

Janusz MACHER, Zenobiusz PŁOCHINIEWSKI

Wpływ mineralizacji wody na współczynnik filtracji piasków

WSTĘP

Przedstawiona praca została wykonana w Zakładzie Hydrogeologii Instytutu Geologicznego w 1964 r. i uzupełniona w 1966 r.

Celem pracy jest naświetlenie zagadnienia wpływu stopnia zmineralizowania wody na wielkość współczynnika filtracji. Znajomość tego problemu bywa potrzebna przy rozpatrywaniu zagadnień ruchu wód podziemnych o znaczniejszej mineralizacji, np. wód występujących na dużych głębokościach, w pobliżu wysadów solnych lub w strefie wybrzeży morskich.

Wyniki badań referowano wstępnie na posiedzeniu naukowym Zakładu Hydrogeologii w dniu 16 stycznia 1965 r. (J. Macher, Z. Płochiniewski, 1965).

*

*

*

Pojęcie przepuszczalności gruntów sprecyzowane zostało już w 1856 r. przez francuskiego inżyniera H. Darcy. W oparciu o badania prędkości przepływu wody przez piaski podał on empiryczny wzór na określenie wydajności przepływającego strumienia podziemnego:

$$Q = k F \frac{\Delta H}{l}$$

gdzie: Q — wydajność strumienia,
 k — współczynnik charakteryzujący przepuszczalność utworów,
 F — powierzchnia przekroju środowiska filtrującego,
 ΔH — różnica ciśnień,
 l — długość strumienia.

Późniejsze badania pozwoliły stwierdzić, że współczynnik przepuszczalności (k_p) zależy nie tylko od uziarnienia i litologii utworów, ale również od lepkości i gęstości cieczy.

Podobnie przedstawia się to zagadnienie w odniesieniu do współczynnika filtracji, którego wartość zależy od ich składu granulometrycznego

i porowatości, a także od gęstości i lepkości przechodzącej wody. Zależy on zatem od temperatury i mineralizacji wody, które mają wpływ na lepkość i gęstość.

Zależność współczynnika filtracji od temperatury wody określa wzór:

$$k = \frac{k_{10}}{0,7 + 0,03 t}$$

gdzie: k — współczynnik filtracji przy temperaturze wody $t^{\circ}\text{C}$,
 k_{10} — współczynnik filtracji przy temperaturze wody 10°C ,
 $0,7 + 0,03 t$ — poprawka na temperaturę wg A. Hazena.

Zależność współczynnika filtracji od mineralizacji wyraża pośrednio wzór:

$$k_{10} = k_p \frac{\gamma_{10}}{\mu_{10}}$$

gdzie: k_{10} — j.w.,
 k_p — współczynnik przepuszczalności (dla danego utworu),
 γ_{10} — gęstość wody przy temperaturze 10°C ,
 μ_{10} — lepkość wody przy temperaturze 10°C .

Z powyższego wzoru wynikałoby, że prędkość filtracji jest wprostproporcjonalna do gęstości wody (roztworu) i odwrotnie proporcjonalna do jej lepkości.

Na podstawie teoretycznych rozważań i laboratoryjnych doświadczeń zostało już dawno stwierdzone, że gęstość i lepkość wód i roztworów zwiększa się wraz ze wzrostem ich ogólnej mineralizacji. Zależności te

przedstawiają wykresy (fig. 1 i 2).

Z powyższych stwierdzeń wynika, że prędkość filtracji wód silnie zmineralizowanych powinna być mniejsza od wód mało zmineralizowanych (przy niezmiennych pozostałych warunkach). Jednak zagadnienie to nie zostało dotychczas dokładnie opracowane, w

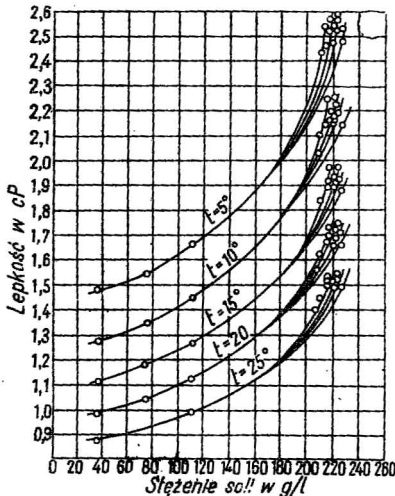


Fig. 1. Zmiana lepkości solanek w zależności od zawartości w nich soli (wg M. E. Altrowskiego)

Change of viscosity of brines depending upon salt contents (according to M. E. Altrowski)

szczególności brak jest jednoznacznego liczbowego rozwiązania. Na przykład w „Sprawoczniku hydrogeologa” (1962 r.) podaje się, że przy wzroście mineralizacji wody od 1 do 70 g/l różnica ciężarów właściwych osiąga 3%. Przy obliczeniach parametrów charakteryzujących właściwości

utworów nie bierze się zazwyczaj pod uwagę wpływu zmian lepkości i ciężaru właściwego wody, a słup wód zmineralizowanych sprowadza się drogą przeliczeń do słupa wody słodkiej.

Z dotychczasowych badań nad wpływem mineralizacji wody na wielkość filtracji należy wymienić prace A. I. Silina — Biekczurina (1949), który podaje, że prędkość filtracji w przypadku słodkich wód przy temperaturze 20°C jest 1,58 razy większa niż dla paleozoicznych solanek z wołżańsko-uralskiego obszaru naftowego.

N. K. Giryński (1955) rozpatrując zagadnienia ruchu solanek w kierunku morza doszedł do wniosku, że ich przepływ jednostkowy jest mniejszy niż wód słodkich. Podaje on przy tym, że zmiana gęstości wody o 2,1% powoduje dwukrotną zmianę prędkości przepływu potoku; przy większych mineralizacjach wody różnica ta maleje.

