

## **Ćwiczenie 11:**

### **BADANIE PROCESU ROZDZIAŁU ZAWIESINY METODĄ WIROWANIA**

#### **1. CEL ĆWICZENIA**

Celem ćwiczenia jest praktyczne zapoznanie się z przebiegiem procesu odwirowywania zawiesiny w wirówce filtracyjnej, a także eksperymentalne określenie zmian wilgotności placka filtracyjnego w trakcie trwania procesu.

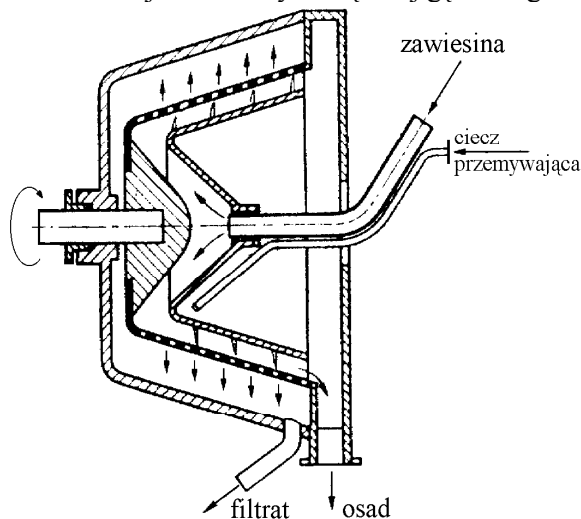
#### **2. WIADOMOŚCI WPROWADZAJĄCE**

Intensyfikację sedymentacji naturalnej czy też filtracji można osiągnąć prowadząc te procesy w polu siły odśrodkowej. Stosowane w praktyce, zdecydowanie większe od ziemskiego, wartości przyśpieszenia odśrodkowego, zapewniają zwielokrotnienie siły napędowej procesu rozdziału, a tym samym skrócenie czasu jego trwania.

Do oddzielania cząstek ciała stałego od cieczy, a także jednej cieczy od drugiej, wykorzystywane są urządzenia zwane wirówkami. Zasadniczą częścią wirówki jest bęben obracający się wokół pionowej lub poziomej osi. Przykład konstrukcji takiego urządzenia przedstawia schemat na rys.1.

Do rozdzielania zawiesin ciała stałego w cieczy stosowane są wirówki filtracyjne. Bęben takiej wirówki ma na pobocznicy otwory, bądź też sama pobocznica wykonana jest z siatki o dużej wytrzymałości mechanicznej. Wewnętrzna powierzchnia bębna wyłożona jest tkaniną filtracyjną lub też rolę przegrody filtracyjnej pełni sama siatka o bardzo drobnych oczkach. W ten sposób zapewnia się swobodny przepływ filtratu przez ścianę bębna. Zatrzymaną na przegrodzie filtracyjnej warstwę osadu usuwa się, (w wirówkach pracujących w sposób ciągły), za pomocą odpowiednio ukształtowanych i usytuowanych skrobaków. W celu uzyskania osadu o dużym stopniu czystości, niekiedy do wnętrza wirówki doprowadzana jest ciecz przemywająca - podawana naprzemiennie z zawiesiną.

Drugi rodzaj wirówek to wirówki sedymentacyjne, stosowane do rozdziału ciekłych mieszanin. Bęben wirówki sedymentacyjnej nie ma otworów na pobocznicę. Składnik ciekłej mieszaniny o większej gęstości gromadzi się na



Rys. 1. Schemat wirówki filtracyjnej z poziomym wałem napędowym

ścianie bębna, a wyprowadzenie każdej z rozdzielonych w urządzeniu cieczy odbywa się za pomocą odpowiednio usytuowanych przelewów.

Podczas sedymentacji grawitacyjnej, czynnikiem powodującym proces opadania cząstek jest przyspieszenie ziemskie. Podczas sedymentacji cząstek w wirówkach, czynnikiem decydującym o jakości rozdzielania jest przyspieszenie odśrodkowe

$$a = \omega^2 r, \quad (1)$$

gdzie:  $\omega = 2\pi n$  - prędkość kątowna bębna, 1/s;  
 $r$  - odległość cząstki od osi obrotu bębna, m;  
 $n$  - liczba obrotów bębna w jednostce czasu, 1/s.

