

WYZNACZENIE OPORÓW FILTRACJI

Filtracją nazywamy operację jednostkową polegającą na rozdzielaniu składników mieszaniny cieczy lub gazu z zawieszonymi cząstkami ciał stałych za pomocą urządzeń mających przegrodę przepuszczalną dla cieczy lub gazu, a nieprzepuszczalną dla cząstek ciała stałego. Siłą napędową procesu jest różnica ciśnień przed i za przegrodą filtracyjną (elementem filtrującym). Pod wpływem wytwarzanej różnicy ciśnień (Δp) faza ciekła przechodzi przez pory elementu, a cząstki ciała stałego osadzają się na jego powierzchni, tworząc warstwę osadu (tzw. placka) lub wnikają w pory (kanaliki) elementu filtrującego zmniejszając jego przepuszczalność. Ten ostatni przypadek ma miejsce przy filtracji z tzw. „korkowaniem porów”.

Stosowanie filtracji w przemyśle chemicznym, spożywczym i pokrewnych jest szczególnie częste. Choć rozdzielanie ciała stałego od cieczy następować może różnymi metodami (np. na drodze sedymentacji, odparowania cieczy), to jednak filtracja jest operacją wygodną, ponieważ rozdzielanie zawiesin może następować także w takich przypadkach, gdy prędkość sedymentacji jest mała oraz gdy zależy nam na otrzymaniu cieczy możliwie dokładnie pozbawionej cząstek ciała stałego, bądź gdy osad powinien charakteryzować się małą zawartością wilgoci.

Przegroda filtracyjna może mieć strukturę ziarnistą lub włóknistą. Przykładem przegród filtrujących może być: warstwa piasku lub ziaren, tkaniny z materiałów włóknistych roślinnych, zwierzęcych lub syntetycznych. Często sama przegroda ma małą zdolność filtrowania, szczególnie podczas filtracji zawiesin o małych cząstkach ciała stałego zbliżonych do wymiarów cząstek koloidalnych. Tworząca się w trakcie filtrowania warstwa osadu jest w tym przypadku wykorzystywana jako warstwa filtrująca podnosząca zdolność rozdzielczą filtru. Ciecz przepływająca przez warstwę osadu i przez przegrodę filtracyjną napotyka na opór, który musi pokonać.

W zależności od sposobu wytwarzania różnicy ciśnień wyróżniamy filtrację:

- **Pod ciśnieniem hydrostatycznym słupa zawiesiny** (tą metodę stosuje się jeżeli opór jest niewielki, filtrację prowadzimy wówczas w filtrze grawitacyjnym, w którym siłą napędową procesu jest ciśnienie słupa surówki filtracyjnej nad przegrodą filtracyjną)
- **Ciśnieniową** (metoda stosowana przy większych oporach przepływu, w filtrach ciśnieniowych surówka filtracyjna jest wprowadzana do filtru pod ciśnieniem wyższym od ciśnienia atmosferycznego)

- **Próżniową** (metoda stosowana przy większych oporach przepływu, w filtrach próżniowych przesącz wpływa do przestrzeni, w której ciśnienie jest niższe niż ciśnienie atmosferyczne)

W filtracji przemysłowej najczęściej produktem rozdzielania jest przesącz i osad, a proces rozdzielania w większości aparatów jest złożony z następujących zachodzących kolejno etapów:

- Powstawanie osadu i uzyskanie przesączu
- Przemycie osadu (placka)
- Podsuszenie osadu przez zasysanie lub przetłaczanie sprężonego powietrza
- Usunięcie placka z powierzchni przegrody filtracyjnej
- Regeneracja przegrody filtracyjnej (tkaniny)

Do podstawowych czynników mających wpływ na intensywność rozdzielania faz (szybkość filtracji) należy zaliczyć:

- właściwości fizykochemiczne zawiesiny: stężenie fazy rozproszonej, wielkość i kształt cząstek stałych, stopień dyspersji (rozproszenia) ciała stałego, temperatura cieczy, pH cieczy, gęstość fazy ciekłej i gęstość fazy stałej, zdolność zawiesiny do sedymentacji;
- właściwości materiałowe i fizykochemiczne przegrody filtracyjnej (tkaniny): sposób jej wykonania, objętość i kształt porów, przepuszczalność;
- wielkość wytwarzanej różnicy ciśnień przed i za przegrodą filtracyjną, która wpływa w znacznym stopniu na prędkość filtracji, a także budowę warstwy osadu i stopień usunięcia cieczy z placka.