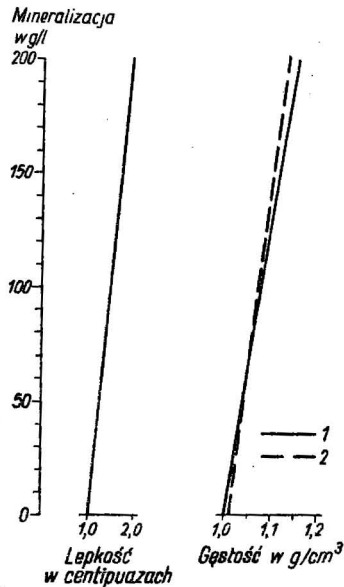


Fig. 2. Zależność lepkości i gęstości wody od jej mineralizacji (przy 20°C)

Dependence of viscosity and density of water upon its mineralization (at 20°C)

1 — według W. D. Babuszkina; 2 — według oznaczeń własnych dla NaCl

1 — according to W. D. Babushkin; 2 — according to own determination of NaCl

R. Skawiński (1965a, b) na podstawie badań laboratoryjnych przeprowadzonych na piaskach pylastych o różnej zawartości frakcji ilastej stwierdza, że na kierunek i wielkość zmian współczynnika filtracji tych piasków wpływało stężenie chlorku sodu w roztworze. Wielkość zmian współczynnika filtracji jest różna dla poszczególnych prób, a największe zmiany zachodzą w pierwszym okresie po zmianie stężenia. Badania te pozwoliły na rozpoznanie zmian współczynnika filtracji przy przepuszczaniu przez piaski roztworu chlorku sodu o różnych stężeniach (0,06, 0,3, 1,5 i 6%), ale nie pozwoliły na podanie pełnej charakterystyki ilościowej tych zmian. Stwierdzono jedynie, że przy stężeniach do 1% współczynnik filtracji malał, a następnie przy stężeniach do rzędu kilku procent wzrastał. Przy kilkugodzinnym przepuszczaniu roztworu chlorku sodu przez te piaski zaobserwowano stopniowy spadek filtracji, aż do całkowitego jej zaniku.

Zagadnienie wpływu mineralizacji wody na wielkość współczynnika filtracji wiąże się bezpośrednio z granicami stosowalności wzoru Darcy. W literaturze istnieje szereg prac, w których omawia się warunki, w jakich wzór ten może być stosowany. Ogólnie stwierdza się, że prawo Darcy traci wartość przy dużych szybkościach potoków (ruch turbulentny) i ruchu roztworów elektrolitów w glinach.

Przy eksploatacji złóż naftowych już dawno zauważono, że wtłaczanie w piaskowce roztworów o małych ilościach elektrolitów sprawia znaczne trudności, a wprowadzenie do tych samych warstw wód zmineralizowanych jest mniej kłopotliwe. Z tego wynika, że przepuszczalność tych samych warstw jest różna dla wód w różnym stopniu zmineralizowanych. N. Johnston i C. M. Beeson (wg W. Engelhardta, 1960) ustalili, że przepuszczalność kalifornijskich piaskowców obliczona wzorem Darcy jest największa dla powietrza, mniejsza dla zmineralizowanej wody, a najmniejsza dla wody słodkiej. Podobne wyniki uzyskali W. Engelhardt i W. Tunn (1954) dla piaskowców liasu i dolnej kredy z terenów Niemiec. Ustalili oni również, że przepuszczalność skał dla powietrza i cieczy organicznych była jednakowa, a znacznie niższa dla wody destylowanej, przy czym dla powietrza i cieczy organicznych prędkość jest stała, a dla wody powoli zmniejsza się. Z powyższego wynika, że długość okresu filtracji odgrywa dużą rolę. Różnica w prędkości przepływu wody destylowanej i wód zmineralizowanych tłumaczona jest w sposób bardzo ogólny współdziałaniem molekuł wody i powierzchni środowiska filtrującego. Według W. Engelhardta niezjonizowane płyny organiczne filtrują w obrębie glin zgodnie z prawem Darcy, a woda destylowana i roztwory elektrolitów napotykają na dodatkowe opory, które są tym większe, im mniej soli zawiera roztwór. W związku z tym niektóre piaskowce ilaste oraz gliny i ły mogą być przeszkodą dla strumieni wód mało zmineralizowanych, a silne roztwory łatwiej przez nie przechodzą.

Interesującym, ale nie posiadającym dotąd jednoznacznego rozwiązania zagadnieniem jest zmiana współczynnika filtracji wraz z głębokością położenia środowiska filtrującego. W. Engelhardt rozpatrując to zagadnienie stwierdza, że w jednorodnych pod względem litologicznym utworach ilastych wraz ze wzrostem głębokości ich zalegania w sposób znaczny i w pewnym stopniu systematyczny zmniejsza się ich przepuszczalność.

G. P. Koriukin na podstawie wykresów zależności gęstości i lepkości wody od temperatury i ciśnienia podał inną prognozę zmian współczynnika filtracji wraz ze wzrostem głębokości w środowisku jednorodnym. Prognoza ta przewiduje, że przy wzroście głębokości od 200 do 1000 m współczynnik k wzrasta prawie 1,6 razy. W oparciu o pracę m.in. A. E. Scheideggera (1957) można wnioskować, że na zmianę współczynnika filtracji, wraz z głębokością zalegania utworów, mają wpływ (poza czynnikami litologicznymi) również zjawiska elektrochemiczne zachodzące między roztworem a porowatym utworem, oraz zawartość gazów, pH, temperatura wody itp.

W. A. Małygin (1962) wykonał w laboratorium szereg doświadczeń, z których wynika, że dla piasków gruboziarnistych ($d = 0,5-2$ mm) przy zmianie temperatury od 5 do 54°C współczynnik filtracji zwiększył się od 36,1 do 98 m/dobę, tj. 2,7 razy. Dla piasków drobnoziarnistych przy wzroście temperatury od 7 do 50°C współczynnik filtracji zwiększył się od 2,6 do 5,17 m/dobę, tj. prawie dwukrotnie.