Pod wpływem przyspieszenia odśrodkowego, na cząstkę działa siła odśrodkowa

$$N_a = m \omega^2 r. \quad (2)$$

Stosunek siły odśrodkowej do siły ciężenia

$$\Omega = \frac{N_a}{N_g} = \frac{m \omega^2 r}{m g} = \frac{\omega^2 r}{g}, \quad (3)$$

nazywany jest współczynnikiem rozdziału i stanowi wielkość charakterystyczną dla danej wirówki. I tak:

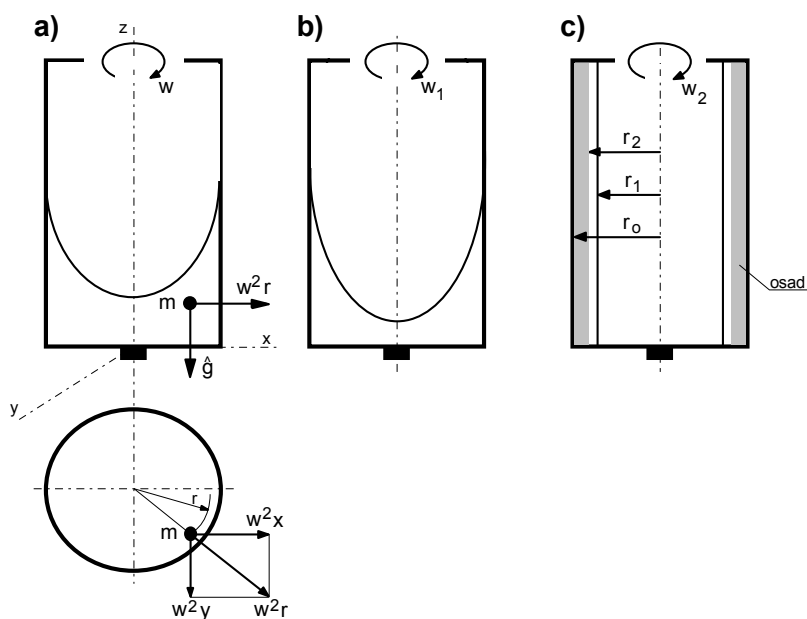
- dla wirówek normalnych  $\Omega = 500 \div 4000$ ,
- dla ultrawirówek  $\Omega = 4000 \div 50000$ .

Z równania (3) wynika, że zwiększenie skuteczności wirowania można osiągnąć bardziej przez stosowanie większej prędkości obrotowej bębna niż przez zwiększenie jego promienia.

Z bilansu sił działających na zawieszinę w trakcie jej wirowania wynika, że powierzchnia cieczy przyjmuje kształt paraboloidy obrotowej (rys. 2a), b)) o równaniu

$$\frac{\omega^2 x^2}{2} + \frac{\omega^2 y^2}{2} + g z = \text{const} \quad (4)$$

w którym:  $x, y, z$  - współrzędne punktu na powierzchni cieczy w prostokątnym układzie odniesienia, m;  
 $\omega$  - prędkość kątowna zawiesziny (zwykle równa prędkości kątowej bębna wirówki), 1/s;  
 $g$  - przyspieszenie ziemskie, m/s<sup>2</sup>.



Rys. 2. Zmiana kształtu powierzchni cieczy podczas wirowania  $\omega < \omega_1 < \omega_2$

Przy obrotach typowych dla wirówek, wierzchołek paraboloidy jest tak bardzo oddalony od przekroju dna wirówki, że powierzchnię cieczy można traktować jako powierzchnię walca o promieniu  $r_1$ , rys. 2 c).

Praca wirówki filtracyjnej składa się z trzech etapów:

- Etap 1. Doprowadzenie zawiesiny i wytworzenie na ścianie bębna placka filtracyjnego.
- Etap 2. Rozdział zawiesiny znajdującej się ponad plackiem przy braku zasilania wirówki surówką.
- Etap 3. Odwirowanie cieczy z placka filtracyjnego oraz usunięcie osadu z bębna.

