

Mgr inż. STANISŁAW BŁASZCZYŃSKI
Katedra Przeróbki Mechanicznej Kopalni

WPLYW EFEKTU ELEKTROLEPKOŚCI
NA SZYBKOŚĆ FILTRACJI CIECZY
PRZEZ POROWATE WARSTWY PROSZKÓW WĘGLOWYCH

W procesie filtracji cieczy przez ośrodek porowaty zachodzi względny ruch pomiędzy powierzchniami granicznymi ciała stałego a cieczą, przy czym powierzchnie graniczne ciała stałego są w spoczynku a ciecz porusza się. W przypadku drobnoziarnistych składników warstw porowatych przepływ cieczy ma charakter laminarny. Bowiem małe szczeliny powstające w miejscach styku ziarn w warstwach porowatych tworzą tak wąskie kanaliki, że przepływ w tych punktach nie może nigdy osiągnąć charakteru burzliwego.

Ciecz przepływająca przez warstwę porowatą napotyka na pewien opór, w celu pokonania tego oporu ciecz znajdująca się przed filtrem musi mieć nadciśnienie w stosunku do przesączu. Pod wpływem tej różnicy ciśnień filtracja zachodzi z pewną szybkością. Przyjęto mierzyć szybkość filtracji ilością przesączu przypadającą na jednostkę czasu i jednostkę powierzchni filtracyjnej.

Literatura [1, 2] podaje dwa zasadnicze równania określające opór jaki stawia przegroda porowata przy przepływie cieczy - równanie Fanninga i równanie Darcy-Weisbacha.

Równanie Fanninga:

$$Z = \frac{4f \cdot L \cdot u^2}{d \cdot 2g}$$

gdzie:

- Z - opór powstały wskutek tarcia wyrażony w jednostkach wysokości słupa cieczy,
- f - współczynnik,
- L - długość kanalika,
- d - średnica kanalika,
- g - przyspieszenie ziemskie,
- u - prędkość liniowa cieczy.

Równanie Darcy-Weisbacha ma postać bardzo podobną do równania Fanninga:

$$Z = \frac{P}{\gamma} = \frac{\lambda \cdot L \cdot u^2}{d \cdot 2g}$$

gdzie:

- P - ciśnienie filtracji,
- γ - ciężar właściwy cieczy,
- λ - współczynnik odpowiadający współczynnikowi $4f$ z równania Fanninga.

Leva [2] rozwinął równanie Darcy-Weisbacha wyrażając ogólną zależność spadku ciśnienia przy przepływie cieczy przez warstwy porowate od wymiaru ziarn tej warstwy, porowatości i kształtu ziarn. Równanie to przybrało następującą postać:

$$\frac{4P}{\gamma} = \frac{\lambda \cdot L \cdot u^2}{d_z \cdot 2g} \left[\frac{(1 - \varepsilon)^{3-n}}{\varepsilon^3} \cdot \gamma^{3-n} \right]$$

gdzie:

- d_z - średnica zastępcza kanalików w warstwie filtrującej,
- ε - porowatość warstwy filtrującej,
- γ - współczynnik kształtu ziarn warstwy filtrującej,
- n - współczynnik szorstkości kanalików w warstwie filtrującej. Dla przepływu laminarnego przyjmuje się $n = 1$.

Podstawy teorii laminarnego przepływu wody przez warstwy porowate dał francuski uczony H. Darcy [wg 3], podał on teorię

tego przepływu w postaci tzw. liniowego prawa filtracji zwane-
go od jego nazwiska prawem Dyrcey'ego. Według tego prawa ilość
wody Q przesączającej się przez ośrodek porowaty w jednostce
czasu jest wprost proporcjonalna do spadku ciśnienia h (ΔP)
i powierzchni F poprzecznego przekroju przepływu a odwrotnie
proporcjonalna do długości drogi filtracji L , mierzonej w
kierunku ruchu wody. Prawo to wyraża się wzorem:

$$Q = K \frac{h}{L} \cdot F$$

gdzie:

K - współczynnik proporcjonalności, zależny od własności
ośrodka porowatego i cech fizycznych wody.

Współczynniki proporcjonalności nadano nazwę współczynnika
filtracji a niektórzy autorzy nazywają go współczynnikiem
przepuszczalności. Nutting w 1930 r. wykazał, że należy wpro-
wadzić zamiast współczynnika K współczynnik K' [wg 3]:

$$K' = \frac{k}{\mu}$$

gdzie:

μ - lepkość cieczy,

k - przepuszczalność właściwa ośrodka porowatego.

Wymiarem przepuszczalności właściwej jest kwadrat jednostki
długości (cm^2 lub m^2). Przepuszczalność właściwą wyraża się
wzorem:

$$k = \frac{g \cdot d_z^2 \cdot R}{32 \cdot \eta}$$

gdzie:

R - współczynnik Reynoldsa.

Twórcą drugiej zasadniczej teorii przepływu cieczy przez
warstwy porowate jest Kozeny [wg 3], który ujmuje w dokładniej-
szy sposób wpływ własności warstwy na jej przepuszczalność.

Równanie Kozeny posiada następującą postać:

$$Q = \frac{c \cdot \varepsilon^3}{u \cdot S^2} \cdot \frac{4P}{L}$$

gdzie:

ε - porowatość,

S - powierzchnia właściwa na jednostkę objętości,

c - stała Kozeny, której wartość waha się od 0,50-0,59.

