

Ćwiczenie 8:

BADANIE PROCESU FILTRACJI ZAWIESINY

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przebiegiem procesu filtracji izobarycznej oraz wyznaczenie stałych filtracji i współczynnika ściśliwości osadu.

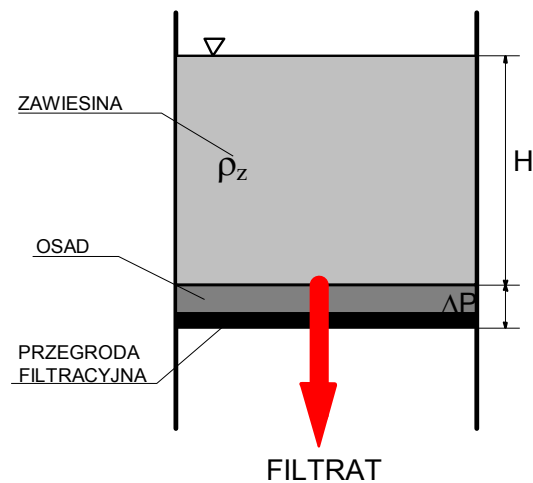
2. WIADOMOŚCI WPROWADZAJĄCE

Filtracją nazywa się operację technologiczną polegającą na oddzieleniu składników mieszaniny cieczy lub gazu od cząsteczek ciał stałych. Operacja ta prowadzona jest w urządzeniach (filtrach). Filtracja zawiesiny polega na zatrzymywaniu przez przegrodę filtracyjną cząstek ciała stałego, a przepuszczaniu przez tę przegrodę cieczy, którą nazywa się przesączem lub filtratem.

Przegroda filtracyjna może mieć strukturę ziarnistą lub włóknistą. Przykładem przegród filtracyjnych mogą być: warstwa piasku, tkanina z materiałów włóknistych, naturalnych lub sztucznych, porowate wyroby ceramiczne itp. Sama przegroda filtracyjna ma zwykle małą zdolność filtrowania i dlatego jako warstwa filtrująca wykorzystywany jest tworzący się na przegrodzie osad. Ponieważ w trakcie trwania procesu, porowatość warstwy osadu (tzw. placka filtracyjnego) zmienia się zwykle w istotny sposób (maleje), ściśliwość osadu ma duży wpływ na przebieg filtracji.

Siłą pod wpływem działania której w trakcie filtracji ma miejsce przepływ płynu, jest różnica ciśnienia przed i za przegrodą filtracyjną. Ze względu na sposób wytwarzania tej różnicy, filtrację można podzielić na:

- grawitacyjną - różnica ciśnienia wywołana jest parciem hydrostatycznym słupa zawiesiny nad przegrodą, rys. 1.
- ciśnieniową - nadciśnienie przed przegrodą wywołane jest zwykle pompą tłoczącą zawiesinę;
- próżniową - podciśnienie za przegrodą wywołane jest pompą próżniową;
- wirówkową - różnica ciśnienia po obu stronach przegrody wywołana jest działaniem siły odśrodkowej.



Rys. 1. Schemat filtracji grawitacyjnej, $\Delta P = \rho_z g H$

Zmiany wartości różnicy ciśnienia po obu stronach przegrody w trakcie trwania procesu filtracji, związane są bezpośrednio ze sposobem w jaki się go prowadzi. W praktyce wykorzystuje się trzy sposoby:

- filtrację przy stałej różnicy ciśnienia (izobaryczną) - w tym przypadku wraz z upływem czasu trwania procesu, zwiększa się grubość osadu na filtrze (a tym samym jego opór) i wydajność filtracji maleje;
- filtrację przy stałej wydajności filtratu - w miarę upływu czasu, zwiększa się wartość różnicy ciśnienia w stopniu proporcjonalnym do zwiększania oporu warstwy osadu;
- filtrację dwustopniową - w pierwszym okresie proces zachodzi przy stałej niewielkiej wydajności filtratu (mała ΔP). Po utworzeniu się na przegrodzie warstwy osadu o odpowiednich właściwościach filtracyjnych rozpoczyna się okres drugi - filtracja pod stałym ciśnieniem (duża ΔP).