W literaturze przedmiotu zwraca się uwagę na duży wpływ mieszania się różnych chemicznie wód na przepuszczalność osadów. W wyni-

ku mieszania się wytrącają się sole, co ogranicza filtrację. W rezultacie współczynnik filtracji może się zmniejszyć nawet o blisko 30%. Stopień zmniejszenia się filtracyjnych zdolności utworów zależy od różnicy składu chemicznego tych wód, a następnie ich zmieszania.

Z tego krótkiego przeglądu literatury wynika, że przepuszczalność osadów charakteryzowana współczynnikiem filtracji zależy od wielu czynników, a między innymi: uziarnienia utworów, porowatości, a także od mineralizacji, temperatury, lepkości, gęstości i ciśnienia wody. Czynniki te wzajemnie się warunkują i, być może, ze względu na tak złożony charakter tych zależności nie zdołano jeszcze ustalić ściśle wpływu mineralizacji na współczynnik filtracji.

METODY BADAŃ

Po przeanalizowaniu różnych metod laboratoryjnych określania współczynnika filtracji do badań użyto szklanego przyrządu i zastosowano następującą metodę prac:

Rurka szklana o średnicy ok. 6 cm i długości ok. 42 cm była zasypanywana powietrzno-suchym, dobrze wymieszanym piaskiem do wysokości 16,3 cm, co dało objętość ok. 500 cm³. Napełnianie piaskiem odbywało się przy równoczesnym nasączeniu go od dołu badaną wodą. Taki sposób przygotowania próbki w zasadzie usuwa zapowietrzenie piasku.

Następnie do rurki z piaskiem nalewano z wierzchu wodę o określonej mineralizacji do wysokości ok. 36 cm, licząc od dolnej krawędzi rurki. Woda w rurce opadała przechodząc do zlewki zapełnionej wodą o tej samej mineralizacji. Punkt zerowy, od którego obserwuje się opadanie wody, znajdował się 16,6 cm nad badanym piaskiem i 15 cm nad poziomem wody w zlewce. Odczyty były dwukrotne: po opadnięciu wody w rurce o 6,6 cm (S_1) i o 13,2 cm (S_2), co w sumie daje 400 ml przesączającej się wody badanej.

Dla każdej założonej próbki piasku pomiar filtracji wody o tym samym stężeniu przeprowadzany był dwu- lub trzykrotnie.

Stężenie wody osiągnęte było przez rozpuszczanie odważonych ilości soli i sprawdzane metodami chemicznymi.

W czasie doświadczenia mierzona była temperatura wody.

Dla poszczególnych roztworów (stężeń) określono ich gęstość.

Opisany wyżej sposób określania filtracji oparty został na metodzie tzw. rurki Kamińskiego (J. Macher, 1954). Z uwagi na konieczność przeprowadzenia doświadczeń przy większej objętości gruntu (zmniejszenie błędów) zastosowano rurkę o większych wymiarach niż podawane przez G. N. Kamińskiego.

Dla wyjaśnienia wpływu mineralizacji wody na współczynnik filtracji przez próbki piasków przepuszczano roztwory (woda destylowana lub wodociągowa) soli kuchennej o następujących stężeniach: 10, 25, 50, 75 dla niektórych piasków, 100, 150, 175 dla niektórych piasków i 200 g/l.

Sól kuchenną wybrano z uwagi na łatwość jej uzyskania, dużą rozpuszczalność i powszechność występowania w zmineralizowanych wodach podziemnych. Dla piasków z Białej Góry k. Tomaszowa Mazowiec-

kiego wykonano dodatkowo doświadczenie z roztworem „szlamu” ciecho-cińskiego o podanych wyżej stężeniach.

Ze względu na wpływ szeregu czynników (np. sposób sypania gruntu, stopień zapowietrzenia próby itp.) na uzyskiwany wynik współczynnika filtracji, istniała konieczność przeprowadzenia z określonym rodzajem piasków dużych ilości doświadczeń i uzyskania w ten sposób „masy statystycznej”, koniecznej dla ustalenia wartości średnich i uogólnienia wniosków. Z tego względu przeprowadzane badania ograniczono tylko do trzech rodzajów piasków:

— czwartorzędowe piaski wydmywe z rejonu Radzimina (koło Warszawy),

— oligoceńskie piaski z terenu Tarchomina (Warszawa),

— dolnokredowe piaski z Białej Góry k. Tomaszowa Mazowieckiego.

Krótkim seriom badań poddano ponadto piaski miocene i oligocene z Ogrodu Saskiego i z ulicy Biezuńskiej (Praga) w Warszawie.

Ogółem na 192 próbkach piasków wykonano 1152 (tab. 1) oznaczenia współczynnika filtracji, przy czym w tej liczbie mieszczą się oznaczenia przy opadnięciu wody w rurce o 6,6 cm (k_1) i o 13,2 cm (k_2).

Poszczególne wartości k obliczano w cm/min, stosując wzór Kamieńskiego:

$$k = \frac{l}{T} \cdot \varphi \left(\frac{s}{h_0} \right)$$

$$\varphi \left(\frac{s}{h_0} \right) = - \ln \left(1 - \frac{S}{h_0} \right)$$

gdzie:

l — droga filtracji (wysokość próbki — 16,3 cm),

T — czas obserwacji w minutach,

s — wielkość spadku wody w rurce ($s_1 = 6,6$; $s_2 = 13,2$ cm),

h_0 — początkowa wysokość słupa wody nad próbką gruntu (16,0 cm).

Ponieważ badania filtracji przeprowadzono przy różnych temperaturach, wszystkie obliczenia współczynnika filtracji sprowadzono do wartości, jakie uzyskuje się przy filtracji wody o temperaturze 10°C.