Równanie Kozeny zostało zmodyfikowane przez Carmana [wg 3] przez co przyjęło następującą postać zwaną równaniem Kozeny-Carmana:

$$Q = \frac{\varepsilon^3}{5(1 - \varepsilon)^2 \cdot S_o^2} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \frac{4P}{L}$$

gdzie:

S_o - powierzchnia właściwa ziarn stykających się z cieczą przypadająca na jednostkę objętości ciała stałego (nie porowatego).

Poza przytoczonymi powyżej równaniami dla określenia przepływu przez warstwę porowatą czasami przyjmuje się (popołniając znaczny błąd) równanie Poiseuille:

$$Q = \frac{\pi}{128\mu} \cdot \frac{4P}{L} \cdot d^4$$

gdzie:

d - średnica kapilary.

Równanie to obowiązuje wyłącznie dla laminarnych przepływów cieczy w prostoosiowych (lub łagodnie wygiętych) rurkach o przekroju kołowym.

Przytoczone dane literaturowe wykazują, że żadna z teorii dotyczących przepływu cieczy przez ośrodki porowate nie uwzględnia powierzchniowych zjawisk natury fizykochemicznej.

Do zjawisk tych zaliczamy efekt elektrolepkości, który - jak to wykazano w oparciu o doświadczenia na kwarcu [4] - odgrywa poważną rolę w procesie filtracji cieczy przez ośrodki porowate. Skłania to do poszerzenia badań w tym kierunku o badania dla węgla, który jak wiemy jest materiałem o bardzo skomplikowanej budowie powierzchni. Pozwoli to nie tylko sprawdzić słuszność wniosków płynących z badań na kwarcu, ale również powinno dać wstępną odpowiedź na pytanie - czy przez odpowiednie pokierowanie procesem przemysłowej filtracji mułów węglowych da się uzyskać poprawę wyników odwadniania.

Doświadczalna część pracy została podzielona na dwa zasadnicze etapy. W pierwszym etapie przeprowadzono badania zmian potencjału elektrokinetycznego poszczególnych typów węgla (użytych do badań) w zależności od stężenia elektrolitu 0,0001; 0,001; 0,005; 0,01 i 0,1 n KCl) i w zależności od zmiany pH środowiska 3; 5; 8 i 10. W drugim etapie dokonano pomiarów szybkości filtracji wody i elektrolitów przez warstwy porowate utworzone z ziarn węgla różnych typów. Wyniki tych badań mogą być podstawą do wyciągnięcia wniosków odnośnie wpływu efektu elektrolepkości na proces przepływu cieczy przez warstwy porowate ze względu na współzależność pomiędzy elektrolepkością a potencjałem elektrokinetycznym [5, 6].

Przygotowanie węgla do badań

Do badań użyto następujące typy węgla: 31,3, 32,2, 33, 34, 35, 36, 37, 28, 42. Przygotowanie poszczególnych typów węgla przeznaczonych do badań przeprowadzono w niżej podany sposób.

W pierwszej fazie świeże próbki tych węgla skruszono w kruszarce szczękowej do uziarnienia poniżej 6 mm, następnie poddano je wzbogacaniu w wodnym roztworze chlorku cynku o ciężarze właściwym $1,4 \text{ g/cm}^3$. Celem tej operacji było usunięcie wszelkich składników niewęglowych znajdujących się w tych próbkach przy zachowaniu możliwie pełnego przekroju składników petrograficznych w danej próbce (stąd przyjęty ciężar właściwy rozdziału $1,4 \text{ g/cm}^3$). Usunięcie domieszek mineralnych było konieczne ze względu na ujednolicenie charakteru fizyko-

chemicznego badanej próbki. Umożliwia to przypisywanie uzyskanych efektów (podczas pomiarów) zjawiskom fizykochemicznemu zachodzącym na powierzchni ziarn węgla.

Próbki uzyskane po wzbogaceniu poddano mieleniu do uziarnienia poniżej 0,033 mm w mechanicznym młynie agatowym. Przesiewanie kontrolne zmielonych próbek przeprowadzono na sucho na sitach fosforobrazowych o ϕ 0,033 mm. Zmielone próbki przechowywano w naczyniach zamkniętych hermetycznie. Próbki węgla, które miały być poddane badaniom potencjału elektrokinetycznego ξ w środowisku wody redestylowanej poddawano tuż przed pomiarem kilkakrotnemu przemywaniu tą wodą celem usunięcia jonów soli zawartych w węglu. Przemywanie prowadzono aż do momentu uzyskania przewodnictwa właściwego rzędu $10^{-5} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Było to konieczne, gdyż w przeciwnym razie pomiary należałoby traktować nie jako w środowisku wodnym a jako w środowisku roztworzonego elektrolitu. Nie jest to bez znaczenia jak widać z przytoczonych niżej wyników pomiarów.