Niezależnie od sposobu prowadzenia procesu, filtracji mogą być poddawane zawiesiny z osadami nieściśliwymi i osadami ściśliwymi. Ściśliwość osadu ma bezpośredni wpływ na wydajność filtracji i wymagane warunki jej prowadzenia. Współczynnik ściśliwości dla typowych osadów podaje literatura, np. [1, 2].

Ponieważ produktem filtracji może być zarówno przesącz jak i osad (lub też oba z nich), dlatego niejednokrotnie proces prowadzony jest na filtrze w dwóch etapach:

- etap I - filtracja właściwa dla otrzymania filtratu;
- etap II - przemywanie osadu w celu oczyszczenia go lub dodatkowego odzyskania fazy ciekłej zawartej w mokrym osadzie.

Filtracja izobaryczna

Ogólne równanie opisujące przebieg filtracji z wydzieleniem osadu nieściśliwego ma postać

$$\frac{dV}{F d\tau} = \frac{\Delta P}{\alpha_o \eta_c \left(\frac{V C_s}{F} + r \right)} \quad (1)$$

gdzie: V - objętość filtratu, m^3 ;

F - powierzchnia przegrody filtracyjnej, m^2 ;

τ - czas trwania filtracji, s;

ΔP - różnica ciśnień przed i za przegrodą filtracyjną, Pa;

α_o - opór właściwy osadu wydzielonego na przegrodzie, m/kg;

η_c - lepkość cieczy, Pa·s;

C_s - koncentracja ciała stałego w filtrowanej zawieszynie, kg/m^3 ;

r - jednostkowa ilość wydzielonego osadu, zapewniająca opór przepływu filtratu przez ten osad, równoważny oporom przepływu filtratu przez samą przegrodę filtracyjną, kg/m^2 .

W przypadku filtracji zachodzącej z wydzieleniem osadu ściśliwego, uwzględnic należy zmiany oporu właściwego placka filtracyjnego. Zmiany te wyraża empiryczne równanie

$$\alpha_o = \alpha_{o,śc} \Delta P^s \quad (2)$$

w którym: $\alpha_{o,śc}$ - opór właściwy osadu ściśliwego, $(m/kg) \cdot (m \cdot s^2/kg)^s$;

ΔP - różnica ciśnień przed i za przegrodą filtracyjną, Pa;

s - współczynnik ściśliwości placka filtracyjnego.

Po podstawieniu zależności (2) do równania (1) i pewnym uporządkowaniu wielkości

$$dV = \frac{F \Delta P^{1-s}}{\alpha_{o,\acute{s}} \eta_c \left(\frac{V C_s}{F} + r \right)} d\tau \quad (3)$$

Scalkowanie zaleznosci (3), przy zalozeniu $\Delta P = \text{const}$ (filtracja izobaryczna), w granicach od $V=0$ do $V=V_f$ oraz od $\tau=0$ do $\tau=\tau_f$ prowadzi do rownania

$$V_\tau = \frac{2}{\alpha_{o,\acute{s}} \eta_c \left(\frac{V_\tau C_s}{F} + 2r \right)} F \Delta P^{1-s} \tau_f \quad (4)$$

w ktorym: V_f - objetość filtratu uzyskana po czasie τ_f , m^3 ;

τ_f - czas trwania filtracji izobarycznej, s.

