średnia geometryczna, która dla całej badanej populacji wynosi $K_m = 5,63$ m/d, tj. $6,5 \cdot 10^{-5}$ m/s. Można uznać, że przy obecnym stanie rozpoznania wartość ta jest najbardziej godna zalecenia dla wszelkiego rodzaju obliczeń i modelowania procesów hydrodynamicznych, zachodzących w całym masywie węglanowych skał triasowych rejonu olkuskiego.

Miarą zmienności współczynnika filtracji jest odchylenie standardowe (s), które wynosi 5,87 m/d.

Wskaźnikiem względnej miary zmienności jest tzw. współczynnik zmienności. Jest to wyrażony w procentach iloraz odchylenia standardowego i wartości średniej. Ze względu na lognormalny charakter badanego rozkładu iloraz ten utworzono z logarytmów współczynników filtracji i logarytmu średniej geometrycznej. Współczynnik zmienności współczynników filtracji całej węglanowej serii triasu wynosi 124%. Przewyższa on znacznie przeciętne wartości wskaźnika zmienności przepuszczalności spękanych utworów górnej kredy synkliny brzeżnej (J. Krajewska-Pi-

Tabela 3

Wskaźniki charakteryzujące przepuszczalność poszczególnych ogniw triasu

Stratygrafia	Liczba obserwacji (N)	Współczynnik filtracji w m/d			Odchylenie standardowe (s) w m/d	Współczynnik zmienności w %
		najmniejszy (K_{min})	największy (K_{max})	najczęstszy modalny (K_m)		
Dolomity diploporowe	10	0,25 ($2,9 \cdot 10^{-6}$)	128 ($1,5 \cdot 10^{-3}$)	8,26 ($9,6 \cdot 10^{-5}$)	7,75	97
Dolomity kruszczońskie	14	1,30 ($1,5 \cdot 10^{-5}$)	405 ($4,7 \cdot 10^{-3}$)	8,10 ($9,4 \cdot 10^{-5}$)	4,34	70
Warstwy olkuskie i gogolińskie	11	1,03 ($1,2 \cdot 10^{-5}$)	103 ($1,2 \cdot 10^{-3}$)	7,52 ($8,7 \cdot 10^{-5}$)	4,64	76
Ret	20	0,014 ($1,6 \cdot 10^{-7}$)	18 ($2,1 \cdot 10^{-3}$)	0,62 ($7,2 \cdot 10^{-6}$)	7,73	42

W nawiasach podano wartości współczynników filtracji w m/s.

nińska, 1963). Odchylenia standardowe i współczynniki zmienności dla poszczególnych ogniw stratygraficznych triasu zamieszczono w tab. 3. Dla porównania skonstruowano krzywą rozkładu współczynników filtracji drugiego szczelinowo-krasowego piętra wodonośnego występującego na badanym terenie, a mianowicie piętra jurajskiego. Przyjęto tu mniejsze szerokości przedziałów klasowych (co jeden rząd wielkości), a tym samym mniejszą liczbę klas (fig. 5). Z figury 5 wynika, że i w tym przypadku rozkład ma charakter lognormalny.

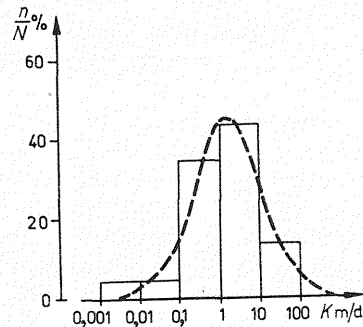


Fig. 5. Rozkład częstości współczynników filtracji (K) w jurajskim piętrze wodonośnym

Frequency distribution of permeability coefficients (K) in the Jurassic water-bearing horizon
 n — liczebność empiryczna, N — liczebność populacji
 n — empirical number of K, N — total number K in the population

Skrajne i miarodajne (średnie geometryczne) wartości współczynników filtracji wszystkich pięter wodonośnych występujących na badanym obszarze, określone na podstawie danych z próbnych pompowań (tab. 1), zamieszczono w tabeli 4. Interesująco wypada porównanie rozkładów współczynników filtracji szczelinowatych, węglanowych skał triasowych i jurajskich z rejonu olkuskiego z rozkładami opracowanymi przez

Tabela 4

Skrajne i modalne wartości współczynników filtracji poszczególnych pięter wodonośnych rejonu olkuskiego

Piętro wodonośne	Współczynnik filtracji (K) w m/d		
	najmniejszy	największy	najczęstszy
Czwartorzędowe	0,86	4650	21,4
Jurajskie	0,0086	69,1	1,36
Triasowe	0,014	1205	5,63
Dewońskie*	0,66	6,05	—

* W utworach dewonu wykonano tylko dwa próbne pompowania.