Przygotowanie wody do badań

Wodę przeznaczoną do badań potencjału elektrokinetycznego i szybkości filtracji oczyszczano w czterech stadiach. W pierwszym stadium zachodziła destylacja z kotła miedzianego, a w drugim stadium z kotła srebrzonego. Następnie otrzymany w ten sposób redestylat poddawano destylacji z kolby ze szkła jenajskiego w obecności KMnO_4 przy $\text{pH} = 10$, destylat z tego stadium poddawano ostatecznej destylacji w aparaturze kwarcowej z której otrzymano wodę o bardzo niskim przewodnictwie właściwym wynoszącym $1,5 \cdot 10^{-7} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Woda ta była odbierana i przechowywana w szczelnie zamkniętych butlach powlekanych od wewnątrz cienką warstwą czystej parafiny.

Tego rodzaju zabezpieczenie jest konieczne ze względu na dużą aktywność chemiczną takiej wody. Woda ta przy zetknięciu ze ściankami naczynia z każdego rodzaju szkła (zwykłe, jenajskie i razoterm) kugowała związki krzemu w wyniku czego powstawała koloidalna zawiesina najprawdopodobniej kwasu krzemowego. Zawiesina ta podczas doświadczeń filtracyjnych osadzała

się na powierzchni i w porach warstwy filtracyjnej powodując wyraźną zmianę warunków przepływu cieczy. Wystąpiło to szczególnie wyraźnie podczas przeprowadzanych doświadczeń ze względu na bardzo mały przekrój porów w w/w warstwach.

W wyniku bardzo dokładnych obserwacji prowadzonych w trakcie wstępnych pomiarów stwierdzono, że dla prawidłowego ustalenia mierzonych zależności koniecznym – choć bardzo uciążliwym – jest stosowanie wody pozbawionej wszelkich nawet śladowych zanieczyszczeń.

W badaniach z roztworami chlorku potasu do sporządzania tych roztworów stosowano wodę podwójnie destylowaną przechowywaną w w/w opisanych warunkach.

Metoda badań potencjału elektrokinetycznego

Pomiary potencjału elektrokinetycznego wykonano metodą elektroosmozy. Zastosowano przyrząd Gortikowa [wg 7].

Badany proszek (węgiel) w ilości 4 gramów umieszczano w kolbie próżniowej o pojemności 0,5 l i zalewano 300 ml cieczy w środowisku której miał być przeprowadzony pomiar potencjału ξ . Następnie przez 15 minut dokładnie wytrząsano po czym łączyło kolbę z pompą próżniową w celu dokładnego usunięcia pęcherzyków powietrza z powierzchni ziarn badanego proszku. Czas odpowietrzania wynosił 20 minut. Odpowietrzoną zawiesinę poddawano filtracji na lejku Büchnera. Wydzielony osad przenoszono do probówki wirówkowej aparatu Gortikowa, uzupełniając ją do pełna oddzielonym poprzednio filtratem. Odwirowanie prowadzono przy 3000 obr/min przez 20 minut. Po tym czasie probówkę wraz z zawartością podłączano do aparatu Gortikowa napełniając go odfiltrowanym roztworem. Następnie po całkowitym zmontowaniu aparatury i przygotowaniu jej do pomiaru pozostawiano ją w spokoju przez 1/2 godziny dla ustalenia się równowagi temperaturowej. Po tym czasie rozpoczynano pomiar przez włączenie prądu stałego, którego źródłem były 4 bakterie anodowe połączone szeregowo w wyniku czego otrzymano napięcie 260 V. Pomiar trwał 5 minut. Wielkościami mierzonymi były przesunięcia (w mililitrach) menisków w kapilarach oraz natę-

żenie prądu w mikroamperach. Pomiary przeprowadzono przy przepływie prądu w dwóch przeciwnych kierunkach. Zmianę kierunku przepływu prądu uzyskiwano przez zmianę biegunów na elektrodach. Znak potencjału ustalono z kierunku przepływu cieczy, a jego wielkości z równania:

$$\xi = 2,4 \cdot 10^6 \cdot \frac{Q \cdot x}{I} \text{ (mV)}$$

gdzie:

- Q - ilość przepływającej cieczy w ml/min,
- I - natężenie prądu w mA,
- x - przewodność właściwa roztworu $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

Przewodność właściwą roztworu x ustalono przy pomocy konduktometru mierząc nim opór badanego roztworu. Pozwoliło to na obliczenie z następującego wzoru:

$$x = \frac{X}{R_x}$$

gdzie:

- X - stała naczynka pomiarowego,
- R_x - opór badanego roztworu.

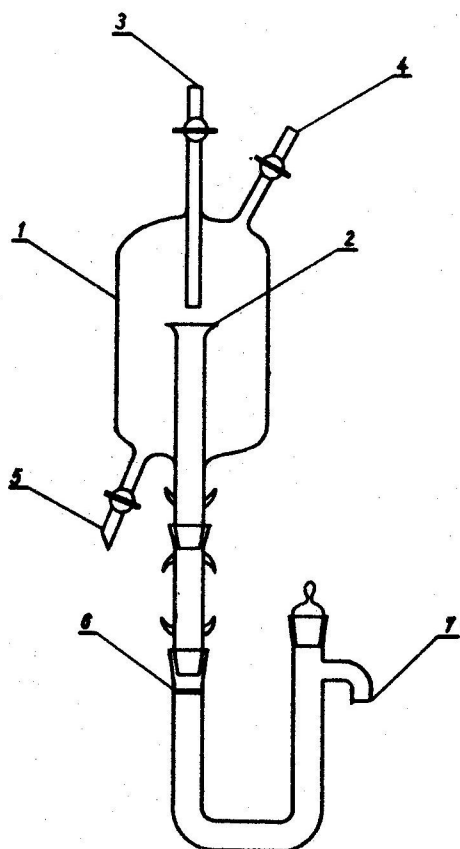
Metoda badań szybkości filtracji

Pomiar szybkości filtracji wody i wodnych roztworów elektrolitów przez w/w ośrodki porowate prowadzono z zachowaniem stałego ciśnienia filtracji równego 100 mm słupa Hg. Wielkością mierzoną był czas potrzebny do przesączenia stałej objętości roztworu (10 cm^3) pod stałym ciśnieniem. Badania prowadzono przy wykorzystaniu układu pomiarowego złożonego z:

