



**Politechnika Wroclawska**

**WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

**INSTRUKCJE DO ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH**

**STUDIA STACJONARNE I STOPNIA**

**STUDIA NIESTACJONARNE II STOPNIA**

## **OCZYSZCZANIE WODY**

1. – Koagulacja objętościowa .....	str. 2–5
2. – Odżelazianie i odmanganianie wody .....	5–6
3. – Sedymentacja zawiesin ziarnistych .....	7
4. – Filtracja pospieszna .....	8
5. – Koagulacja powierzchniowa .....	9
6. – Dekarbonizacja wody .....	11
7. – Utlenianie domieszek wody.....	12
8. – Usuwanie naturalnych substancji organicznych z wody w procesie wymiany jonowej .....	13
Nomogram równowagi węglanowo-wapniowej .....	16

Opracowanie: dr hab. inż. Małgorzata KABSCH-KORBUTOWICZ  
dr inż. Andrzej M. DZIUBEK  
dr inż. Marek MOŁCZAN

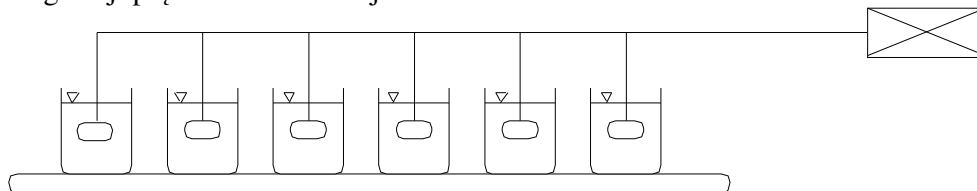
# 1. KOAGULACJA OBJĘTOŚCIOWA

## Cel ćwiczenia

- Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przebiegiem koagulacji objętościowej oraz:
- określenie wpływu wielkości dawki koagulantu na zmianę wybranych parametrów składu fizyczno-chemicznego oczyszczanej wody,
  - określenie optymalnej dawki koagulantu potrzebnej do usunięcia z wody koloidów i drobnodyspergowanych zawiesin,
  - określenie dawki wapna niezbędnej do związania agresywnego dwutlenku węgla obecnego w wodzie po procesie koagulacji,
  - porównanie właściwości fizyczno-chemicznych wody poddawanej koagulacji z wiązaniem CO<sub>2</sub>.

## Stanowisko badawcze

Testy naczyniowe procesu koagulacji prowadzone są na sześciostanowiskowym koagulatorze, którego schemat przedstawiono na rysunku 1. Urządzenie wyposażone jest w system regulacji prędkości obrotowej mieszadeł.



Rys.1. Schemat stanowiska laboratoryjnego do badania procesu koagulacji objętościowej

## 1.1. Wyznaczenie optymalnej dawki koagulantu

### Sposób wykonania ćwiczenia

Wykonać analizę wody surowej oznaczając: intensywność barwy, mętność, pH, zasadowość ogólną i utlenialność.

Na podstawie oznaczonej w wodzie surowej intensywności barwy i mętności obliczyć teoretyczną dawkę siarczanu glinu. W oparciu o uzyskane wartości ustalić z prowadzącym 6 różnych dawek koagulantu ( $D_{koag}$ ), którymi prowadzony będzie proces.

Do 6 zlewek wlać, po uprzednim zamieszaniu, 1 dm<sup>3</sup> badanej wody. Zlewki ustawić na koagulatorze, opuścić łopatkę mieszadeł i włączyć mieszanie. Ustalić obroty mieszadeł na ok.150 obr/min (szybkie mieszanie). Do zlewek dawkować pipetą roztwór koagulantu w ilościach odpowiadających ustalonym dawkom. Szybkie mieszanie prowadzić przez 2 min, następnie zmniejszyć obroty mieszadła do ok. 20 obr/min (wolne mieszanie) i prowadzić proces przez 20 min. Następnie wyłączyć mieszadła, zestawić zlewki z koagulatora i poddać próbki wody 1 godz. sedymentacji.

W wodzie oczyszczonej (po koagulacji i sedymentacji) oznaczyć: pH, zasadowość, barwę, utlenialność oraz mętność.