Przeliczenia te wykonano w oparciu o następujące wzory:

$$\tau = 0,7 + 0,03 t$$

gdzie:

τ — poprawnika temperaturowa,

t — temperatura wody, przy której dokonywano oznaczenia filtracji, w stopniach C.

a dalej:

$$k_{10} = \frac{k}{\tau}$$

gdzie:

k_{10} — współczynnik filtracji przy temperaturze wody 10°C w cm/min.,

k — współczynnik filtracji oznaczony przy określonej temperaturze.

Tabela 1

Mineralizacja g/l	k _{sr} i % zmniejszenia K	Piaski wydymowe	Piaski z Białej Góry		Piaski oligocenu z Tarchomina	Piaski oligocenu z Ogrodu Saskiego	Piaski miocenu z Ogrodu Saskiego
			zasalane NaCl	roztwór „szlamu” ciechocińskiego			
0	k cm/sek. %	0,02385 100	0,00659 100	0,00659 100	0,0235* 100	0,00445* 100	0,00305* 100
10	k % Δ%	0,0237 99,38 -0,62	0,00603 91,51 -8,49	0,00709 107,58 +7,58	0,0231 98,30 -1,70	0,00445 100 0	0,00362 118,87 +8,87
25	k % Δ%	0,0236 98,98 -1,02	0,00599 90,89 -9,11	0,00729 110,62 +10,62	0,02265 96,39 -3,61	0,00457 102,69 +2,69	0,00304 99,67 -0,33
50	k % Δ%	0,02125 89,10 -10,90	0,00587 89,08 -10,92	0,00540 81,95 -18,05	0,0225 95,74 -4,26	0,00458 102,92 +2,92	0,00312 102,29 +2,29
75	k % Δ%	0,0211 88,47 -11,55	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
100	k % Δ%	0,0206 86,37 -13,63	0,00571 86,68 -13,32	0,00513 77,84 -22,16	0,0222 94,48 -5,52	0,00485 108,99 +8,99	0,00294 96,38 -3,62
150	k % Δ%	0,0192 80,46 -19,54	0,00537 81,48 -18,52	0,00442 67,08 -32,92	0,0222 94,48 -5,52	0,00455 102,24 +2,24	0,00295 96,73 -3,27
175	k % Δ%	— — —	0,00510 77,48 -22,52	0,00365 55,39 -44,61	0,0214 91,07 -8,93	0,00467 104,94 +4,94	0,00285 93,45 -6,55
200	k % Δ%	0,0185 77,66 -22,34	0,00503 76,33 -23,67	0,00280 42,48 -57,52	0,0208 88,52 -11,48	0,00442 99,32 -0,68	0,00238 78,05 -21,95
Ilość oznaczeń		288	288	96	288	96	96

* Wartości określone w przybliżeniu.

Wszystkie wartości współczynników filtracji podawane w opracowaniu są wartościami sprowadzonymi do temperatury wody 10°C. Dla uproszczenia zapisu w sygnaturze oznaczającej współczynnik pominięto indeks „10”.

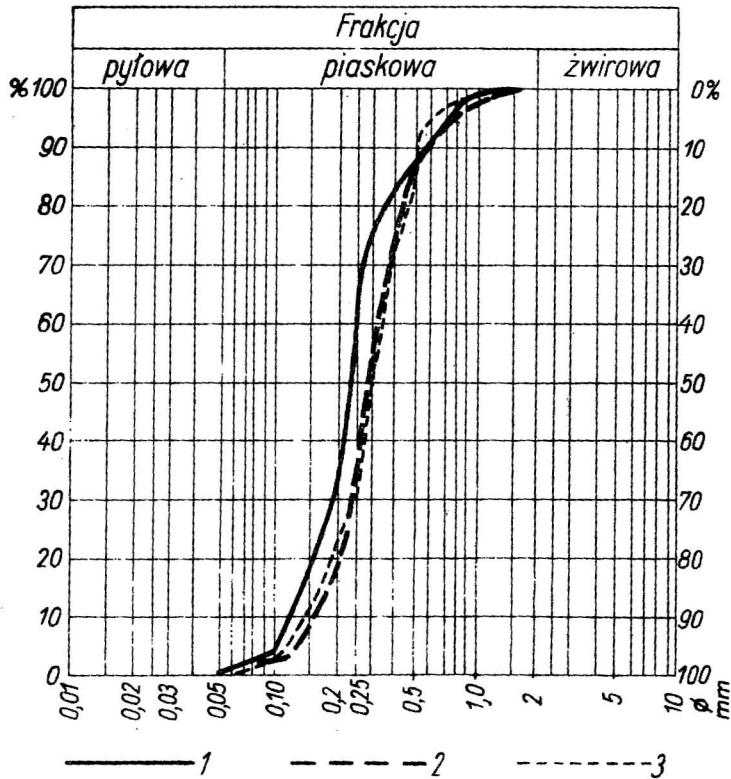


Fig. 3. Wykresy uziarnienia badanych piasków

Diagrams of grain size of the sands examined

1 — piasek dolnokredowy z Białej Góry; 2 — piasek oligoceniński z Tarchomina; 3 — piasek wydmy z rejonu Radzymina

1 — Lower Cretaceous sand from Biała Góra; 2 — Oligocene sand from Tarchomin; 3 — dune sand from the Radzymin region

Dla każdego rodzaju piasków ze wszystkich oznaczeń przy danej mineralizacji wody obliczono średnie wartości k_1 i k_2 . Następnie z obu tych wartości podano k_{sr} . Jak z tego widać, otrzymywano trzy wartości współczynnika filtracji badanego gruntu przy określonej mineralizacji wody (k_1 , k_2 , k_{sr}).

Dla badanych piasków określono skład granulometryczny, stosując metodę sitową. Wyniki tych badań podano w postaci krzywych uziarnienia gruntu (fig. 3).

Oznaczoną w toku badań gęstość poszczególnych roztworów przedstawiono na wykresie wykazującym zależność od stopnia mineralizacji. Krzywą tę porównano z wykresem teoretycznym (fig. 4).

WYNIKI BADAŃ

Wyniki omówione są według kolejności utworów przyjętych do badań (tab. 1).