- a) butli stalowej zawierającej azot pod ciśnieniem zaopatrzonej w reduktor,
- b) butli szklanych z tubusem dolnym wewnątrz parafinowanych, (stanowiących zbiorniki wody i elektrolitów) zaopatrzonych w filtry z drobnoziarnistych spieków, które były do-

datkowym zabezpieczeniem przed dostawaniem się jakichkolwiek drobin ciał stałych do ośrodka porowatego,

c) zasadniczego członu aparatury przedstawionego na rys. 1,



Rys. 1. Schemat zasadniczego członu aparatury do pomiaru szybkości filtracji

1 - zbiorniczek ciśnieniowy,
2 - przelew, 3 - doprowadzenie roztworu, 4 - doprowadzenie azotu pod ciśnieniem, 5 - odprowadzenie roztworu przelewowego, 6 - przegroda z otworami o ϕ 0,2 mm, 7 - odpływ cieczy do cylindra miarowego

- d) cylindra miarowego,
- e) manometru rtęciowego wskazującego ciśnienie filtracji,
- f) samoczynnego regulatora ciśnienia w postaci rury stalowej wypełnionej cieczą ciężką o ciężarze właściwym $1,8 \text{ g/cm}^3$, w której zanurzono rurkę szklaną połączoną z aparaturą.

Uzupełnieniem tej aparatury był stoper służący do pomiaru czasu potrzebnego na przefiltrowanie określonej objętości roztworu. Powyższe elementy aparatury zostały połączone ze sobą przy pomocy węży gumowych (a w miejscach przepływu roztworu węży igielitowych) w następujący sposób: butlę z azotem połączono ze zbiornikiem cieczy u manometrem oraz ze zbiornikiem ciśnieniowym zasadniczego członu aparatury. Zbiornik cieczy połączono poprzez tubus dolny i filtr ze spiekem z zasadniczym członem aparatury w miejscu

oznaczonym na rysunku cyfrą 3. Nadmiar doprowadzanej cieczy

spływał przelewem 2 na dno zbiornika ciśnieniowego 1 skąd periodycznie usuwano go przez kran 5. Badana próbka została umieszczona na przegrodzie dziurkowanej 6 (ze szkła organicznego) o średnicy otworów 0,2 mm, na której położono krążek twardej bibuły filtracyjnej. Przesącz odpływał do cylindra miarowego przez przelew 7. Taki układ pomiarowy zapewniał utrzymanie stałych parametrów procesu filtracji.

Pomiary prowadzono w następujący sposób: po umieszczeniu próbki (o ciężarze 0,6 g) w aparaturze pomiarowej otwierano dopływ roztworu włączając równocześnie doprowadzenie azotu, którego ciśnienie regulowano na żądanym poziomie kierując się wskazaniem manometru rtęciowego. Zastosowanie przelewu 2 i doprowadzenie azotu do zbiornika ciśnieniowego 1 pozwoliło utrzymać stałe ciśnienie filtracji. Równocześnie z włączeniem ciśnienia rozpoczynano pomiar czasu potrzebnego dla przesączenia określonej objętości (10 ml) roztworu. Pomiary rozpoczynano od wody czterokrotnie destylowanej i prowadzono je aż do momentu uzyskania względnie małych różnic w sąsiednich wynikach pomiarów. W następnej kolejności zamykano dopływ wody i nie wyłączając ciśnienia obniżano jej poziom nad próbką odprowadzając 20 cm³ roztworu. Następnie włączano dopływ elektrolitu, którym przepłukiwano warstwę aż do chwili przesączenia 10 cm³. Pomiary przy użyciu elektrolitu rozpoczynano od roztworu o najmniejszym stężeniu (0,0001 n KCl) stopniowo przechodząc - w podany wyżej sposób - do elektrolitu o wyższym stężeniu. Dla każdego stężenia elektrolitu wykonano serię kilkunastu pomiarów. Po wykonaniu serii pomiarów dla elektrolitu o najwyższym stężeniu (0,1 n KCl) przeprowadzono pomiary szybkości filtracji wody czterokrotnie destylowanej. Miało to na celu wyznaczenie spadku prędkości filtracji wody wynikającego ze wzrostu oporów warstwy na skutek jej upakowania w trakcie wykonanych pomiarów.