W przypadku ograniczonego czasu realizacji ćwiczenia, po zakończeniu koagulacji z każdej zlewki zlewarować 300 cm<sup>3</sup> i przesączyć. W przesączu oznaczyć pH, barwę, zasadowość i utlenialność (woda sączona przez odpowiednie sączki). Pozostałą część wody poddać 30 min. sedymentacji. Sklarowaną wodę zlewarować i oznaczyć jej mętność.

## Opracowanie wyników badań.

Wyniki analiz oraz obliczone stopnie zmniejszenia mętności, barwy i utlenialności oraz zmiany pH i zasadowości ogólnej zestawień tabelarycznie oraz przedstawić na wykresach. Przeprowadzić dyskusję uzyskanych wyników badań. W oparciu o uzyskany stopień obniżenia intensywności barwy, mętności i utlenialności wyznaczyć optymalną dawkę koagulantu.

Stopnie zmniejszenia wartości analizowanych wskaźników zanieczyszczeń ( $\eta_x$ ) wyznaczyć ze

$$\text{wzoru } \eta_x, \% = \frac{x_p - x_k}{x_p} \cdot 100$$

gdzie  $x_p$  – wartość wskaźnika x wody surowej,  
 $x_k$  - wartość wskaźnika x wody oczyszczonej.

## 1.2. Wiązanie wapnem agresywnego dwutlenku węgla.

### Sposób wykonania ćwiczenia

Wykorzystując wyniki uzyskane podczas prowadzenia procesu koagulacji objętościowej, wyznaczyć optymalną dawkę koagulantu. Dla tej próbki, z nomogramu równowagi węglanowo-wapniowej, odczytać ilość dwutlenku węgla wolnego i przynależnego, a następnie obliczyć zawartość agresywnego  $\text{CO}_2$ . Jeżeli woda ma charakter korozyjny obliczyć, metodą kolejnych przybliżeń, dawkę wapna niezbędną do związania agresywnego dwutlenku węgla obecnego w wodzie po koagulacji.

### Przykład wykonania obliczeń:

Po procesie koagulacji woda ma następujące parametry:

Zasadowość ogólna = 2 val/m<sup>3</sup> = 100 g CaCO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>

pH = 7,0

Z nomogramu równowagi węglanowo-wapniowej odczytano:

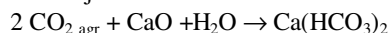
zawartość wolnego  $\text{CO}_2_w$  – 19 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>

zawartość przynależnego  $\text{CO}_2_p$  – 1,9 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

Zatem woda zawiera 17,1 g CO<sub>2\_agr</sub>/m<sup>3</sup> agresywnego CO<sub>2</sub>

Założmy, że zamierzamy usunąć z wody 15 g CO<sub>2\_agr</sub>/m<sup>3</sup>.

Z reakcji



wynika, że 1 mol CaO (56 g) reaguje z 2 molami CO<sub>2\_agr</sub> (88 g), zatem przy założeniu że wiążemy 15 g CO<sub>2\_agr</sub>/m<sup>3</sup> (CO<sub>2</sub> wiązany) niezbędną dawkę CaO (x) wyznaczamy z proporcji:

$$56 \text{ g CaO} \rightarrow 88 \text{ g CO}_2_{agr}$$

$$x \rightarrow 15 \text{ g CO}_2_{agr}$$

$$x = \frac{56 \cdot 15}{88} = 9,55 \text{ g CaO/m}^3 = 0,34 \text{ val/m}^3$$

Po dodaniu do wody wyznaczonej ilości wapna, nowa zasadowość wody (zas') wyniesie

$$\text{zas}' = 2 + 0,34 = 2,34 \text{ val/m}^3 = 117 \text{ g CaCO}_3/\text{m}^3.$$

Dla nowej zasadowości (zas') wody, odczytujemy z nomogramu równowagi węglanowo-wapniowej stężenie dwutlenku węgla przynależnego  $\text{CO}_2_p'$ , które wynosi 3,3 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

Następnie obliczamy zawartość agresywnego dwutlenku węgla (CO<sub>2\_agr</sub>') pozostałą po dodaniu wapna:

$$\text{CO}_2_{agr}' = \text{CO}_2_w - \text{CO}_2_{wiązany} - \text{CO}_2_p' = 19 - 15 - 3,3 = 0,7 \text{ g CO}_2/\text{m}^3$$

Pozostałe w wodzie stężenie agresywnego dwutlenku węgla = 0,7 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> jest mniejsze od 2 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, a zatem woda nie będzie już miała charakteru korozyjnego.