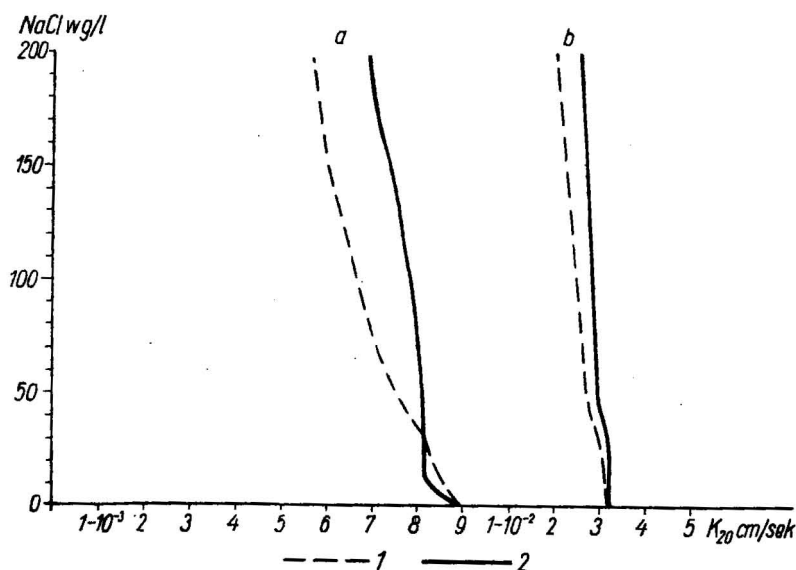


Fig. 4. Zależność współczynnika filtracji piasków od stopnia mineralizacji wody (określona teoretycznie i doświadczalnie)

Dependence of filtration coefficient of sands upon the degree of water mineralization (determined theoretically and experimentally)

1 — zależność teoretyczna wg wzoru $K_{20} = \frac{K_p \cdot \gamma}{\mu}$; 2 — zależność określona na podstawie badań; a — piaski kredowe z Białej Góry; b — piaski wydymowe z rejonu Radzymina

1 — theoretical dependence according to a formula $K_{20} = \frac{K_p \cdot \gamma}{\mu}$; 2 — dependence determined on the basis of experimental data; a — Cretaceous sands from Biała Góra; b — dune sands from the Radzymin region

Piaski wydymowe. Są to kwarcowe piaski drobnoziarniste, przeważnie o średnicy 0,1÷0,5 mm, o stosunkowo równym ziarnie ($U = 2,3$). Współczynniki filtracji określano dla stężeń roztworów soli kuchennej: 10, 25, 50, 75, 100, 150 i 200 g/l. Średni współczynnik filtracji dla wody nie zmineralizowanej wynosi 1,43 cm/min ($2,4 \cdot 10^{-2}$ cm/sek). Przy sukcesywnym wzroście mineralizacji wody współczynnik maleł i przy 200 g/l wynosił 1,11 cm/min ($1,9 \cdot 10^{-2}$ cm/sek), tj. zmniejszył się o ok. 22% (fig. 5 i 6). Analizując wykres spadku współczynnika k, można zaobserwować tylko bardzo mały wpływ mineralizacji przy wzroście stężenia do 25 g/l.

Piaski oligoceńskie. Są to kwarcowe, nieco glaukonitowe piaski drobno- i średnioziarniste o przeciętnej średnicy ziarna 0,3 mm i stosunkowo równym uziarnieniu ($U = 2$). Współczynnik filtracji określano dla stężeń: 10, 25, 50, 75, 100, 150, 175 i 200 g/l. Dla tych piasków również daje się zauważyć ciągły spadek współczynnika filtracji wraz ze wzrostem mineralizacji wody. Przy mineralizacji 200 g/l współczynnik zmniejszył się o ponad 11% w stosunku do wartości uzyskiwanych przy niskich mineralizacjach (fig. 6).

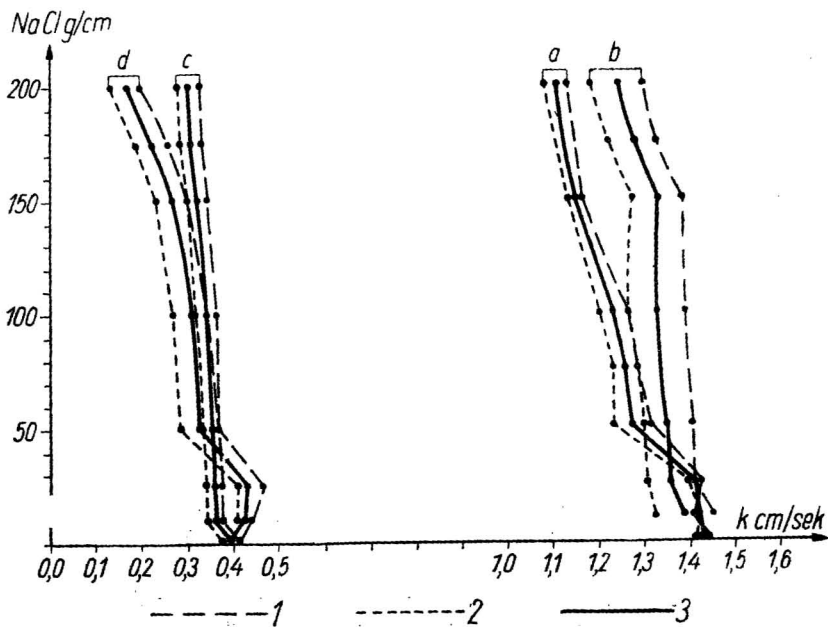


Fig. 5. Zależność współczynnika filtracji piasków, określonego przy różnych ciśnieniach, od stopnia mineralizacji wody

Dependence of sand filtration coefficient determined under various pressures upon mineralization degree of water

a — piaski wydmyowe z rejonu Radzymina; b — piaski oligoceniowe z Tarchominą; c — piaski dolnokredowe z Białej Góry; d — piaski dolnokredowe z Białej Góry (sól ciechocińska); 1 — współczynnik filtracji określony przy wyższym ciśnieniu; 2 — współczynnik filtracji określony przy niższym ciśnieniu; 3 — współczynnik filtracji średni z obu badań

a — dune sands from the Radzymin region; b — Oligocene sands from Tarchomin; c — Lower Cretaceous from Biała Góra; d — Lower Cretaceous from Biała Góra (Ciechocinek salt); 1 — filtration coefficient determined at higher pressure; 2 — filtration coefficient determined at lower pressure; 3 — mean filtration coefficient from both examinations

Z krzywej zależności daje się zaobserwować mniejszy wpływ mineralizacji wody na współczynnik k tych piasków niż dla prób z piasków wydmyowych.