J. Krajewską-Pinińską (1963) dla utworów górnokredowych południowej części synkliny brzeźnej, reprezentowanych przez spękane opoki, margle, skały wapienno-krzemionkowe, kredę piszącą i wapienie. Z badań tej autorki wynika, że frekwencja współczynnika filtracji (K) dla utworów kredowych przedstawia się jako jednoskrzydłowa krzywa typu logarytmicznego: $y = a - b \log x$. Podobny charakter ma rozkład współczynników filtracji dla margli, natomiast wapienie i utwory wapienno-krzemionkowe cechują się stałym rozkładem parametru filtracji. Z danych przytoczonych w cytowanej pracy można wnioskować, że wspomniana krzywa mogłaby mieć inny kształt i mieć maksimum, gdyby za szerokość przedziału najniższej klasy przyjęto wartość równą przedziałom klas pozostałych i gdyby tego skrajnego przedziału nie odrzucono z rozważań. Niezależnie od tego z powyższych danych wynika, że rozkłady współczynników filtracji skał szczelinowych mogą mieć różny charakter, a ich badania mogą prowadzić do bardzo interesujących wniosków hydrogeologicznych.

PIONOWA ZMIENNOŚĆ WSPÓLCZYNNIKA FILTRACJI WĘGLANOWYCH SKAŁ TRIASOWYCH

Zmniejszanie się porowatości i przepuszczalności skał wraz z głębokością ich występowania jest powszechnie znane. Prawidłowość tę dostrzega się tym wyraźniej im bardziej jednorodna litologicznie jest badana seria i im większy jest przedział głębokości objęty obserwacjami. Na obszarze Górnego Śląska zmniejszanie się wraz z głębokością porowatości piaskowców scharakteryzował Z. Wilk (1964), spadek przepuszczalności serii karbońskiej opisali zaś A. S. Kleczkowski, S. Witczak (1967), A. S. Kleczkowski, Vu-Ngoc-Ky, S. Zoń (1968) oraz T. Bromek, T. Piłat (1970). A. Rózkowski uważa, że na obszarze śląsko-krakowskim w osadach wapienia muszlowego wyraźnie zaznacza się strefowa zmienność współczynnika filtracji. N. A. Jarcew (1971) ujął zjawisko zmniejszania się przepuszczalności skał szczelinowatych wraz z głębokością w Zagłębiu Krzywego Rogu w formę empirycznej zależności matematycznej.

W rejonie olkuskim na przepuszczalność węglanowych skał triasowych wpływają zarówno czynniki pierwotne, jak i wtórne, które czasem

działają w przeciwnych kierunkach. Czynnikiem pierwotnym jest przede wszystkim sedymentacja określonego typu osadów. Szczególne znaczenie ma tutaj stopień zailenia skał, który na rozpatrywanym obszarze wzrasta w dolnej części profilu badanej serii. Czynnikiem o złożonym charakterze genetycznym jest proces diagenety, który powoduje kompaktację skał, a zatem prowadzi do spadku ich przepuszczalności. Do czynników wtórnych należy dolomityzacja wapieni, spękania tektoniczne, procesy krasowe i sedymentacja skał nadległych. Z dolomityzacją wapieni łączy się wzrost porowatości, a tym samym przepuszczalności. Procesy tektoniczne prowadzą do powstawania szczelin, a więc również do wzrostu przepuszczalności skał. Tworzenie się form krasowych działa w dwu kierunkach. Z jednej strony ich wynikiem jest powstawanie bardzo dobrze przepuszczalnych systemów pustek, z drugiej zaś wypełnianie form krasowych osadami rezydualnymi lub allochtonicznymi powoduje spadek przepuszczalności tych systemów. Zasadniczo jednak procesy krasowe działają w kierunku wydatnego wzrostu przepuszczalności skał. W przypadku, gdy na skałach wodonośnych osadzają się utwory ilaste (jak to miało miejsce w rejonie olkuskim), może następować wtórne wypełnienie pustek w stropowej części profilu. W związku z tym przepuszczalność tej strefy ulega zmniejszeniu.