Zasadnicze rodzaje filtracji:

- filtrowanie z pełnym blokowaniem (zatykaniem) porów przegrody filtracyjnej przez cząstki ciała stałego zachodzi wówczas, gdy każdy kanalik jest zatykany przez pojedynczą cząstkę ($d_{cz} \geq d_{por}$);
- filtrowanie ze stopniowym zatykaniem porów środka filtrującego – cząstki fazy stałej osadzają się na wewnętrznej powierzchni porów przegrody filtracyjnej zmniejszając stopniowo prześwit ($d_{cz} < d_{por}$);
- filtrowanie pośrednie charakteryzujące się tym, że jednocześnie z przenikaniem cząstek fazy rozpraszanej w pory przegrody filtracyjnej zachodzi zjawisko tworzenia się kompleksów (grup, mostków) cząstek stałych nad wejściami do porów;

- filtrowanie z tworzeniem się warstwy osadu (placka) na ośrodku filtrującym (tkaninie filtracyjnej) – proces ten praktycznie zawsze poprzedzony jest filtrowaniem pośrednim.

Wszystkie opisane powyżej czynniki oddziałują w czasie filtracji jednocześnie, co komplikuje zasadniczo ścisły opis matematyczny dynamiki procesu. Dlatego też konieczne jest przeprowadzenie badań filtracji zawiesin podlegających filtrowaniu – zwykle w skali laboratoryjnej, a także półtechnicznej. Badania te powinny w efekcie dostarczyć lub umożliwić wybór typu aparatu filtracyjnego i optymalizację jego warunków pracy.

W czasie ćwiczenia realizowana będzie filtracja plackowa – sposób rozdziału zawiesin najczęściej stosowany w praktyce przemysłowej.

Filtracja plackowa

Podstawowym równaniem opisującym dynamikę procesu filtracji jest równanie różniczkowe w postaci

$$\frac{dV}{A d\tau} = \frac{\Delta p}{\eta(r_m \cdot \bar{C}_0 \cdot \frac{V}{A} + r_{pf})}$$

,a także w postaci:

$$\frac{dV}{A d\tau} = \frac{\Delta p}{\eta(r_m \cdot \bar{C}_m \cdot \frac{V}{A} + r_{pf})}$$

gdzie: V – objętość filtratu [m^3], A – powierzchnia filtracji [m^2], Δp – spadek ciśnienia na filtrze – różnica ciśnień przed i za elementem filtrującym [N/m^2], η – współczynnik lepkości dynamicznej cieczy [$\frac{N \cdot s}{m^2}$], τ – czas filtracji [s], r_0 – średni objętościowy opór właściwy osadu [m^2], r_m – średni masowy opór właściwy osadu [m^2], r_{pf} – opór przegrody filtracyjnej [m^2], \bar{C}_0 – stosunek objętości osadu (wilgotnego) do otrzymanego filtratu

Z powyższych zależności wynika, że szybkość filtracji jest wprost proporcjonalna do spadku ciśnienia na filtrze (Δp), a odwrotnie proporcjonalna do iloczynu lepkości cieczy i oporu całkowitego filtracji.

$$\bar{C}_0 = \frac{V_{os}}{V} = \frac{h_0 A}{V}$$

gdzie: V_{os} – objętość osadu wilgotnego [m^3], h_0 – grubość osadu [m]

$$\bar{C}_m = \frac{m_{os}}{V} = \frac{\bar{x} \cdot p_f}{1 - \frac{100}{100 - w} \bar{x}}$$

gdzie: m_{os} – masa osadu suchego otrzymanego w czasie filtracji [kg], \bar{x} – stosunek masowy zawiesiny [kg c. stałego/kg cieczy], w – wilgotność osadu [%]

