

## BADANIE MIESZALNIKA CIECZY

### 1. Wprowadzenie

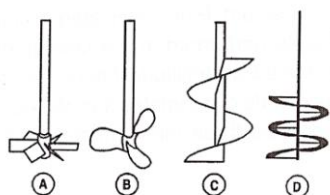
Proces mieszania polega na wzajemnym przemieszczaniu się różnych cząstek środowiska w celu uzyskania lub utrzymania jego jednorodności (wyrównanie się stężeń i temperatury). Mieszanie może być samorzutne, np. poprzez wyrównywanie stężenia wskutek dyfuzji składników, lub wymuszone wskutek doprowadzenia energii z zewnątrz.

Celem procesu mieszania jest:

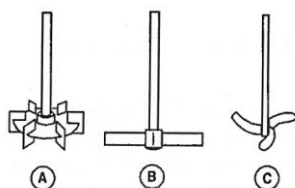
- otrzymanie jednorodnych roztworów, emulsji i zawiesin;
- intensyfikacja procesów wymiany ciepła;
- intensyfikacja procesów wymiany masy.

Najważniejsze sposoby prowadzenia mieszania w środowisku ciekłym to:

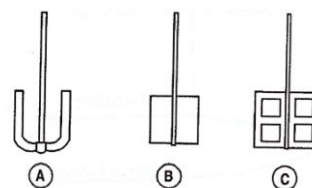
- mieszanie mechaniczne przy użyciu mieszadeł o różnej konstrukcji. Najczęściej stosowane typy mieszadeł mechanicznych to mieszadła łopatkowe, śmigłowe i turbinowe.



Rys.1. Mieszadła osiowe  
A z pochylonymi łopatkami  
B propellerowe  
C ślimakowe  
D wstęgowe



Rys.2. Mieszadła promieniowe  
A dyskowe  
B łopatkowe  
C wirnikowe



Rys.3. Mieszadła ścinające:  
A kotwicowe  
B łopatkowe  
C kratowe

- mieszanie pneumatyczne za pomocą przepływających przez ciecz pęcherzyków gazu.
- mieszanie przepływowe, poprzez wielokrotne przetłaczanie strumieni cieczy przez aparat w obiegu zamkniętym.

W procesie mieszania energia jest zużywana na wprowadzenie w ruch cieczy w mieszalniku oraz na podtrzymanie tego ruchu. Moc mieszania jest to zapotrzebowanie mocy, przy ustalonej pracy mieszadła, wynikające jedynie z konieczności utrzymania ruchu cieczy. O mocy mieszania mówimy zawsze w odniesieniu do określonego mieszalnika, czyli układu mieszadło-zbiornik. Dla danego mieszadła moc mieszania zmieni się wraz ze zmianą np. kształtu czy objętości zbiornika, w którym to mieszadło umieścimy.

Na moc mieszania mają wpływ:

- parametry fizyczne układu: gęstość ( $\rho$ ), lepkość ( $\eta$ );
- parametry kinetyczne i dynamiczne układu: prędkość obrotowa mieszadła ( $n$ ), przyspieszenie ziemskie ( $g$ );

- parametry geometryczne mieszadła i zbiornika: średnica mieszadła ( $d$ ), średnica zbiornika ( $D$ ), wysokość słupa cieczy w zbiorniku ( $H$ ), odległość mieszadła od dna zbiornika ( $y$ ), długość/wysokość przegród ( $L$ ), szerokość przegród ( $a$ ), szerokość łopatek ( $b$ ).

W opisie matematycznym procesu mieszania stosuje się trzy liczby bezwymiarowe:

- liczba Eulera (zmodyfikowana liczba Newtona) – tzw. liczba mocy mieszania ( $L_M$ )

$$L_M = Ne = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5}$$

- liczba Reynoldsa

$$Re = \frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\eta}$$

- liczba Frouda

$$Fr = \frac{n^2 \cdot d}{g}$$

gdzie:

$N$  – moc mieszania [W]

$\rho$  – gęstość [ $\text{kg/m}^3$ ]

$n$  – prędkość obrotowa mieszadła [1/s]