ZRÓŻNICOWANIE WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW FILTRACJI W PROFILU GEOLOGICZNYM

Z danych zamieszczonych w tab. 3 wynika, że dolna część profilu węglanowych skał triasowych, tzn. ret, jest znacznie słabiej przepuszczalna niż jego górna część. Wyjaśnienie zagadnienia przepuszczalności w całym profilu triasu wymaga jednak bardziej szczegółowej analizy wszystkich próbnych pompowań. Do 1972 r. w węglanowych skałach triasowych rejonu olkuskiego wykonano ogółem 326 próbnych pompowań w 184 otworach. W 44 otworach hydrobadawczych wykonano próbne pompowania na dwóch różnych głębokościach, w 4 otworach zaś na trzech różnych głębokościach.

Analiza wyników próbnych pompowań, wykonanych na co najmniej dwóch różnych głębokościach, wykazała, że w 35 przypadkach przepuszczalność górnych ogniw triasowego piętra wodonośnego była wyższa niż dolnych (fig. 6), w 9 przypadkach niższa, zaś w 4 przypadkach prawie równa. Dane powyższe zdają się stwarzać podstawę do wyrażenia poglądu, że tendencja do zmniejszania się wraz z głębokością przepuszczalności węglanowej serii triasowej, obejmującej odcinek profilu od środkowego wapienia muszlowego do retu, jest pewnego rodzaju prawidłowością. Od prawidłowości tej mogą jednak być odstępstwa.

W celu zbadania tendencji i zakresu pionowych zmian przepuszczalności w badanym profilu skał w różnych miejscach rejonu olkuskiego, zostały uwzględnione wyniki 198 próbnych pompowań. Pod uwagę brano tylko te otwory hydrobadawcze, w których w nadkładzie węglanowych skał triasowych występowała izolująca seria kajprowa. Pozwoliło to uniknąć błędu, który powstałby wskutek nieuwzględnienia w analizie ero-

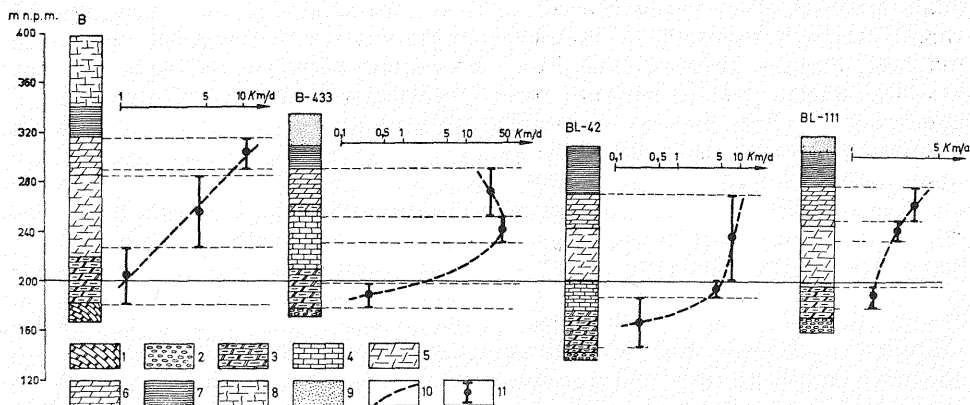


Fig. 6. Zmienność współczynników filtracji (K) triasowego piętra wodonośnej w profilach wybranych otworów hydrobadawczych

Changes in permeability coefficients (K) of Triassic water-bearing horizon in columnar sections of selected hydrogeological boreholes

1 — węglanowe skały paleozoiczne; 2 — zlepienie permu; 3 — dolomity i margle retu; 4 — wapień środkowego triasu; 5 — dolomity kruszczońskie; 6 — dolomity diploporowe; 7 — iły kajpru; 8 — wapień jurajskie; 9 — osady plejstoceńskie; 10 — krzywe zmian współczynników filtracji; 11 — czynna część otworu hydrobadawczego z zaznaczonym jej środkiem

1 — Palaeozoic carbonate rocks; 2 — Permian conglomerates; 3 — Roethian dolomites and marls; 4 — Middle Triassic limestones; 5 — Ore-bearing Dolomites; 6 — Diplopora Dolomites; 7 — Keuper clays; 8 — Jurassic limestones; 9 — Pleistocene deposits; 10 — curves showing changes in permeability coefficients; 11 — active part of hydrogeological boreholes with its marked centre

zyjnie usuniętych górnych ogniw wodonośnej serii triasowej, oraz wyeliminować różnice wynikające z głębokości występowania tej serii w poszczególnych blokach tektonicznych. Analizę skomplikowała niejednorodność danych, polegająca na tym, że próbné pompowania wykonano na odcinkach otworów hydrobadawczych o różnej długości — od kilkunastu do ponad studwudziesiętu metrów. W związku z tym badany odcinek profilu w otworze hydrobadawczym mógł równocześnie obejmować skały o lepszej i gorszej przepuszczalności.