Prowadząc tym sposobem doświadczenia z jedną klasą ziarnową w podanych wyżej warunkach, możemy mówić o zachowaniu (w ramach pracy z różnymi roztworami) zasady podobieństwa geometrycznego i mechanicznego. Zatem, jeśli zachowamy wszystkie

parametry na stałym poziomie a zmienimy tylko jeden, to efekt związany z tą zmianą możemy przypisać reakcji w sferze jego działania. W naszym przypadku zmiana stężenia elektrolitu powinna wpłynąć na zmianę efektu elektrolepkości, a to z kolei wyrazi się różnicą w czasie potrzebnym na przesączenie przez badaną warstwę stałej objętości roztworu.

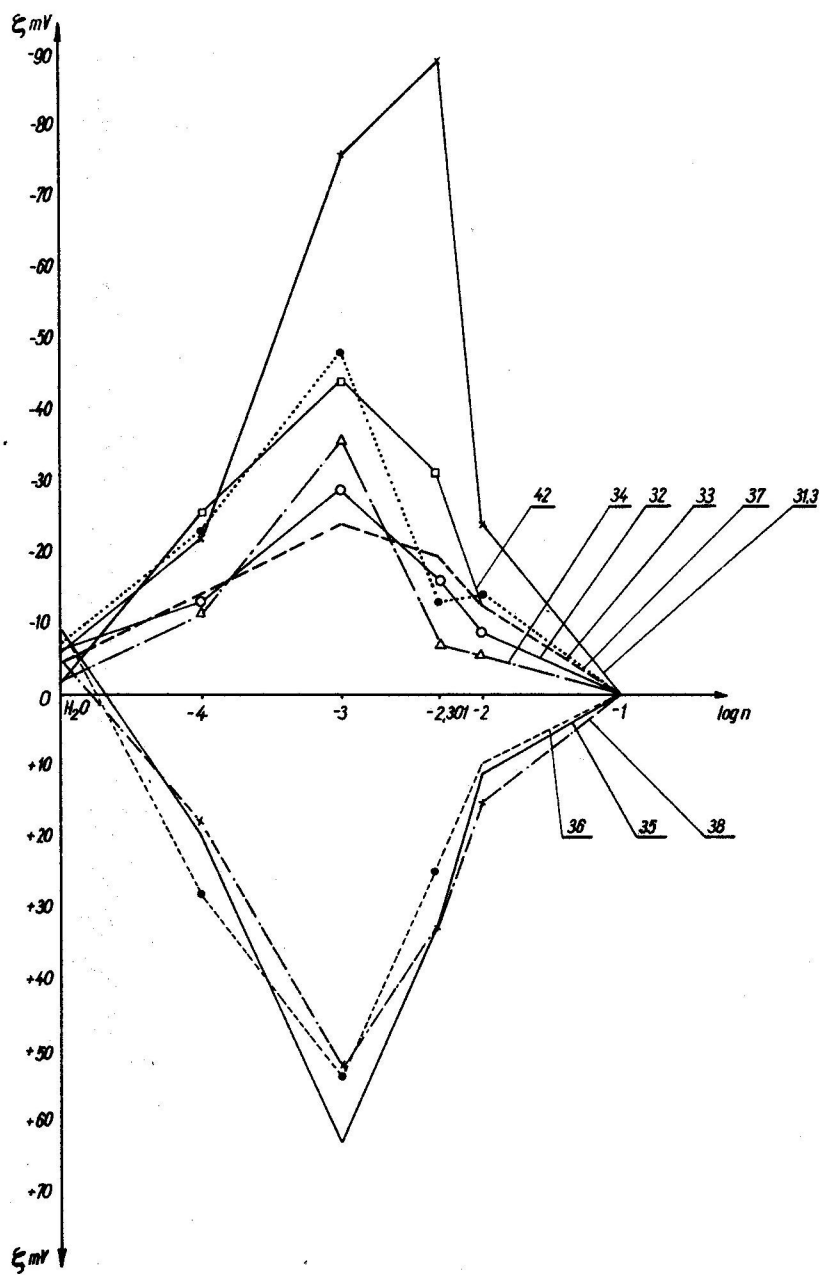
Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów przedstawiono w tablicach 1, 2 i 3 oraz graficznie na rys. 2, 3 i 4. W tablicach ujmujących wyniki pomiarów potencjału elektrokinetycznego podano wartości średnie z trzech wykonanych pomiarów. Różnica wartości ξ pomiędzy pomiarami dla tej samej próbki mieściła się w granicach do 3 mV. Dla ułatwienia zapisu tabelarycznego wyników pomiarów ξ przy różnym pH środowiska wpisano je w rubryki odpowiadające całkowitym założonym wartościom pH - 3; 5; 8 i 10. W rzeczywistości dla skrócenia czasu potrzebnego do przygotowania pomiaru ustalano wartość pH w pobliżu założonej.