Piaski dolnokredowe. Są to wyłącznie kwarcowe, drobnoziarniste piaski o przeciętnej średnicy ziarn 0,23 mm, o stosunkowo równym uziarnieniu ($U = 2$). Badania filtracji tych piasków przeprowadzono stosując roztwór soli kuchennej oraz roztwór „szlamu” ciechocińskiego o następujących stężeniach: 10, 25, 50, 100, 150, 175 i 200 g/l.

Współczynnik filtracji dla wody nie zmineralizowanej wynosił 0,40 cm/min ($6,6 \cdot 10^{-3}$ cm/sek). Przy wzroście mineralizacji roztworu soli kuchennej współczynnik filtracji zmniejszył się o 24% (fig. 6) i wynosił 0,30 cm/min ($5,0 \cdot 10^{-2}$ cm/sek).

Krzywa spadku wartości współczynnika filtracji przy mineralizacji w granicach 50—200 g/l jest niemal identyczna z krzywą dla piasków wydmyowych w tym samym przedziale mineralizacji wody. Zależność współczynnika filtracji prób piasków dolnokredowych od stopnia stęże-

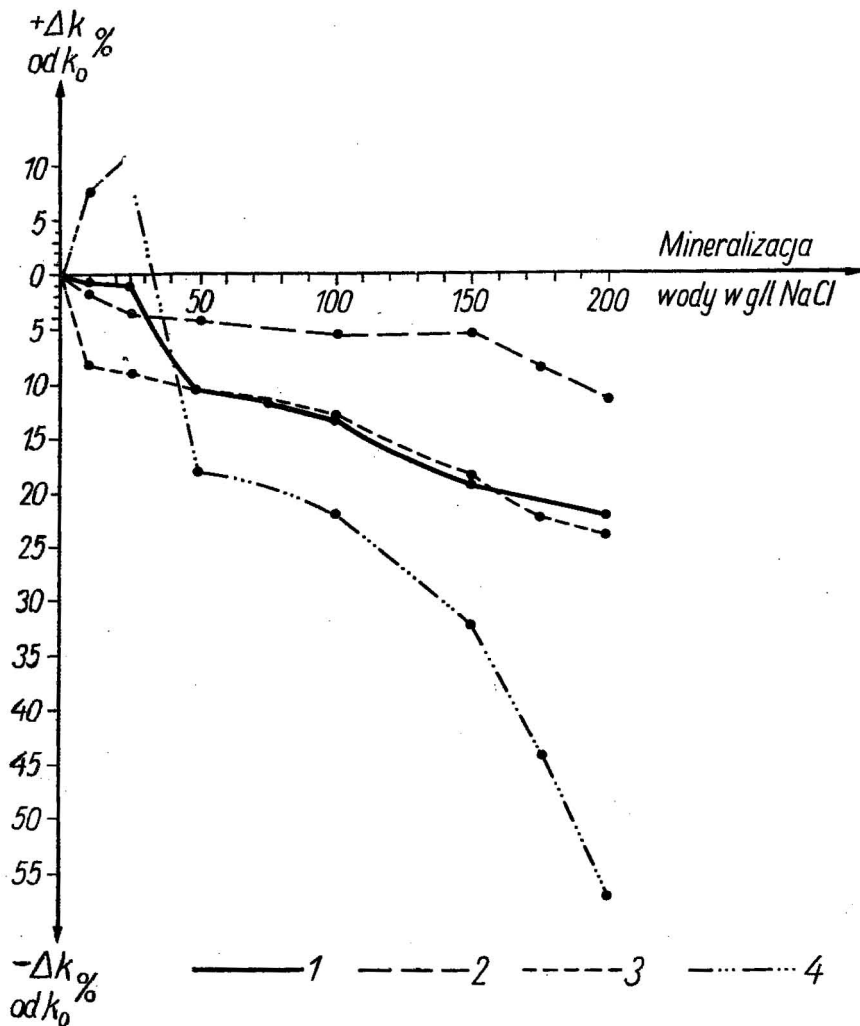


Fig. 6. Zmiany współczynnika filtracji piasków w zależności od stopnia mineralizacji wody

Changes of filtration coefficient of sands depending upon the degree of water mineralization

1 — piaski wydymowe z rejonu Radzymiń; 2 — piaski oligocenijskie z Tarchomin; 3 — piaski dolnokredowe z Białej Góry; 4 — piaski dolnokredowe z Białej Góry (sól ciechocińska)

1 — dune sands from the Radzymiń region; 2 — Oligocene sands from Tarchomin; 3 — Lower Cretaceous sands from Biała Góra; 4 — Lower Cretaceous sands from Biała Góra (Ciechocinek salt)

nia roztworu „szlamu” ciechocińskiego ma zupełnie inny charakter niż w poprzednio omówionych doświadczeniach. Przy wzroście mineralizacji do 25 g/l dał się obserwować wzrost współczynnika filtracji do około 10% (0,44 cm/min, tj. $7,3 \cdot 10^{-3}$ cm/sek), po czym przy dalszym wzroście mineralizacji do 59 g/l następuje spadek o ok. 28% w stosunku do po-

przedniej wartości. Przy dalszym wzroście mineralizacji obserwuje się szybki spadek filtracji. Przy 200 g/l współczynnik wynosił już tylko 0,17 cm/min ($2,8 \cdot 10^{-3}$ cm/sek). Spadek wynosił więc około 58% w stosunku do wartości początkowej.