Przyjmujac oznaczanie objetości otrzymywanego filtratu jedynie symbolem V i czasu filtracji symbolem τ , rownanie (4) mozna sprowadzić, po pewnych przekształcenia, do postaci liniowej

$$\frac{\tau}{V} = K_1 \frac{V}{F} + C_1 \quad (5)$$

lub (częściej podawanej w literaturze) postaci parabolicznej

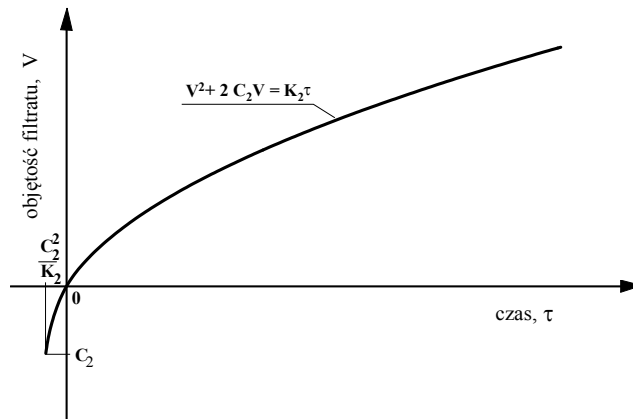
$$V^2 + 2V C_2 = K_2 \tau \quad (6)$$

w ktorych poszczególne wielkości stałe C i K wyrażane są jako

$$C_1 = \frac{\alpha_{o,\acute{s}} \eta_c r}{\Delta P^{1-s}} \quad ; \quad K_1 = \frac{\alpha_{o,\acute{s}} \eta_c C_s}{2 \Delta P^{1-s}}, \quad (7)$$

$$C_2 = \frac{F r}{C_s} \quad ; \quad K_2 = \frac{2 \Delta P^{1-s} F^2}{\alpha_{o,\acute{s}} \eta_c C_s}, \quad (8)$$

Interpretację rownania (6) przedstawiono na rys. 2.



Rys 2. Zależność objętości filtratu od czasu filtracji, przy $\Delta P = \text{const}$

Paraboliczny przebieg zależności (1) oznacza, że wraz z upływem czasu otrzymywać się będzie coraz mniejszy strumień filtratu. Taki przebieg procesu podyktowany jest stałą wartością różnicy ciśnienia i zwiększającym się w sposób ciągły oporem warstwy osadu. Bezpośredni wpływ na szczegółową postać równania (6), dotyczącego konkretnego procesu, mają wartości stałych C_2 i K_2 nazywane stałymi filtracji. Sens fizyczny stałej C_2 można określić jako taką objętość filtratu po otrzymaniu której na filtrze uzyskiwana jest warstwa osadu o grubości zapewniającej opór filtracji równoważny oporowi samej tkaniny filtracyjnej. Sens fizyczny stałej K_2 jest natomiast taki, że wyrażenie C_2^2/K_2 określa czas po upływie którego na przegrodzie utworzy się placek o oporze równoważnym oporowi samej tkaniny filtracyjnej.

W praktyce, stałe filtracji wyznacza się (dla danego procesu) na drodze eksperymentalnej. Ze względu na to, że badania prowadzi się w skali laboratoryjnej, na filtrach o mniejszej powierzchni niż w aparatach rzeczywistych, dokonać należy pewnej modyfikacji równania (6), a mianowicie odnieść je do wielkości powierzchni filtracyjnej

$$\frac{V^2}{F^2} + \frac{2VC_2}{F^2} = \frac{K_2 \tau}{F^2} \quad (9)$$

a oznaczając:

$$C' = \frac{C_2}{F}, \quad K' = \frac{K_2}{F^2}, \quad V' = \frac{V}{F},$$

przedstawić w postaci

$$V'^2 + 2CV' = K'\tau. \quad (10)$$

W tak zapisanym równaniu filtracji izobarycznej, wartości z „primem” odniesione są do wielkości powierzchni filtracyjnej. Po różniczkowaniu równania (9) i prostych przekształceniach otrzymujemy zależność

$$\frac{d\tau}{dV'} = \frac{2V'}{K'} + \frac{2C'}{K'} \quad (11)$$

a po zastąpieniu różniczek różnicami

$$\frac{d\tau}{dV'} \approx \frac{\Delta\tau}{\Delta V'} = \frac{2}{K'}V' + \frac{2C'}{K'} \quad (12)$$

czyli równanie linii prostej w postaci funkcji $\Delta\tau/\Delta V' = f(V')$.