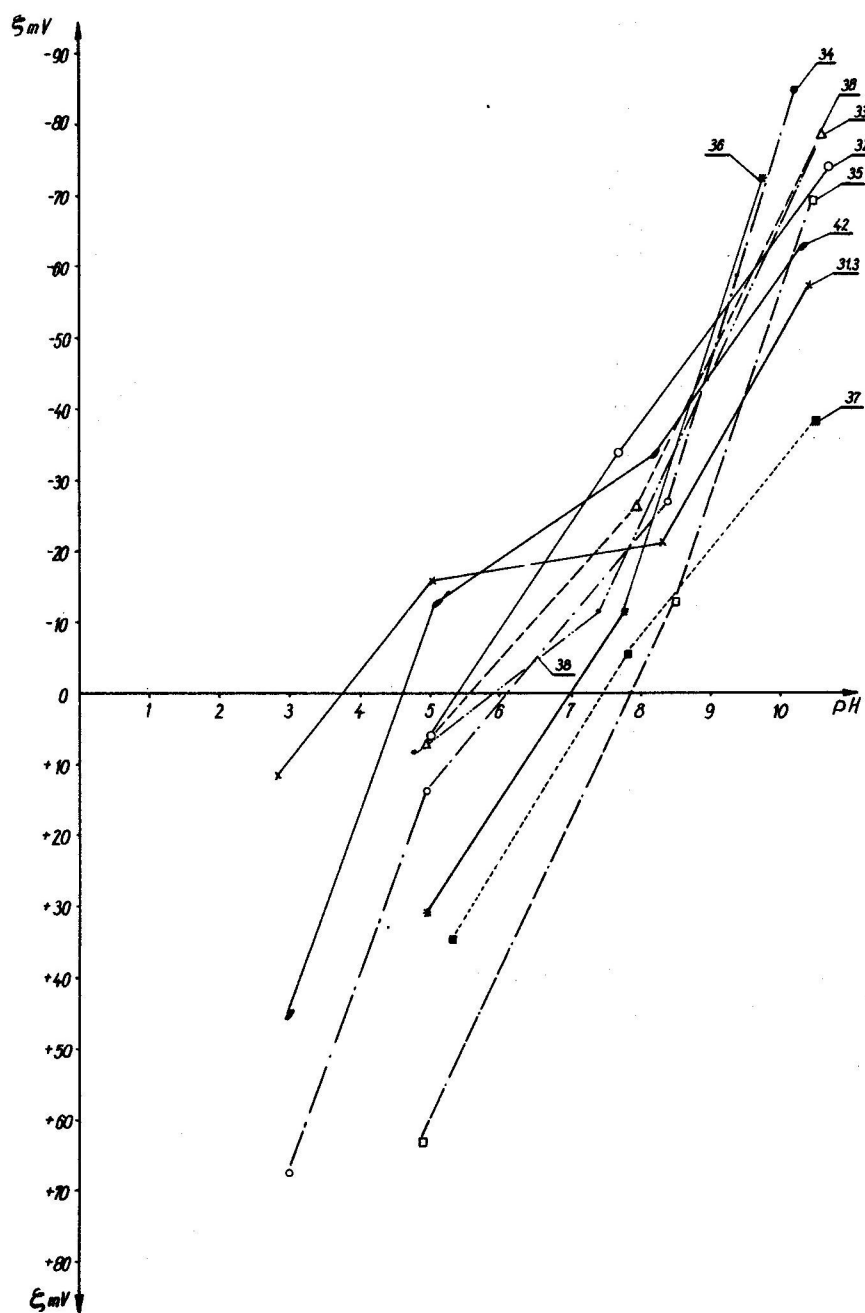
Dokładne wartości pH uzyskane w poszczególnych przypadkach zostały uwzględnione przy nanoszeniu wyników pomiarów na wykres (rys. 3). Pomiary szybkości filtracji - ze względu na ich czasochłonność - zostały wykonane jedynie dla wody i elektrolitów o różnym stężeniu. Z tego samego powodu pominięto stężenie 0,005 n KCl.

W tablicy 3 podano tylko końcowe wartości szybkości filtracji dla poszczególnych przypadków - w rzeczywistości wykonano po kilkanaście pomiarów dla każdego stężenia. Po wykonaniu serii pomiarów na elektrolicie o najwyższym stężeniu dokonywano pomiarów szybkości filtracji wody. Jak już wspomniano wcześniej miało to na celu ustalenie różnicy przepuszczalności membrany (w porównaniu do początkowych pomiarów na wodzie) wynikającej z upakowania się ziarn.