Dla oszacowania istotności zmian przepuszczalności w profilu triasowej serii węglanowej, sporządzono punktowy diagram zależności współczynników filtracji od odległości (h) środka badanego odcinka od spągu nieprzepuszczalnych osadów kajpru (fig. 7). Na podstawie wykresu można wnosić, że przy bardzo dużym rozproszeniu punktów systematyczna zmiana współczynnika filtracji ze wzrostem odległości od stropu kajpru zaznacza się bardzo słabo. Wynika to ze zróżnicowania wartości współczynników filtracji oraz ich wartości modalnych w obrębie poszczególnych ogniw litostratygraficznych wapienia muszlowego oraz retu (fig. 4). Potwierdzeniem tego jest obliczony, dla przyjętej liniowej zależności $\lg K = f(h)$, współczynnik korelacji (r), który wynosi 0,31. Odchylenie standardowe (s) dla tej zależności wynosi 5,25 m/d.

Niejednorodność danych podstawowych z pewnością zacięra rzeczywisty obraz zmian przepuszczalności wraz z głębokością. Aby wyeliminować lub ograniczyć wpływ tej niejednorodności autorzy podzielili badany profil na dwudziestometrowe przedziały i dla każdego z nich obliczyli

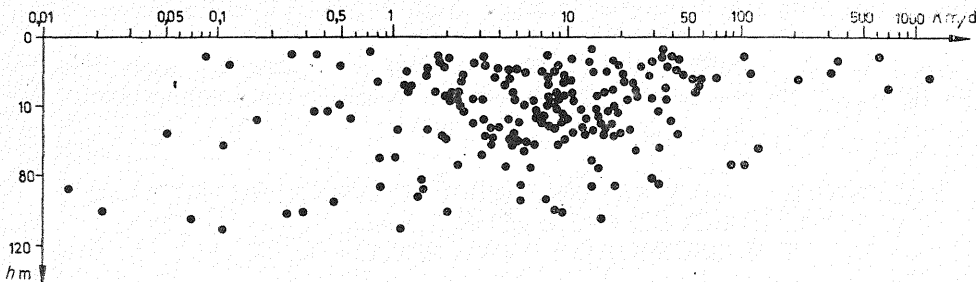


Fig. 7. Zależność współczynników filtracji (K) od głębokości (h) liczonej od spągu nieprzepuszczalnych osadów kajpru

Relationship between permeability coefficients (K) and depth (h) measured from the bottom of impermeable Keuper deposits

modalne wartości współczynników filtracji. Wyniki obliczeń przedstawiono na fig. 8. Obraz zmienności miarodajnego współczynnika filtracji (K_m) wraz z głębokością (h) liczoną od stropu kajpru potwierdza wcześniej opisane spostrzeżenia (tab. 3, fig. 5). Na podstawie powyższego wykresu (fig. 8) w profilu węglanowych skał triasowych można wydzielić trzy strefy: górną ($K_m > 8$ m/d), środkową (K_m od 4 do 8 m/d) i dolną (K_m od 1,5 do 4 m/d). Podział ten wynika zapewne ze zróżnicowanego udziału dobrze przepuszczalnych dolomitów kruszonośnych w poszczególnych przedziałach profilu węglanowych skał triasowych (S. Śliwiński, 1969). W takim ujęciu strefa górna odpowiadałaby dolomitom dipoporowym i kruszonośnym, strefa środkowa, o charakterze przejściowym, dolnemu wapieniowi muszlowemu z malejącym ku dołowi udziałem dolomitów kruszonośnych, strefa dolna zaś warstwom gogolińskim i retowi. Różnice wartości miarodajnych współczynników filtracji nie są jednak