Dysponując danymi eksperymentalnymi dotyczącymi przyrostów objętości filtratu w czasie, można zbudować wykres (rys. 3) i na jego podstawie wyznaczyć wartości stałych filtracji dla interesującego przypadku. Wyznaczone w ten sposób stałe filtracji dla procesu laboratoryjnego, można odnieść do filtra o rzeczywistych rozmiarach wykorzystując zależności

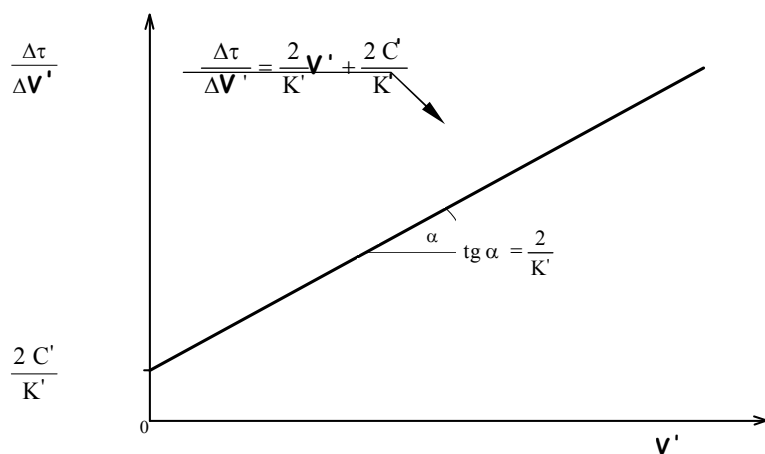
$$C_2 = C' F \quad ; \quad K_2 = K' F^2, \quad (13)$$

w których F oznacza wielkość rzeczywistej powierzchni filtracyjnej.

Dla określenia współczynnika ściśliwości osadu należy dysponować stałymi filtracji wyznaczonymi przy dwóch odmiennych stałych różnicach ciśnienia (ΔP_1 i ΔP_2). Odnosząc stałą filtracji K_2 do powierzchni filtru otrzymuje się

$$K' = \frac{K_2}{F^2} = \frac{2}{\alpha_{o,s} \eta_c C_s} \Delta P^{1-s} = a \Delta P^{1-s} \quad (14)$$

gdzie: a - wartość stała dla danego procesu filtracji.



Rys. 3. Graficzny sposób wyznaczania stałych filtracji izobarycznej

Dla procesów prowadzonych przy dwóch stałych różnicach ciśnienia

$$\begin{cases} K'_1 = a \Delta P_1^{1-s} \\ K'_2 = a \Delta P_2^{1-s} \end{cases} \quad (15)$$

gdzie: K'_1 - stała wyznaczona przy różnicy ciśnienia ΔP_1 , m^2/s ;

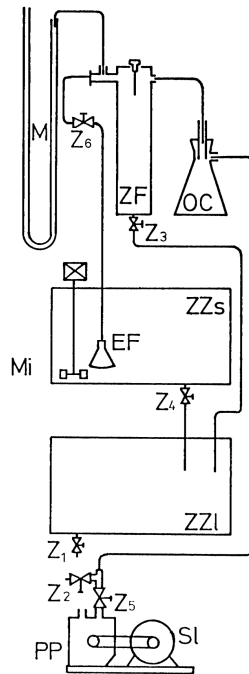
K'_2 - stała wyznaczona przy różnicy ciśnienia ΔP_2 , m^2/s .