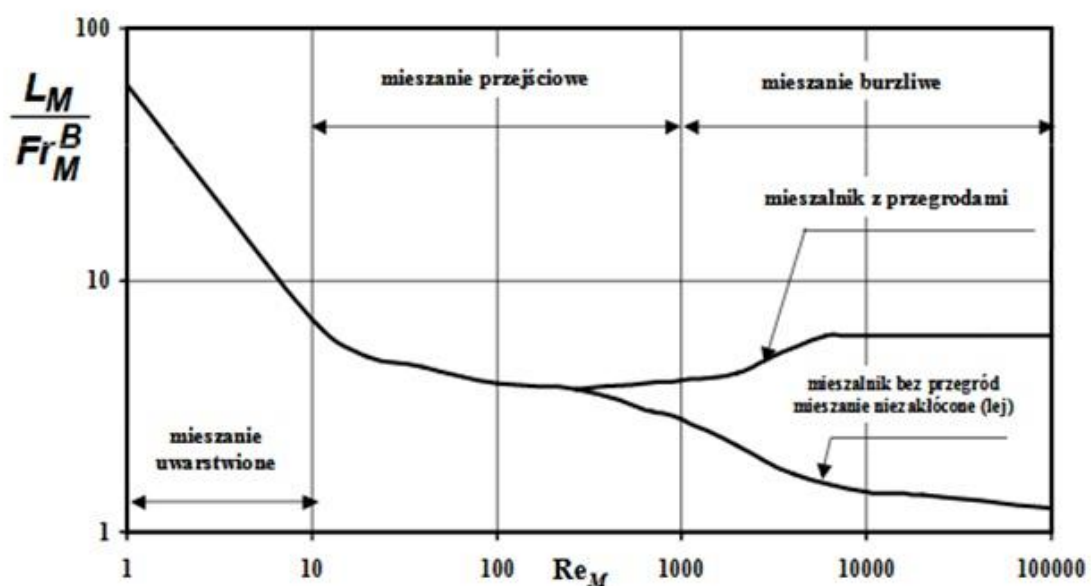
$d$  – średnica mieszadła [m]

$u$  – prędkość obwodowa mieszadła,  $u = \pi dn$  [m/s]

$\eta$  – lepkość [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]

$g$  – przyspieszenie ziemskie [ $\text{m/s}^2$ ].

Moc mieszania najczęściej wyznaczana jest na podstawie wykresów funkcji  $\frac{L_M}{Fr^B} = f(Re)$ , uzyskiwanych na podstawie badań doświadczalnych (rys. 4)



Rys. 4. Krzywa mocy mieszania

## 2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest:

- a) zapoznanie się z procesem mieszania przy użyciu mieszadeł o różnej konstrukcji;
- b) określenie jakości mieszania i czasu trwania procesu mieszania przy wykorzystaniu badań rozpuszczania soli w wodzie.

## 3. Metodyka pomiarów

Badania wykonuje się dla wybranego typu mieszadła, zmiennej prędkości obrotowej mieszadła, zbiornika zaopatrzonego w przegrody lub bez przegród, cieczy o określonych właściwościach fizycznych. Ćwiczenie ma na celu:

- a) wizualizację przepływu cieczy podczas jej mieszania,
- b) wyznaczenie krzywej zapotrzebowania mocy,
- c) określenie jakości mieszania i czasu trwania procesu mieszania przy wykorzystaniu badań rozpuszczania soli w wodzie.

### 3.1. Wizualizacja przepływu podczas mieszania cieczy

#### 3.1.1 Przygotowanie eksperymentu

- włączyć zasilanie elektryczne stanowiska
- usunąć węzownice ze zbiornika
- usunąć ze zbiornika przegrody
- napęlnić zbiornik wodą
- umieścić 15 kulek wykonanych z tworzywa sztucznego o średnicy  $d=10$  mm i gęstości  $1,13 \text{ kg/dm}^3$
- przyłączyć odpowiednie mieszadło do napędu elektrycznego
- odpowiednio wypionować mieszadło wewnątrz zbiornika

#### 3.1.2 Przebieg eksperymentu

- ustawić wybrane obroty mieszadła
- włączyć napęd mieszadła
- obserwować ruch kulek w mieszalniku dla zmiennych obrotów mieszadła
- wyłączyć silnik mieszadła i zasilanie elektryczne stanowiska
- umieścić w zbiorniku przegrody i powtórzyć czynności jak powyżej

#### 3.1.3 Ocena eksperymentu

Opisać jakościowo obserwacje dokonane podczas eksperymentu, szczególnie zwracając uwagę na porównanie wyników, uzyskanych dla różnej zabudowy mieszalnika