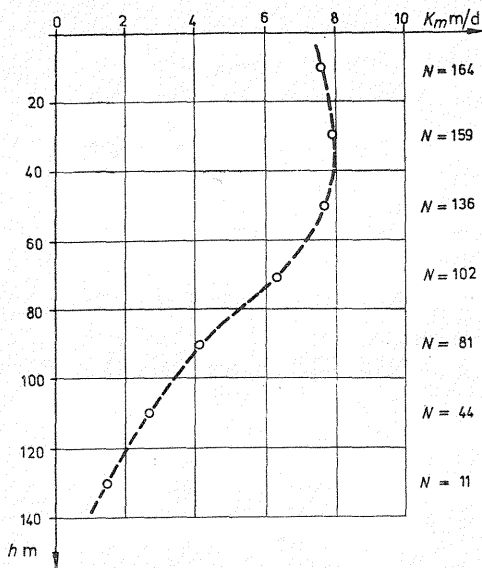


Fig. 8. Zmienność miarodajnej wartości współczynnika filtracji (K_m) wraz z głębokością (h) liczoną od spągu kajpru

Changes in reliable value (geometric mean) of permeability coefficient (K_m) with depth (h) measured from the bottom of the Keuper

N — liczba obserwacji w danym przedziale głębokości

N — number of observations in a given depth interval

duże i mieszczą się w obrębie jednego rzędu wielkości. W związku z tym dla potrzeb modelowania płaskiego procesu filtracji za pomocą stosunkowo prostych urządzeń można było przyjąć, że węglanowe skały triasowe są w profilu pionowym jednorodne ze względu na przepuszczalność.

ZRÓŻNICOWANIE WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW FILTRACJI W ZALEŻNOŚCI OD GŁĘBOKOŚCI BADANEGO ODCINKA W STOSUNKU DO POWIERZCHNI TERENU

Dla uzupełnienia obrazu pionowego zróżnicowania współczynników filtracji węglanowych skał triasowych autorzy przeanalizowali wyniki próbnych pompowań pod kątem ich zmienności wraz z głębokością (H) występowania badanych skał w stosunku do powierzchni terenu.

Wykonano próbną pompowania w węglanowych skałach triasowych, występujących na głębokości od kilkunastu do około dwustuczterdziestu metrów.

W celu zbadania istotności zmian współczynnika filtracji wraz z głębokością zalegania badanych skał (fig. 9), obliczono współczynnik korelacji dla prostoliniowej zależności $\lg K = f(H)$ oraz odchylenie standardowe.

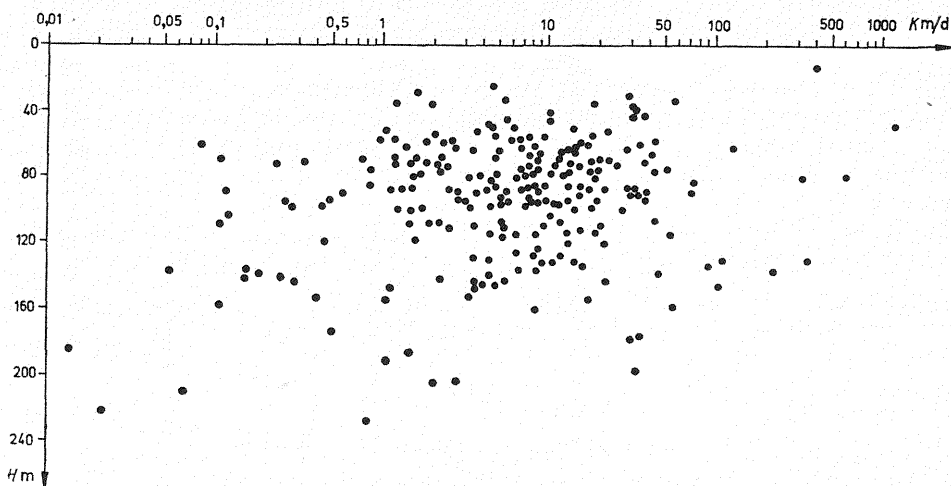


Fig. 9. Zależność współczynników filtracji (K) od głębokości (H) liczonej od powierzchni terenu

Relationship between permeability coefficients (K) and depth (H) measured from the surface of the ground

dowe. Otrzymano wyniki: $r = 0,26$ i $s = 5,50$ m/d, które wskazują, że w rejonie olkuskim wartość współczynnika filtracji węglanowych skał triasowych nie zależy w sposób istotny od głębokości ich występowania. Porównując te dane z odpowiednimi wartościami przytoczonymi w poprzednim rozdziale można wnioskować, że zmienność współczynnika fil-