Filtracja zawiesiny przez warstwę osadu zachodzi w wirówce pod wpływem różnicy ciśnienia

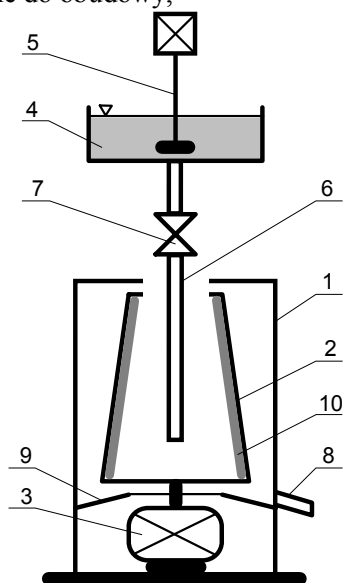
$$\Delta P = \frac{\omega^2 \rho_z}{2} (r_0^2 - r_1^2), \quad (5)$$

gdzie:  $\omega$  - prędkość kątowa bębna, 1/s;  
 $\rho_z$  - gęstość zawiesiny, kg/m<sup>3</sup>;  
 $r_0$  i  $r_1$  - promienie wg oznaczeń na rys. 2 c), m.

Z równania (5) wynika, że „siła napędowa” procesu wirowania (przy stałej prędkości obrotowej) zależy od ilości zawiesiny w bębnie ( $r_1$ ) oraz koncentracji ciała stałego ( $\rho_z$ ). Oba te parametry zmieniają się w sposób ciągły w trakcie cyklu pracy wirówki. Analityczny opis przebiegu wirowania, tj. szybkości filtracji oraz wymaganego czasu jej trwania dla uzyskania placka filtracyjnego o określonej grubości, jest możliwy jedynie dla przypadków w których: otrzymywany osad jest nieściśliwy, przepływ cieczy przez placek ma charakter laminarny, a opór przegrody filtracyjnej można pominąć. Gdy nie można poczynić powyższych założeń, koniecznym staje się eksperymentalne określenie warunków prowadzenia procesu. W sposób eksperymentalny określa się również wilgotność osadu w zależności od czasu wirowania. Jak wynika z przebiegu badań w tym zakresie, największe zmniejszenie wilgotności placka obserwuje się w początkowej fazie trzeciego etapu wirowania. Wraz z dalszym upływem czasu trwania procesu, wilgotność osadu maleje coraz wolniej, zbliżając się asymptotycznie do minimalnej możliwej do uzyskania w danych warunkach zawartości wilgoci w placku filtracyjnym. Należy jednak pamiętać, że długotrwałe wirowanie pociąga za sobą zwiększenie kosztów prowadzenia procesu ze względu na zużywaną energię. Uzyskanie zatem osadu o małej wilgotności może okazać się zbyt kosztowne.

### 3. OPIS STANOWISKA LABORATORYJNEGO

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 3. Głównym jego elementem jest typowa wirówka bębnowa stosowana w gospodarstwie domowym do odwirowywania bielizny. Stożkowy bęben wirówki (2) zmodyfikowano poprzez nawiercenie w jego pobocznicach otworów oraz wyłożenie jego wnętrza stalową siatką drenażową i bawełnianą tkaniną filtracyjną. Bęben napędzany jest, zamocowanym elastycznie do obudowy,



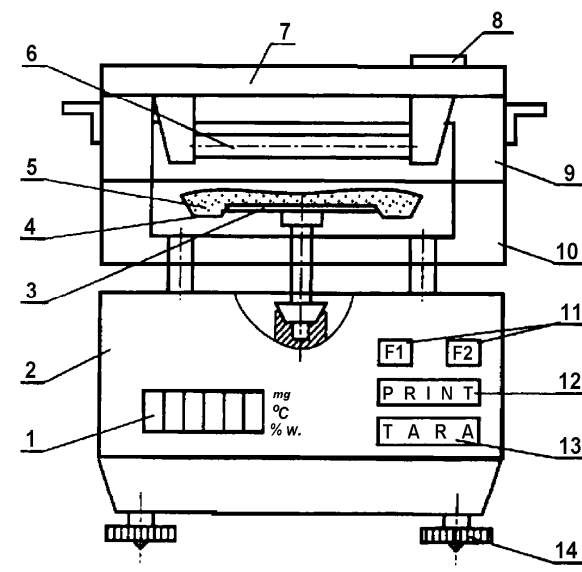
Rys. 3. Schemat stanowiska do badania procesu odwirowywania zawiesiny