#### 3.1.4 Dodatkowe eksperymenty

Wykonanie badań z:

- zmienną liczbą przegród
- mieszadłem promieniowym
- mieszadłem osiowym
- mieszadłem pochylonym w stosunku do osi zbiornika

### 3.2. Wyznaczanie krzywej zapotrzebowania mocy

Eksperyment prowadzony jest z użyciem mieszadła dyskowego umieszczonego centrycznie w zbiorniku bez przegród. Ustala się zależność poboru mocy od różnych parametrów prowadzenia procesu mieszania. Wyniki badań przedstawia się w postaci wykresu – zależności liczby Newtona ( $Ne$ ) od liczby Reynoldsa ( $Re$ ). Uzyskana zależność nazywana jest krzywą mocy.

#### 3.2.1 Przygotowanie eksperymentu:

- przyłączyć zasilanie elektryczne
- usunąć węzownice ze zbiornika
- usunąć ze zbiornika przegrody
- przymocować mieszadło do napędu i umieścić je centrycznie w zbiorniku
- napęlić zbiornik wodą do wysokości tuż pod dolną krawędzią mieszadła

#### 3.2.2 Przebieg eksperymentu:

- włączyć mieszadło
- zerowanie wskaźnika momentu siły
- ustawić szybkość obrotów
- wcisnąć przycisk (12) na czas trwania około 1 sekundy aby wyzerować wskazanie momentu siły
- pomiar momentu siły przy obciążonym mieszadle
- umieścić mieszadło w cieczy w taki sposób aby było całkowite pokryte wodą
- zaznaczyć ustawienie wysokości zamocowania mieszadła na statywie
- ustawić obroty mieszadła
- odczekać do ustalenia się warunków pracy
- odczytać wartość momentu siły przy obciążonym mieszadle

Przed każdorazową zmianą obrotów mieszadła należy je wynurzyć z cieczy i przy zmienionych obrotach mieszadła wyzerować wskazanie momentu siły. Następnie powtórnie zanurzyć mieszadło w cieczy i wykonać pomiary momentu obrotowego przy obciążonym mieszadle.

Po zakończonych doświadczeniach odłączyć zasilanie mieszadła i zasilanie elektryczne stanowiska.

#### 3.2.3 Ocena eksperymentu

Dla wyznaczenia liczb bezwymiarowych  $Ne$  i  $Re$ , ustalamy moc mieszania za pomocą zależności

$$N = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M$$

gdzie:

$N$  – moc [W],  $n$  – obroty mieszadła [ $s^{-1}$ ],  $M$  – moment siły [ $N \cdot m$ ]

Dla uzyskanych danych przedstawić na wykresie zależność  $Ne=f(Re)$

### 3.3. Określenie jakości mieszania i czasu trwania procesu mieszania przy wykorzystaniu badań rozpuszczania soli w wodzie

Eksperyment ma na celu określenie wpływu szybkości obrotowej mieszadła i czasu trwania mieszania na wyrównanie stężenia soli w całej objętości zbiornika. Jakość mieszania określa się przez pomiar przewodnictwa cieczy w zbiorniku w trakcie jej mieszania z solą.

#### 3.3.1 Przygotowanie eksperymentu

- włączyć zasilanie elektryczne do instalacji mieszania

- usunąć węzownice ze zbiornika
- usunąć ze zbiornika przegrody
- przymocować do napędu elektrycznego mieszadło propellerowe ( $d=70$  mm, 3 łopatki)
- umieścić mieszadło centrycznie w zbiorniku
- wlać do zbiornika 20 litrów wody
- umieścić czujnik konduktometryczny w wodzie
- ustawić obroty mieszadła na 200 obr./min.