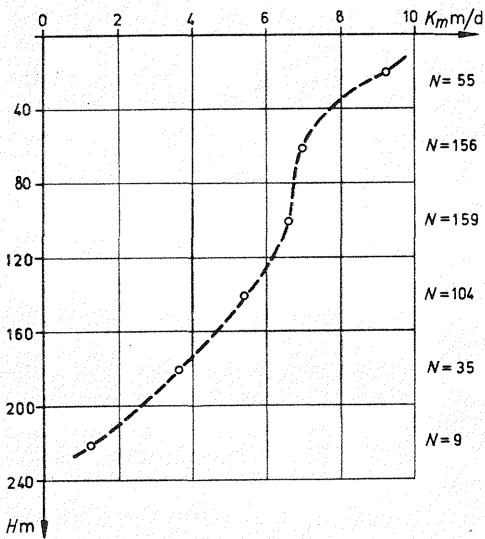


Fig. 10. Zmienność miarodajnej wartości współczynnika filtracji (K_m) wraz z głębokością (H) liczoną od powierzchni terenu

Changes in reliable value (geometric mean) of permeability coefficient (K_m) with depth (H) measured from the surface of the ground

N — liczba obserwacji w danym przedziale głębokości

N — number of observations in a given depth interval

tracji jest wyraźniejsza, jeżeli za poziom odniesienia przyjmuje się nie powierzchnię terenu lecz spąg kajpru.

Obliczenie modalnych wartości współczynników filtracji w przedziałach głębokości co 40 metrów uwidocznilo ogólną tendencję zmian przepuszczalności wraz z głębokością występowania badanych osadów (fig. 10). Z wykresu wynika, że tendencja spadku współczynnika filtracji wraz z głębokością zalegania zaznacza się dość wyraźnie. Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że próbne pompowania na głębokości 160—200 m wykonywano zwykle w dolnych ogniwach triasowego piętra wodonośnego, głównie w recie, który charakteryzuje się mniejszą przepuszczalnością ze względu na jego wykształcenie litofacjalne. Aby wyeliminować wpływ

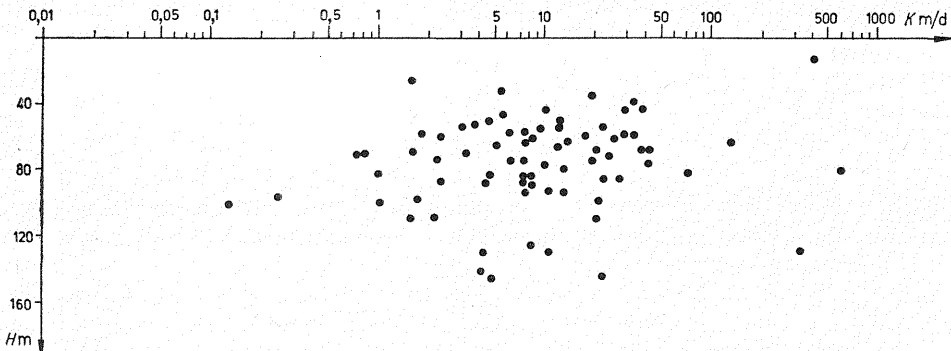


Fig. 11. Zależność współczynników filtracji (K) dolomitów diploporowych i kruszczońskich od głębokości (H) liczonej od powierzchni terenu

Relationship between permeability coefficients (K) of Diplopore Dolomites and Ore-bearing Dolomites and depth (H) measured from the surface of the ground

tego czynnika na wielkość współczynnika filtracji zależnie od głębokości, przeanalizowano ten związek, ograniczając się wyłącznie do dolomitów. Wyniki przedstawione na diagramie punktowym (fig. 11) potwierdzają brak zależności między współczynnikami filtracji a głębokością. Wyraża to także bardzo mały współczynnik korelacji (r) równy $-0,16$ i duże odchylenie standardowe (s) równe $4,37$ m/d.

WNIOSKI

Przeliczenie według jednolitych zasad wyników około 250 próbnych pompowań w wodonośnym piętrze triasowym na wychodniach monokliny śląsko-krakowskiej (rejon Olkusza) i ich statystyczne opracowanie prowadzi do wniosku, że rozkład częstości współczynników filtracji ma charakter lognormalny. Miarodajną wartością średnią dla tego zbioru jest średnia geometryczna, która wynosi $5,63$ m/d ($6,5 \cdot 10^{-5}$ m/s). Przy aktualnym stanie rozpoznania hydrogeologicznego badanego rejonu wartość ta jest najbardziej godna zalecenia do stosowania we wszelkiego rodzaju obliczeniach i modelowaniach procesów hydrodynamicznych, zachodzących w całym masywie triasowych skał węglanowych, od retu po dolomity diploporowe.