1 - obudowa, 2 - bęben wyłożony tkaniną filtracyjną, 3 - silnik elektryczny, 4 - zbiornik zawiesiny, 5 - mieszadło, 6 - rura spustowa, 7 - zawór odcinający, 8 - otwór wypływowy filtratu, 9 - koryto zbiorcze filtratu, 10 - plasek filtracyjny

silnikiem elektrycznym (3) o prędkości obrotowej 1480 obr/min. Współczynnik rozdziału liczony dla średniej średnicy bębna 240,5 mm wynosi w tym przypadku 589. Do wewnętrznej powierzchni obudowy przymocowane jest koryto zbiorcze filtratu (9), odpływającego z wirówki otworem wypływowym (8). Nad wirówką znajduje się zbiornik (4) z mieszadłem (5) służący do wytwarzania zawiesiny kredy w wodzie. Zawiesina dopływa do wnętrza bębna rurą spustową (6) na której zamontowano zawór odcinający (7). Konstrukcja rury spustowej umożliwia jej demontaż, co ułatwia pobieranie próbek osadu z wnętrza wirującego bębna.

Do pomiaru wilgotności pobranych próbek, wykorzystywana jest w opisywanym ćwiczeniu wagosuszarka, rys. 4.

Jest to urządzenie składające się z ogrzewanej radiacyjnie komory suszarniczej, zamontowanej na elektronicznej wadze analitycznej. Maksymalna masa próbki poddawanej suszeniu wynosi 30 g, a temperaturę suszenia można regulować w zakresie  $(50 \div 140)$  °C. W trakcie pracy wagosuszarki, na jej wyświetlaczu cyfrowym podawany jest procentowy ubytek masy materiału suszonego. Znajomość końcowego ubytku masy próbki (po jej wysuszeniu) oraz jej masy początkowej (przed suszeniem), pozwala na określenie masy



Rys. 4. Schemat budowy wagosuszarki WS 30

1 - wyświetlacz cyfrowy, 2 - waga WPE 300, 3 - szalka wagi, 4 - komora suszenia, 5 - materiał suszony, 6 - promiennik ciepła, 7 - pokrywa z otworem wentylacyjnym, 8 - wyłącznik zasilania, 9 - obudowa uchylna, 10 - obudowa stała, 11 - przyciski funkcyjne, 12 - przycisk wydruku, 13 - przycisk tarowania, 14 - pokrętła poziomujące

wody usuniętej z osadu, zgodnie z równaniem

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{os,p}} \left( 1 - \frac{\% \text{ mas.}}{100} \right), \quad (6)$$

w którym:  $m_{\text{H}_2\text{O}}$  - masa wody usuniętej z próbki osadu, kg;  
 $m_{\text{os,p}}$  - masa początkowa próbki osadu, kg;

% mas. - procentowy ubytek masy próbki osadu (wskazany przez wagosuszarke).

Znajomość początkowej masy próbki osadu umieszczonej w komorze wagosuszarke oraz masy usuniętej z próbki wilgoci, pozwala na określenie wilgotności osadu przed suszeniem

$$Z_{os} = \frac{m_{H_2O}}{m_{os,p} - m_{H_2O}}, \quad (7)$$

gdzie:  $Z_{os}$  - bezwzględna wilgotność osadu, kg  $H_2O$ /kg osadu suchego.

#### 4. METODYKA PROWADZENIA POMIARÓW

W celu wykonania pomiarów skuteczności usuwania wilgoci z warstwy osadu w trakcie wirowania zawiesiny należy:

a) sporządzić zawiesinę kredy w wodzie o stężeniu 0,1 kg kredy/kg zawiesiny

W tym celu:

- zbiornik zawiesiny napęlnić wodą do znaku 1 na jego wewnętrznej powierzchni;
- wsypać do zbiornika 200 g kredy;
- za pomocą mieszadła rozprowadzić kredę w wodzie.