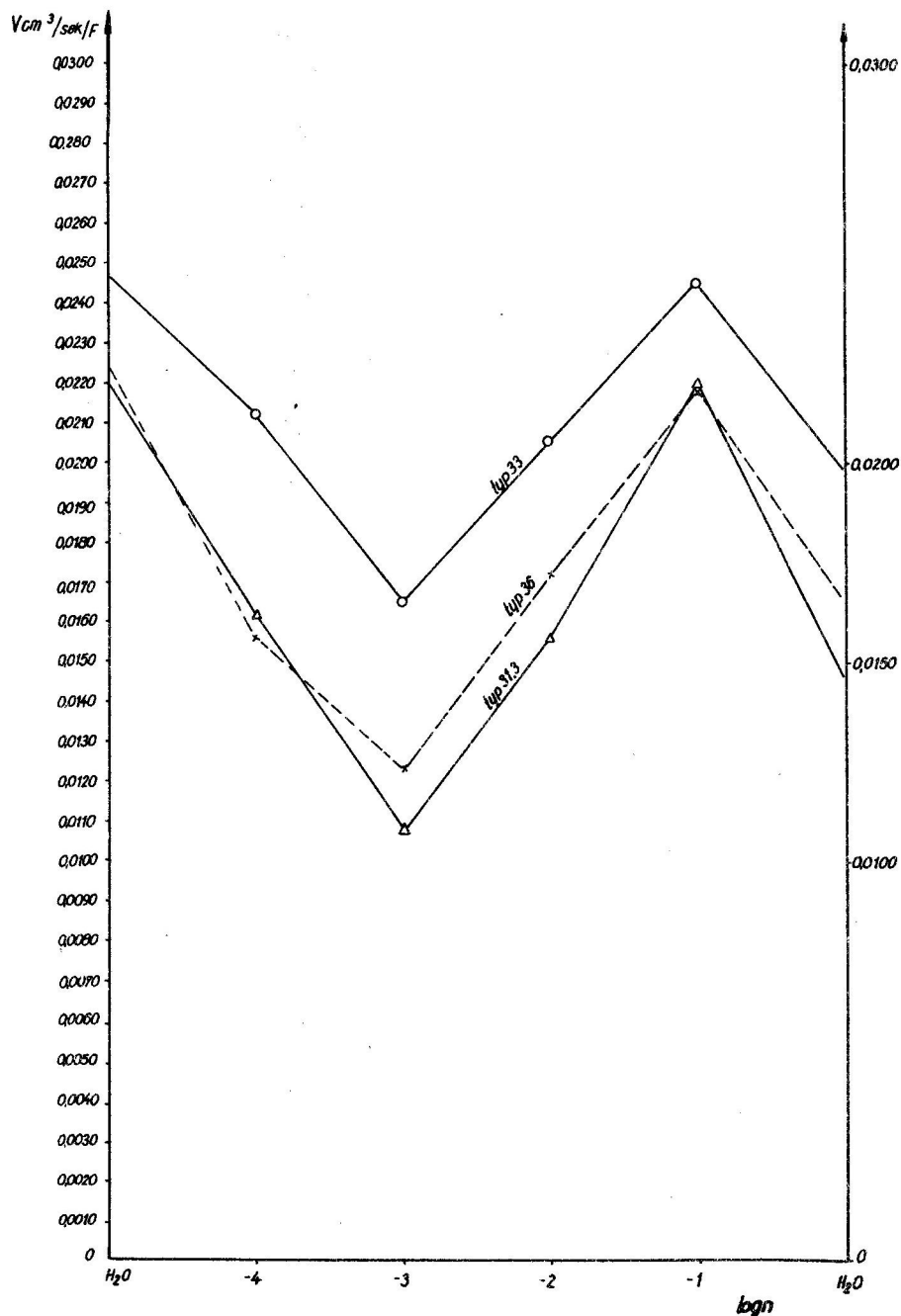
Na rys. 4 naniesiono wyniki pomiarów szybkości filtracji tylko dla wyraźnie różniących się (pod tym względem) typów węgli - 31,3, 33 i 36. Dla pozostałych badanych typów węgla otrzymano analogiczne zależności (tablica 3),



Rys. 2. Zależność potencjału elektrokinetycznego ξ od stężenia roztworu KCl dla różnych typów węgla



Rys. 3. Zależność potencjału elektrokinetycznego ξ od pH środowiska dla różnych typów węgla



Rys. 4. Wykresy szybkości filtracji wody i elektrolitu o różnym stężeniu przez membrany utworzone z proszków węgla typu 31,3, 33 i 36

Tablica 1

Wyniki pomiarów potencjału elektrokinetycznego
w zależności od stężenia KCl - dla węgli różnych typów

Stężenie KCl n	ξ mV										
	T y p w ę g l a										
	31,3	32,2	33	34	35	36	37	38	42		
H ₂ O	-6,46	-6,53	- 4,85	- 2,00	- 9,00	- 9,70	- 7,30	- 5,00	- 2,10		
0,0001	-22,40	-13,60	-14,10	-11,90	+20,00	+28,00	+22,80	+17,70	-25,90		
0,001	-76,00	-29,00	-24,40	-36,00	+63,00	+53,50	-48,30	+52,50	-44,50		
0,005	-89,40	-16,10	-19,60	- 7,20	+32,00	+24,70	-13,50	+32,50	-31,30		
0,01	-24,00	- 9,00	-13,00	- 6,50	+11,00	+ 9,96	-14,10	+ 15,10	-13,10		
0,1	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		

Tablica 2

Zestawienie wyników pomiaru potencjału elektrokinetycznego dla węgli różnych typów w zależności od zmiany pH

Typ	pH			
	10	8	5	3
	ξ (mV)	ξ (mV)	ξ (mV)	ξ (mV)
31,3	- 57,6	- 21,6	- 15,8	+ 11,6
32	- 74,0	- 34,2	+ 5,7	+ 252,0
33	- 79,0	- 26,5	+ 7,1	+ 146,0
34	- 85,2	- 27,1	+ 13,7	+ 68,5
35	- 73,2	- 13,5	+ 63,0	+ 270,0
36	- 72,0	- 11,5	+ 30,8	+ 396,0
37	- 37,5	- 5,7	+ 34,4	+ 272,0
38	- 79,0	- 11,4	+ 8,1	+ 229,0
42	- 63,0	- 33,8	- 13,2	+ 45,2

Tablica 3

Wyniki filtracji wody i elektrolitu przez membrany utworzone z węgla różnych typów