Przekształcając powyższy układ równań, współczynnik ściśliwości

$$s = 1 - \left(\lg \frac{K'_1}{K'_2} / \lg \frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} \right) \quad (16)$$

3. OPIS STANOWISKA LABORATORYJNEGO

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 4. Składa się ono z elementu filtracyjnego EF umieszczonego w zbiorniku zawiesiny ZZs. Element filtracyjny stanowi perforowana przegroda metalowa o powierzchni $0,01 \text{ m}^2$, pokryta bawełnianą tkaniną filtracyjną. Różnica ciśnienia po obu stronach przegrody filtracyjnej wytwarzana jest za pomocą pompy próżniowej PP napędzanej silnikiem elektrycznym SI. Filtrat zasysany jest do zbiornika ZF zaopatrzonego w podziałkę umożliwiającą pomiar objętości cieczy. Na przewo-



Rys. 4. Schemat stanowiska pomiarowego do badania procesu filtracji
 EF - element filtrujący, ZZs - zbiornik zawiesiny, ZF - zbiornik filtratu, OC - oddzielnik cieczy, M - manometr U-rurkowy z rtęcią, PP - pompa próżniowa, SI - silnik elektryczny, Mi - mieszadło, Z - zawory, ZZI - zbiornik zlewcy

dzie łączącym zbiornik filtratu z pompą próżniową zainstalowany został oddzielnik kropel cieczy OC. Podciśnienie w zbiorniku filtratu mierzone jest manometrem U-rurkowym M wypełnionym rtęcią. W zbiorniku zawieszony umieszczono mieszadło Mi. Zbiornik zlewczy ZZ1 służy do gromadzenia filtratu uzyskanego w kolejnych seriach pomiarowych.

4. METODYKA PROWADZENIA POMIARÓW

W celu przeprowadzenia badań filtracji izobarycznej należy:

- a) przygotować w zbiorniku ZZs zawiesinę kredy w wodzie o określonej koncentracji ciała stałego;
- b) po zamknięciu zaworu Z_6 , zanurzyć element filtrujący w zawieszynie i włączyć pompę próżniową;
- c) za pomocą zaworów Z_2 i Z_5 ustalić wymaganą różnicę ciśnień na elemencie filtrującym. Ciśnienie kontrolować manometrem M;
- d) otworzyć zawór Z_6 włączając jednocześnie pomiar czasu;
- e) w trakcie trwania procesu notować objętość otrzymanego filtratu w czasie. Do każdego odczytanego wyniku dodać objętość przesączu zawartą w węży łączącym element filtracyjny ze zbiornikiem filtratu, $V_0 = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$;
- f) wyniki notować w tabeli;
- g) powtórzyć pomiary przy innej wartości różnicy ciśnienia;
- h) po zakończeniu pomiarów wyłączyć pompę i zlać filtrat do zbiornika ZZ1.

Badanie procesu filtracji izobarycznej

Rodzaj zawiesiny: kreda w wodzie					
Koncentracja ciała stałego: kg kredy / m ³ zawiesiny					
Powierzchnia filtracyjna: F=0,01 m ²					
Temperatura zawiesiny: °C					
Objętość $V_0 = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 0,35 \text{ l}$					
ΔP	V	τ	V'	ΔV	$\Delta \tau$
mm Hg	l	s	m ³ /m ²	m ³ /m ²	s
100					
200					

5. ZAKRES OPRACOWANIA WYNIKÓW

1. Sporządzić charakterystyki $V=f(\tau)$ dla obu serii pomiarowych.
2. Wyznaczyć wartości stałych filtracji C' i K' .
3. Wyznaczyć współczynnik ściśliwości osadu.
4. Podać wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia

6. LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

- [1] KOCH R., NOWORYTA A.: Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej,
WNT W-wa 1992

[2] TRONIEWSKI L. i inni.; Tablice do obliczeń procesowych, Skrypt PO nr 189, Opole 1996

7. TEMATYKA ZAGADNIEŃ KONTROLNYCH

1. Sposoby prowadzenia procesu filtracji.
2. Wymagania stawiane przegrodom filtracyjnym.
3. Znaczenie stałych filtracji i sposoby ich określania.
4. Wpływ ściśliwości osadu na przebieg procesu filtracji.