- b) włożyć do bębna przemyty worek filtracyjny (tkanina powinna dobrze przylegać do pobocznic bębna);
- c) włączyć na kilkanaście sekund wirówkę; co pozwoli na ułożenie się worka w bębnie;
- d) po ponownym uruchomieniu wirówki spuścić do bębna 1 kg zawiesiny (poziom zawiesiny w zbiorniku powinien osiągnąć znak 2);
- e) wirować zawiesinę do chwili uzyskania całej ilości filtratu, ok. 2 min;
- f) spuścić ze zbiornika resztę (1 kg) zawiesiny, włączając jednocześnie pomiar czasu. Zdemontować rurę spustową.
- g) przy wirującym bębnie (zachowując szczególną ostrożność), ręcznym skrobakiem będącym na wyposażeniu stanowiska pomiarowego, pobrać próbki osadu po 15, 30, 60, 120, 240 i 480 sekundach trwania procesu;
- h) po zakończeniu pobierania próbek, wyłączyć wirówkę;
- i) wyjąć z bębna oraz przemyć worek filtracyjny;
- j) za pomocą wagosuszarke określić zawartość wody w pobranych próbkach i na tej podstawie wyznaczyć ich wilgotność;
- j) otrzymane wyniki pomiarów zanotować w tabeli.

<b>Badanie procesu odwirowywania zawiesiny</b>
--

Rodzaj zawiesiny: kreda w wodzie			
Stężenie zawiesiny: 0,1 kg kredy/ kg zawiesiny			
Prędkość obrotowa bębna: 1480 obr/min			
czas trwania odwirowywania	temperatura suszenia	masa próbki poddanej suszeniu	ubytek masy próbki wysuszonej
s	°C	g	%
15			
30			
60			
120			
240			
480			

### Opis obsługi wagosuszarki.

- załączyć urządzenie wyłącznikiem sieciowym - na wyświetlaczu pojawi się liczba <15.00> malejąca do zera, oznaczająca czas stabilizacji termicznej wagi;
- po odliczeniu czasu (gdy na wyświetlaczu pojawi się <dE1>), wcisnąć przycisk wyboru urządzenia współpracującego (F1 - drukarka, F2 - komputer) i zatwierdzić wybór klawiszem F1;
- po ukazaniu się na wyświetlaczu <LOAd> wcisnąć przycisk TARE;
- wyjąć z komory suszarniczej szalkę wagi, umieścić na niej badaną próbkę i ponownie umieścić w komorze suszarniczej - na wyświetlaczu pokaże się masa netto próbki;
- wcisnąć przycisk F1 w celu ustalenia temperatury suszenia, na wyświetlaczu pokaże się <oC50> - wartość temperatury można zmieniać w zakresie (50÷140) °C wciskając F2;
- wciśnięcie F1 zatwierdza ostatni wybór temperatury oraz umożliwia ustawienie czasu próbkowania, na wyświetlaczu pojawi się <SEC5.0> - wciskając F2 można ustawić czas próbkowania co 5, 10, 15 oraz 20 sekund;
- wciśnięcie F1 zatwierdza ostatni wybór czasu próbkowania, na wyświetlaczu pojawi się napis <rEADy>, wagosuszarka jest gotowa do pracy;
- uruchomić wagosuszarkę wciskając F1 (na panelu wagosuszarki). Po zakończeniu pomiaru urządzenie wyłącza się samoczynnie.

## 5. ZAKRES OPRACOWANIA WYNIKÓW POMIARÓW

- Sporządzić wykres zmian wilgotności osadu w funkcji czasu trwania procesu wirowania.
- Podać wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia.



## **6. LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA**

- [1] KOCH R., NOWORYTA A.: Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej, WNT W-wa 1992
- [2] SERWIŃSKI M.: Zasady inżynierii chemicznej, WNT W-wa 1976

## **7. TEMATYKA ZAGADNIENÍ KONTROLNYCH**

1. Metody rozdziału zawiesin.
2. Podział wirówek i zasady ich działania.
3. Rozkład sił działających na zawiesinę w trakcie jej wirowania.
4. Charakterystyka zawiesin ciała stałego w cieczy.
5. Właściwości osadów filtracyjnych.