Zaznacza się pewna krzywoliniowa tendencja zmniejszania się przepuszczalności od stropu do spągu rozpatrywanej serii. Zmiany te mieszczą się jednak w granicach jednego rzędu wielkości, w związku z czym dla celów obliczeń i modelowania można traktować tę serię jako jednorodną w pionie.

Zasadniczy wpływ na pionową zmienność współczynników filtracji węglanowych skał triasowych ma charakter litologiczny skały oraz stopień jej spękania i rozwój form krasowych. Brak zdecydowanej zależności współczynników filtracji osadów wapienia muszlowego od głębokości wskazywałyby, że w rejonie olkuskim na przepuszczalność tych skał wpłynęły wspomniane czynniki epigenetyczne.

Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH
Kraków, Al. Mickiewicza 30
Nadesłano dnia 30 maja 1975 r.

PIŚMIENNICTWO

- BROMEK T., PIŁAT T. (1970) — Wytrzymałość, porowatość i przepuszczalność piaskowców warstw łaziskich w świetle badań laboratoryjnych. Techn. Poszuk., 9, p. 44—46, z. 33. Warszawa.
- GREŃ J. (1975) Statystyka matematyczna. Modele i zadania. PWN. Warszawa.
- JARODZKI L. (1972) — Wytyczne obliczeń współczynnika filtracji na podstawie polowych metod badań hydrogeologicznych. Zasady obliczeń hydrogeologicznych ujęć wód podziemnych. Z. 4, Wyd. Geol. Warszawa.
- KLECZKOWSKI A. S., WITCZAK S. (1967) — Permeability and Porosity of Carboniferous Sandstones as Related to Depth (East, Upper Silesia). Bull. Acad. Pol. Sc. Sér. Sc. géol. géogr., 15, p. 23—31, No 1. Varsovie.

- KLECZKOWSKI A. S., VU-NGOC-KY, ZOŃ S. (1968) — Water — permeability of the Sandstones of the Upper Carboniferous in Upper Silesia. Bull. Acad. Pol. Sc. Sér. Sc. géol. géogr., 16, p. 111—123, No 2. Varsovie.
- KRAJEWSKA-PINIŃSKA J. (1963) — Analiza statystyczna głównych parametrów hydrogeologicznych południowej części synkliny brzeźnej. Prz. geol., 11, p. 35—38, nr 1. Warszawa.
- MACIOSZCZYK T. (1964) — Dopływ do ujęć hydrogeologicznych w warunkach filtracji mieszanej i turbulentnej. Biul. geol. Wydz. Geol. UW, 4, p. 173—187. Warszawa.
- SEILER K. P. (1972) — Ein Versuch zur Bestimmung der Strömungsart in Klüften des saarländischen Mittleren Buntsandsteins. Z. Deutsch. Geol. Ges., 123, p. 45—52. Berlin.
- ŚLIWIŃSKI S. (1961) — Warstwy olkuskie. Rudy i Met. niezēl., 6, p. 526—529, nr 12. Katowice.
- ŚLIWIŃSKI S. (1969) — Rozwój dolomitów kruszczoonych w rejonie krakowsko-śląskim. Pr. geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie, nr 57. Warszawa.
- WILK Z. (1964) — Relation between porosity and depth of sandstone of the Łaziska and Libiąż beds (Upper Carboniferous), Upper Silesia Coal Basin. Bull. Acad. Pol. Sc. Sér. Sc. géol. géogr., 12, p. 113—118, No 2. Varsovie.
- WILK Z., MOTYKA J., NIEWDANA J. (1971) — Charakterystyka i klasyfikacja przejawów wody w wyrobiskach kopalni pracującej w szczelinowo-krasowym poziomie wodonośnym. Zesz. nauk. AGH, nr 292, Geologia z. 14, p. 43—60. Kraków.
- WILK Z., ZIMNY W. (1973) — Problematyka hydrogeologiczna związana z rozwojem górnictwa w rejonie olkuskim. Zesz. nauk. AGH, nr 361, Geologia, z. 17, p. 117—132. Kraków.
- БОРЕВСКИЙ Л. В. (1971) — Учёт несовершенства скважин. В: Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод. Сборник под ред. С. С. Бондаренки и Н. В. Ефремочкина, стр. 124—131, Изд. Недра. Москва.
- НОРВАТОВ Ю. А., КОРОТКОВ А. И. (1973) — Определение фильтрационных параметров кукуерского и таллинского водоносных горизонтов на Ленинградском месторождении горючих сланцев. Сб. науч. статей: Горногеологическое значение карста на Ленинградском месторождении горючих сланцев. Изд. Лен. Горн. Инст., стр. 115—121. Ленинград.
- ЧАПОВСКИЙ А. Е., ПЕРЦОВСКИЙ В. В. (1972) — Экспериментальное исследование неоднородности горных пород в плане. Разведка и охрана недр, 38 стр. 45—49, № 1. Москва.
- ЯРЦЕВ Н. А. (1971) — Методика расчета водозаборов в зоне выветривания трещиноватых горных пород. Гидрогеология и инженерная геология, 62, вып. 2, стр. 51—58. Ленинград.