Z uwagi na stosunkowo małą ilość oznaczeń przy badaniach ze „szlammem” ciechocińskim, stwierdzoną zależność trudno uznać za pewną.

Oprócz badań zasadniczych, przeprowadzono także oznaczenia filtracji w ograniczonym zakresie (brak odpowiedniej ilości próbek) na piaskach miocenijskich oraz oligocenijskich z Warszawy. Wyniki tych badań nie pozwalają na stwierdzenie określonej zależności pomiędzy filtracją a mineralizacją wody. Zasadniczym powodem tego jest zbyt mała ilość oznaczeń. Bardziej szczegółowe dane o zależności współczynników filtracji od mineralizacji wody dla podanych piasków zawiera tabela 1.

W toku przeprowadzonych badań zauważono, że filtracja ulega zmniejszeniu wraz z objętością przefiltrowanej wody, co zgodne jest z danymi z literatury. Wartości pierwszych oznaczeń współczynnika były z reguły większe od następnych dokonywanych na tej samej próbce, z zachowaniem jednakowego stężenia roztworu. Wynik trzeciego oznaczenia współczynnika filtracji był zazwyczaj mniejszy od pierwszego oznaczenia. Zagadnienie to wymagałoby bliższej analizy.

Spadek filtracji daje się również zauważyć wraz ze zmniejszaniem się ciśnienia słupa filtrującej wody. Zależność tę można wykazać na przykładzie piasków oligocenijskich. Jeśli zsumować średnie współczynniki filtracji określone przy wyższym ciśnieniu (k_1) dla wszystkich stężeń roztworu, to uzyskujemy wartość 9,673. Dla niższych ciśnień suma współczynników (k_2) wynosi 8,916. Z porównania tych wartości wynika, że współczynniki filtracji wyznaczone przy niższych ciśnieniach słupa wody były mniejsze, średnio o 7,8% (fig. 5).

Omówione wyżej badania dotyczyły roztworów o mineralizacji kilkudziesięciu a nawet kilkuset gramów w litrze wody. Istnieje jednak taki element występujący często w wodach, który już w ilościach kilku miligramów w 1 litrze może w określonych warunkach powodować znaczne zmniejszenie zdolności filtracyjnych piasków. Chodzi tu o żelazo, które występuje w wodach w postaci jonów Fe^{++} i Fe^{+++} , a przy mieszaniu się wody z powietrzem wytrąca się w osad w postaci wodorotlenków żelaza, co silnie utrudnia przepływ wody. Zjawisko to przebadano na piaskach wydmyowych z rejonu Kazunia, filtrując wodę o zawartości 1, 5, 10 i 50 mg/l Fe. W sumie wykonano kilkanaście doświadczeń, które pozwoliły stwierdzić, że przy wzroście Fe od 1 do 50 mg/l współczynnik zmniejsza się ponad dwukrotnie.

Duży wpływ na wartość współczynnika filtracji ma czas przepływu wody. Nawet przy stałej zawartości Fe współczynnik k zmniejsza się wraz ze wzrostem czasu filtracji, przy czym im większa zawartość Fe, tym szybciej następuje spadek k .

Opisane zjawisko posiada znaczenie praktyczne, gdyż przy pracach wymagających wprowadzenia do warstwy wodonośnej wypompowywanej wody powstają wszelkie warunki do tego, aby w przypadku obecności żelaza w wodzie, zmniejszył się współczynnik filtracji warstwy

wodonośnej w rejonie otworów chłonnych. Odzyskanie pierwotnych właściwości filtracyjnych skał jest niekiedy operacją trudną i drogą.

Należy jeszcze nadmienić, że właściwości żelaza do tworzenia trwałych związków z substancjami organicznymi pozwoliły niektórym badaczom szukać w tej dziedzinie metod zmniejszenia zdolności filtracyjnych skał i podniesienia wskaźników wytrzymałościowych gruntów.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań nad zależnością współczynnika filtracji piasków od stopnia zmineralizowania wody wyciągnąć można następujące wnioski:

1. Wzrost mineralizacji wody powoduje zmniejszenie się współczynnika filtracji piasków, co daje się zauważyć zwłaszcza przy dużych stężeniach roztworów (pow. 50 g/l).

2. Stwierdzony spadek współczynnika filtracji jest mniejszy niż wynikałoby to z najczęściej podawanej zależności filtracji od lepkości i gęstości roztworów używanych w badaniach.

3. Przy oznaczeniach współczynnika filtracji piasków dla wód nie zmineralizowanych lub o mineralizacji poniżej 10 g/l można nie uwzględniać wpływu mineralizacji wody, gdyż mieści się on w granicach dokładności oznaczenia tego współczynnika.

4. W toku badań udało się również zauważyć wprostproporcjonalny wpływ ciśnienia i odwrotnieproporcjonalny wpływ ilości przepływającej wody na wielkość współczynnika filtracji.

5. Ewentualne dalsze badania nad zagadnieniem wpływu mineralizacji wody na współczynnik filtracji powinny objąć utwory ilaste. Wskazane byłoby również przeprowadzić badania filtracji piasków w warunkach zbliżonych do naturalnych (modele gruntowe) i naturalnych.

Zakład Hydrogeologii Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4

Nadesłano dnia 4 kwietnia 1966 r.

PIŚMIENNICTWO

ENGELHARDT W. (1960) — Der Porenraum der Sedimente. Berlin — Gottingen — Heidelberg.

ENGELHARDT W., TUNN W. (1954) — Über das Strömen von Flüssigkeiten durch Sandsteine. Heidelberg. Beitr. Mineral. und Petrogr., 4, p. 12—25, nr 1/2.