Dla rozdziału prowadzonego przy $\Delta p = const$, zakładając, że wszystkie wielkości poza τ i V , są w czasie filtracji stałe można te równania scałkować. W wyniku całkowania w granicach od $V = 0$ do V i od $\tau = 0$ do τ , po pewnych przekształceniach otrzyma się równanie filtracji plackowej izobarycznej:

$$\frac{\tau}{V} = DV + B$$

gdzie: D – stała filtracji plackowej, [$s \cdot m^{-6}$], B – stała filtracji plackowej, [$s \cdot m^{-3}$]

$$D = \frac{\eta \cdot r_0 \cdot \bar{c}_0}{2 A^2 \cdot \Delta p}$$

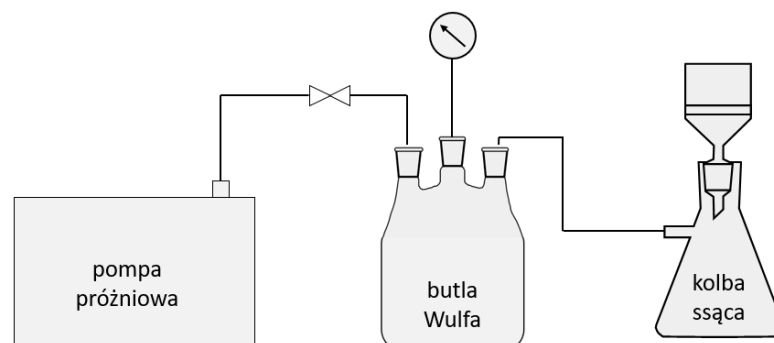
$$B = \frac{\eta \cdot r_{pf}}{A \cdot \Delta p}$$

Cel ćwiczenia:

Określenie zdolności filtracyjnej zawiesiny (popiołu w wodzie) tj. doświadczalne wyznaczenie podstawowych wskaźników filtracji zawiesiny : średniego oporu właściwego osadu oraz oporu przegrody filtracyjnej i ustalenie zmian ich wartości zależności od ciśnienia filtracji.

Wykonanie:

Zmontować zestaw do sączenia pod zmniejszonym ciśnieniem zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1.



Rysunek 1. Zestaw do sączenia pod zmniejszonym ciśnieniem z butlą Wulfa.

Kolbę ssawkową łączy się z pompą próżniową (pompa membranowa jednokomorowa) krótkim, grubościennym węzłem gumowym przez butelkę Wulfa, która zabezpiecza przed dostaniem się wody do pompy. Sączek zakładany na lejek powinien mieć średnicę trochę mniejszą od średnicy dna lejka, ale zakrywającą wszystkie otwory dna. W przypadku, gdy sączek jest większy, to na ścianach lejka tworzą się zagięcia, którymi płynie na sito lejka sączona mieszanina, powodując przedostawanie się osadu do przesączu. Rozmiar lejka powinien być tak dobrany, aby osad wypełniał go przynajmniej w 1/3 pojemności. Ciecz powinna być wprowadzana na sączek w taki sposób, aby warstwa osadu była zawsze pokryta cieczą. W przeciwnym razie powstają w osadzie szczeliny zakłócające przebieg sączenia. Sączenie należy prowadzić przy niezbyt wysokiej próżni, gdyż silne ssanie wbija osad w pory bibuły i utrudnia sączenie.