Яцек МОТЫКА, Збигнев ВИЛЬК

**ВЕРТИКАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ
КАРБОНАТНЫХ ТРИАСОВЫХ ПОРОД В СВЕТЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОБНОЙ ЗАКАЧКИ
(СИЛЕЗСКО-КРАКОВСКАЯ МОНОКЛИНАЛЬ)**

Резюме

Настоящая работа основана на результатах около 240 пробных закачек, выполненных в трещиноватых и карстовых триасовых известняках и доломитах на территории добычи цинково-свинцовых руд, расположенной к северу от Кракова. Результаты исследований были использованы для подсчета коэффициента фильтрации по единым формулам, соответствующим гидравлической модели скважины во время пробной закачки. Принято, что движение воды имеет стабилизированный, ламинарный, плоский характер. При некоторых закачках эти условия не были выполнены. Изучено распределение частоты коэффициента фильтрации и установлено, что оно является логнормальным (фиг. 2 и 3). Средняя геометрическая изучавшейся популяции составляет $K_m = 6,5$ м/с; стандартное отклонение $s = 7,63$ м/с. Изучение вертикальной изменчивости коэффициента фильтрации предвляла дискуссия о значении первичных и вторичных геологических процессов, которые могли явиться причиной этой изменчивости. Характеристика проницаемости по вертикали составлена в двух вариантах. В первом — глубину изучавшегося отрезка разреза триаса относили к подошве глин кейпера, которые залегают только на части изучавшейся территории, а во втором варианте эту глубину относили к поверхности. В результате анализа установлено наличие некоторой криволинейной тенденции уменьшения средних коэффициентов водопроницаемости от кровли к подошве карбонатной серии триаса (фиг. 8, 10). Эти изменения остаются в границах одного ряда величин, в связи с чем для подсчета и аналогового моделирования эти серии по вертикали можно считать однородными.

Jacek MOTYKA, Zbigniew WILK

**VERTICAL DIFFERENTIATION IN THE WATER PERMEABILITY OF
CARBONATE TRIASSIC ROCKS IN THE LIGHT OF A STATISTICAL ANALYSIS
OF THE RESULTS OF PUMPING TESTS (SILESIA-CRACOW MONOCLINE)**

Summary

The present paper is based on the results of about 240 pumping tests made in fissured and carst Triassic limestones and dolomites in the mining area of zinc and lead ores, situated to the north-west of Cracow. The results obtained from pumping tests were used for the purpose of calculating water permeability coefficients by

means of uniform formulae, which corresponded to the hydraulic model of a given borehole during pumping tests. An assumption was made that the flow of the water was steady, laminar, and two-dimensional. These conditions were not fulfilled in some cases. The authors found that the distribution of the logarithms of permeability coefficients was normal (Figs. 2 and 3). The geometric mean (K_m) of the population investigated was 6.5 m/s and the standard error (s) — 7.63 m/s. An investigation of vertical changes in the permeability coefficient is preceded by a discussion on the importance of the primary and secondary geological processes that might have led to these changes. The characteristic of water permeability in the vertical range was made in two ways. In the first case, the depth of a given part of the Triassic sequence was measured from the bottom of Keuper clays which occur only in a part of the area investigated here; in the second case the depth was measured from the surface of the ground. As a result of the analysis described here the authors conclude that the mean permeability coefficients decrease from the top to the bottom of the carbonate Triassic series, this decreasing tendency being represented by a curve on the corresponding diagrams (Figs. 8, 10). However, these changes are within values of the same order and thus, for the purpose of calculations and analogue modelling, the series concerned can be regarded as homogeneous in vertical range.