MAJCHER J. (1954) — Szybkie wyznaczenie współczynnika przepuszczalności gruntu. Prz. geol., 2, p. 195—196, nr 5. Warszawa.

MACHER J., PŁOCHINTEWSKI Z. (1965) — Wpływ mineralizacji wody na współczynnik filtracji piasków. Kwart. geol., 9, p. 894—895, nr 4. Warszawa.

SCHEIDEGGER A. E. (1957) — The physics of flow through porous media. University of Toronto Press.

- SKAWIŃSKI R. (1965a) — Zmiany współczynnika filtracji w piaskach. Geologia inżynierska w gospodarce narodowej. Referaty VIII sekcji IV Krajowego Zjazdu Górniczego, p. 273—287. SNT Górnictwa — Zarząd Główny. Katowice.
- SKAWIŃSKI R. (1965b) — Badania nad zmianami współczynnika filtracji w piaskach. III Sympozjum Filtracji w Gdańsku, 11, p. 18—22.
- ГИРИНСКИЙ Н. К. (1955) — Фильтрация подземных сильно минерализованных вод и рассолов к морю. Труды Лаборат. Гидрогеох. Проблем., 12, стр. 3—11.
- КОРЮКИН Г. П. (1962) — Изменение коэффициента фильтрации пород с глубиной. Сб. ст. по геолог. и гидрогеолог., Всесоюзный Гидрогеол. Трест, вып. 2, стр. 102—103. Москва.
- МАЛЫГИН В. А. (1962) — Влияние температуры на фильтрацию и инфильтрацию. Доклады Моск. Сельхоз. Акад. им. К. А. Тимирязева, вып. 82, стр. 52—57. Москва.
- СПРАВОЧНИК ГИДРОГЕОЛОГА (1962) — Госгеолтехиздат. Москва.
- СИЛИН-БЕКЧУРИН А. И. (1949) — Формирование подземных вод северо-востока Русской платформы и западного склона Урала. Изв. АН СССР. Москва.

Януш МАХЕР, Зенобиуш ПЛОХНЕВСКИ

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОД НА КОЭФФИЦИЕНТ ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСКОВ

Резюме

В работе представлены результаты лабораторных исследований влияния минерализации (искусственной) вод на изменение коэффициента фильтрации песков. Работа была выполнена в 1964 году в Отделе гидрогеологии Геологического института.

Для опытов были использованы четвертичные дюнные пески, третичные глауконитовые и буроугольные пески района Варшавы и нижнемеловые стекольные пески из Бялой-Гуры близ Томашува-Мазовецкого. Пробы песков загрузались в прибор для определения фильтрации (типа трубки Г. Н. Каменского) и затем пропускались через них растворы поваренной и цехоцинской солей разной концентрации.

На основании опытов произведенных для 192 проб были сделаны 1152 определения коэффициента фильтрации, которые показали, что наряду с повышением минерализации воды до 200 г/л NaCl уменьшается коэффициент фильтрации в следующих пределах: для дюнных песков — с $2,4 \times 10^{-2}$ до $1,9 \times 10^{-2}$ см/сек., т.е. на 22%; для олигоценовых песков — с $2,3 \times 10^{-2}$ до $2,1 \times 10^{-2}$ см/сек., т.е. на 11%; для нижнемеловых песков — $6,6 \times 10^{-3}$ до $5,0 \times 10^{-3}$ см/сек., т.е. на 24%. Исходные данные были получены путем пропускания через пески дистиллированной воды. Произведенные опыты показали, что значительные концентрации цехоцинской соли также приводят к уменьшению коэффициента фильтрации песков. Значительное уменьшение фильтрационной способности песков достигается при пропускании воды содержащей большое количество соединений железа (1,5—50,0 мг/л Fe), из которой в условиях доступа воздуха выпадает осадок.

На основании произведенных исследований можно сделать вывод, что при определении коэффициента фильтрации песков для вод с минерализацией приблизительно до 10 г/л влияние минерализации может не учитываться, так как его значения содержатся в пределах точности общеприменяемых методов определения этого коэффициента.

Janusz MACHER, Zenobiusz PŁOCHNIEWSKI

INFLUENCE OF WATER MINERALIZATION UPON FILTRATION COEFFICIENT OF SANDS

Summary

The paper presents the results obtained from laboratory examinations of the influence of (artificial) water mineralization upon the change in filtration coefficient of sands. The work was made at the Hydrogeological Department of the Geological Institute in 1964.

Examinations embraced Quaternary dune sands, Tertiary glauconite and brown-coal sands from the region of Warsaw, and Lower Cretaceous glass sands from Biała Góra, near Tomaszów Mazowiecki. Sand samples were placed in an apparatus for filtration researches (type of Kamiński's tube) and then solutions of rock salt and of Ciechocinek salt in various concentrations were let through the samples.

The examinations of 192 samples have been made by means of 1152 determinations of filtration coefficient. They have demonstrated that the increase in water mineralization up to 200 g/l NaCl causes a decrease in filtration coefficient within the following boundaries: dune sands from 2.4×10^{-2} to 1.9×10^{-2} , i.e. 22 per cent.; Oligocene sands from 2.3×10^{-2} to 2.1×10^{-2} , i.e. 11 per cent.; Lower Cretaceous sands from 6.6×10^{-3} to 5.0×10^{-3} cm/sec, i.e. 24 per cent. Initial results have been obtained using distilled water let through the sands examined. Moreover, the examinations have shown that high concentrations of the Ciechocinek salt also causes a decrease in filtration coefficient of sands. A considerably drop of filtration ability of sands can be obtained by means of water that contains a greater amount of iron compounds ($15 \div 50,0$ mg/l Fe), which precipitate under conditions of air access.

The results of the examinations discussed in the present paper allow to draw conclusions that when determining the filtration coefficient of sands for the waters characterized by a mineralization amounting to about 10 g/l, we may disregard the influence of mineralization, since it falls within the boundaries of accuracy of the methods commonly applied to determine the coefficient under consideration.