Typ węgla	Rodzaj roztworu						
	H ₂ O	0,0001 n KCl	0,001 n KCl	0,01 n KCl	0,1 n KCl	H ₂ O	
	$\frac{\text{cm}^3}{\text{sek/F}}$ V	$\frac{\text{cm}^3}{\text{sek/F}}$ V	$\frac{\text{cm}^3}{\text{sek/F}}$ V	$\frac{\text{cm}^3}{\text{sek/F}}$ V	$\frac{\text{cm}^3}{\text{sek/F}}$ V	$\frac{\text{cm}^3}{\text{sek/F}}$ V	
	$\frac{\text{cm}^3}{\text{sek/F}}$	$\frac{\text{cm}^3}{\text{sek/F}}$	$\frac{\text{cm}^3}{\text{sek/F}}$	$\frac{\text{cm}^3}{\text{sek/F}}$	$\frac{\text{cm}^3}{\text{sek/F}}$	$\frac{\text{cm}^3}{\text{sek/F}}$	
31,3	0,0220	0,0162	0,0108	0,0156	0,0220	0,0148	
32	0,0229	0,0207	0,0158	0,0196	0,0234	0,0194	
33	0,0247	0,0212	0,0165	0,0206	0,0245	0,0198	
34	0,0279	0,0240	0,0146	0,0251	0,0289	0,0212	
35	0,0221	0,0159	0,0117	0,0183	0,0225	0,0167	
36	0,0225	0,0156	0,0123	0,0172	0,0218	0,0166	
37	0,0218	0,0156	0,0121	0,0169	0,0211	0,0171	
38	0,0226	0,0156	0,0117	0,0178	0,0213	0,0159	
42	0,0254	0,0167	0,0124	0,0176	0,0227	0,0172	

Uwaga: F - przyjęta jednostkowa powierzchnia filtracyjna.

Analiza wyników

Pomiary potencjału elektrokinetycznego wykonane dla różnych węgli (przy różnych pH) - rys. 3, wykazują, że punkt zerowy ładunku idąc od węgla typu 31,3 do 35 przesunięty jest coraz bardziej w kierunku wyższych pH. Dla Węgla typu 31,3 punkt zerowy ładunku występuje przy $\text{pH} \approx 3,7$, dla węgla typu 34 przy $\text{pH} \approx 6,1$ a dla węgla typu 35 przy $\text{pH} \approx 7,9$. Wniosek ten doskonale zgadza się z wynikami pracy J. Laskowskiego i L. Iupy [8], w której na drodze doświadczeń flotacyjnych wykazano, że dla węgla gazowych punkt zerowy wypada przy $\text{pH} \approx 2$, dla węgla typu 34 przy $\text{pH} \approx 6,5$ a dla węgla typu 35 przy $\text{pH} \approx 8$.

Bardzo ciekawie przedstawiają się wyniki pomiarów potencjału elektrokinetycznego ξ w zależności od stężenia KCl (tablica 1, rys. 2). Wydaje się, że ilość tych pomiarów jest jednak jeszcze nie wystarczająca dla wyciągnięcia bardziej ogólnych wniosków.

Porównanie wyników z tablicy 1 i rys. 2 oraz tablicy 3 rys. 4 wskazuje współzależność pomiędzy prędkością filtracji i wartościami potencjału elektrokinetycznego. Prędkość filtracji jest najwyższa dla tych stężeń KCl, dla których małe są wartości ξ . Podobna zależność dla bentonitów została ostatnio opisana w jednej z publikacji amerykańskich [9]. Zależności te pozwalają sądzić, że zmiana szybkości filtracji przez przegrody porowate wynika z efektu elektrolepkości. Zatem w procesie filtracji cieczy przez warstwy porowate występuje (oprócz powszechnie znanych) jeszcze jeden czynnik wpływający na wielkość oporu warstwy.

LITERATURA

- [1] Janusz Ciborowski: Inżynieria Chemiczna. PWN - Warszawa, 1955.
- [2] Stanisław Leszczyński: Filtracja w przemyśle chemicznym. PWN - Warszawa, 1958.
- [3] Adrian E. Scheidegger: The physics of flow through porous media. University of Toronto press 1957.
- [4] Stanisław Błaszczyński: Filtracja roztworów elektrolitów przez porowate warstwy piasku kwarcowego. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. seria Górnictwo, Zeszyt 11, 1964.
- [5] G.A.H. Elton: Proc. Roy. Soc., 194 A. 259, 275 (1948); 197 A. 568 (1949); J. Chem. Phys., 13. 1317 (1951).
- [6] J. Spurný, B. Dobias: Coll. Czech. Chem. Com., 22, 1530 (1957); 24, 3663 (1959).
- [7] J. Pitiłowa: Ćwiczenia laboratoryjne z chemii koloidów. PWN - Warszawa, 1955.
- [8] Janusz Laskowski, Zygfryd Lupa: Własności powierzchniowe węgla kamiennych w świetle doświadczeń flotacyjnych. Archiwum Górnictwa, tom XI, Zeszyt 4/1956.
- [9] Oakes P.T., Burcik E.J.: Natl. Acad. Sci. Natl. Res. Council, Publ., No 456, 255, 1956. Według spisu literatury umieszczonego w pracy: Paul Sennett I.P. Olivier - Colloidal Dispersions Elektrokinetic Effects and the concept of zeta potential. Industrial and Engineering Chemistry Vol. 57, No 8 str. 33, 1965.