### 3.3.2 Przebieg eksperymentu

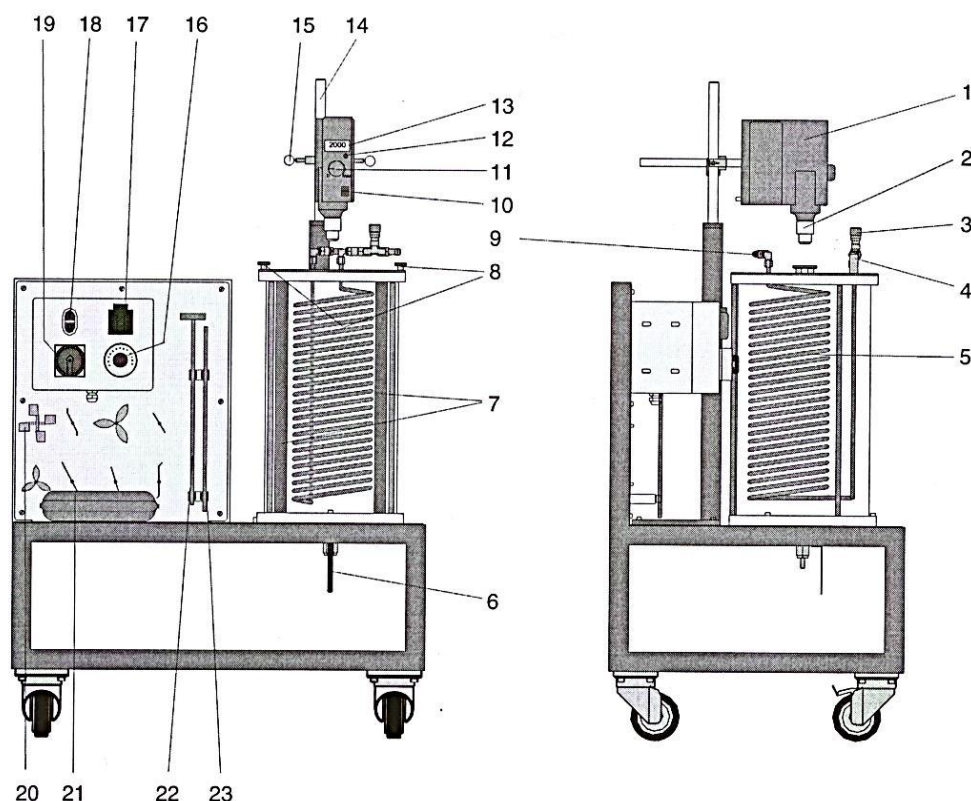
- umieścić w zbiorniku 70 g soli (NaCl)
- włączyć zasilanie elektryczne mieszadła
- mierzyć przewodnictwo roztworu w odstępach co 1 minutę

Doświadczenia powtórzyć dla nowych porcji wody i różnych obrotów mieszadła, a także dla zbiornika z umieszczonymi wewnątrz przegrodami oraz dla różnych temperatur procesu.

### 3.3.3 Ocena eksperymentu

Przedstawić na wykresie zależność przewodnictwa roztworu od czasu mieszania soli z wodą dla różnych prędkości obrotowej mieszadła. Na podstawie wykresu określić czas potrzebny do pełnego wymieszania zawartości zbiornika.

## 4. Aparatura pomiarowa



Rys. 5. Instalacja do badań procesu mieszania cieczy

- 1- silnik wraz z urządzeniem do kontroli pracy mieszadła
- 2- uchwyt do mocowania mieszadła

- 3- zawór odcinający
- 4- króciec zasilania węzownicy cieczą (dopływ cieczy do węzownicy)
- 5- węzownica
- 6- zawór spustowy
- 7- przegroda
- 8- śruby mocujące
- 9- króciec odpływu cieczy z węzownicy
- 10- włącznik napędu mieszadła
- 11- pokrętło do ustalania obrotów mieszadła
- 12- czujnik optyczny
- 13- ekran LCD
- 14- pręt do mocowania napędu mieszadła
- 15- śruba mocowania mieszadła
- 16- wyłącznik bezpieczeństwa
- 17- przyłączenie zasilania elektrycznego napędu mieszadła
- 18- włącznik instalacji napędu mieszadła
- 19- wyłącznik główny stanowiska
- 20- różne rodzaje końcówek mieszadła
- 21- konduktometr
- 22- mieszadło turbinowe
- 23- wał gwintowany dla różnych końcówek mieszadła

### **Dane techniczne instalacji badawczej**

Zbiornik:

$V = 20 \text{ dcm}^3$  (materiał- szkło borokrzemowe)

Napęd:

- obroty 50...2000 obr./min.

- pobór mocy 130 W

- maksymalny pobór mocy na wale 105 W

- maksymalny moment obrotowy na wale 60 Ncm

Pomiar przewodnictwa elektrycznego:

- zakres temperatury 0-85 °C

- zakres przewodnictwa elektrycznego 0-200 mS/cm