Przygotowanie zawiesiny poprzez odważenie na wadze technicznej 100 g popiołu i dodanie 300 cm³ wody destylowanej. Uruchomić pompę próżniową i za pomocą zaworu wyregulować ciśnienie ($p = 0,1$ bar). Przygotowaną surówkę filtracyjną należy dokładnie wymieszać i przenieść na przygotowany filtr. Przeprowadzić filtrację mierząc czas napełniania się kolby filtratem (co 50 cm³). Po zakończeniu filtracji osad pozostawić na filtrze przez 2 min, w celu jego osuszenia. Zmierzyć suwmiarką grubość powstałego placka filtracyjnego w 3 punktach oraz jego średnicę. Usunąć nagromadzony na filtrze osad oraz przesącz z kolby, aby analogicznie przeprowadzać kolejne procesy filtracji dla następujących ciśnień 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 bara. Wyniki pomiarów przedstawić w tabeli.

Δp [Pa]	$V \cdot 10^{-6}$ [m ³]	τ [s]	Średnica sączka d [mm]	Wysokość osadu h [mm]
			$d_{sr} =$	$h_{sr} =$

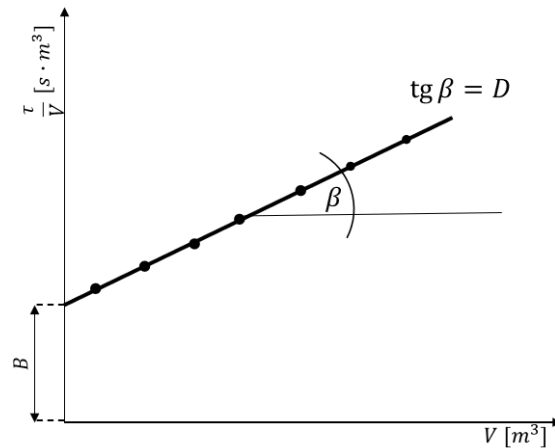
Opracowanie wyników

Mając, na podstawie pomiarów, określone tabelaryczne zależności czasu filtracji τ od objętości filtratu przy zadanych Δp , przelicza się zależności czasu filtracji od całkowitej objętości filtratu V posługując się poniższym równaniem:

$$V = V_c + V_{in}$$

gdzie: V – całkowita objętość filtratu [m^3], V_c – objętość filtratu w kolbie [m^3], V_{in} – objętość (ilość) filtratu pozostała w instalacji (przewodach i na filtrze) [m^3]

Otrzymane zależności $\tau = f(V)$ przelicza się na funkcję $\tau(V) = \varphi(V)$ i w układzie współrzędnych sporządza się wykresy zależności τ/V od V . Gdy ma miejsce filtracja plackowa, wykres powinien być linią prostą.



Rysunek 2. Graficzne wyznaczenie stałych filtracji B, D

Z wykresów zależności τ/V od V , które są graficznym obrazem równania filtracji plackowej izobarycznej, wyznaczamy wartości stałych filtracji D i B:

- wartość stałej D wyznaczono jako równą wartości tangensa kąta β nachylenia prostej do osi V
- wartość stałej B wyznaczono jako równą wartości funkcji $\frac{\tau}{V}$ dla wartości $V=0$

Mając wartości stałych D i B obliczamy wartości średniego oporu właściwego osadu r_0 i oporu przegrody filtracyjnej r_{pf} .

$$r_0 = \frac{2A^2 \cdot \Delta p \cdot D}{\eta \cdot \bar{C}_0}$$

$$r_{pf} = \frac{A \cdot \Delta p \cdot B}{\eta}$$

3. Sprawozdanie

- schemat i krótki opis instalacji badawczej
- opis metodyki pomiarów
- tabelę pomiarów i wyników
- pełny przykład obliczeń dla jednej serii pomiarów
- wykresy $\frac{\tau}{V} = f(V)$; $r_0 = f(\Delta p)$; $r_{pf} = f(\Delta p)$

- omówienie wyników
- wnioski

Δp [Pa]	$V \cdot 10^6$ [m ³]	τ [s]	$h_{os} \cdot 10^3$ [m]	$\frac{\tau}{V} \cdot 10^{-4}$ [s · m ⁻³]	r_o [m ⁻²]	r_{pf} [m ⁻¹]