W przypadku jeżeli nowa zawartość agresywnego dwutlenku węgla jest większa od 2 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, konieczne jest przeprowadzenie ponownych obliczeń przy założeniu innej ilości wiązanego CO<sub>2\_agr</sub>.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń ustalić z prowadzącym 3 dawki wapna jakie będą użyte do wiązania agresywnego dwutlenku węgla.

Ze względu na to, iż podczas wykonywania ćwiczenia wapno dawkowane będzie do wody w postaci wody wapiennej należy wyznaczyć jej miano, czyli zawartość CaO w roztworze.

Miano wody wapiennej obliczamy ze wzoru:

$$\text{miano wody wapiennej} = 28 (2F - M), \text{ g CaO/m}^3$$

gdzie F i M oznaczają odpowiednio zasadowość wobec fenoloftaleiny i zasadowość ogólną wody wapiennej.

W celu porównania właściwości fizyczno-chemicznych wody uzyskanej po koagulacji bez i z wiązaniem agresywnego dwutlenku węgla należy przeprowadzić testy naczyniowe koagulacji w których użyta zostanie optymalna dawka koagulantu oraz dawkowane będą różne ilości wapna. W tym celu do 4 zlewek wlać, po uprzednim wymieszaniu, 1 dm<sup>3</sup> badanej wody. Zlewki ustawić na koagulatorze, opuścić łopatki mieszadeł i włączyć mieszanie. Ustalić obroty mieszadła na ok.150 obr/min. (szybkie mieszanie). Do zlewek dawkować pipetą roztwór koagulantu w ilości odpowiadającej wyznaczonej dawce optymalnej. Szybkie mieszanie prowadzić przez 2 min, następnie zmniejszyć obroty mieszadła do ok. 20 obr/min (wolne mieszanie) i prowadzić proces flokulacji przez 20 min.. Następnie wyłączyć mieszadła, zestawić zlewki z koagulatora, poddać próbki wody 15 min sedymentacji, poczym przesączyć po 0,8 dm<sup>3</sup> każdej próbki wody. Uzyskane filtry wlać do zlewek. Zlewki ustawić ponownie na koagulatorze, opuścić łopatki mieszadeł i włączyć mieszanie. Ustalić obroty mieszadła na ok.150 obr/min. Do 3 zlewek dawkować wodę wapienną w ilościach odpowiadających ustalonym dawkom wapna (do wody w zlewce nr 4 nie dawkujemy wapna). Zawartość zlewek mieszać przez 5 min., następnie wyłączyć mieszadło i zestawić zlewki z koagulatora.

We wszystkich próbkach wody oznaczyć: pH, zasadowość, barwę, utlenialność, mętność oraz wyznaczyć zawartość wolnego i agresywnego dwutlenku węgla.

#### Opracowanie wyników badań.

Wyniki analiz oraz obliczone stopnie zmniejszenia mętności, barwy i utlenialności oraz zmiany pH, zasadowości ogólnej i stężenia agresywnego dwutlenku węgla stawić tabelarycznie oraz przedstawić na wykresach.

Na podstawie uzyskanych wyników przedyskutować jak koagulacja z następującym po niej wiązaniem agresywnego dwutlenku węgla wpływa na zmianę właściwości fizyczno-chemicznych oczyszczanej wody.

#### LITERATURA

1. A.L.Kowal, M.Świdarska-Bróz; Oczyszczanie wody, Wyd. PWN, Warszawa 1996
2. B.G.Gomółkowie, Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody, Oficyna Wyd.PWr., Wrocław, 1996
3. A.L.Kowal, J.Maćkiewicz, M.Świdarska-Bróz, Podstawy projektowe systemów oczyszczania wód, Oficyna Wyd.PWr., Wrocław, 1996
4. A.L.Kowal, M.Szoński, Podstawy doświadczalne systemów oczyszczania wód, Wyd. PWr., Wrocław, 1977
5. Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne, pod red. J.Nawrockiego i S. Biłozora, Wyd.PWN, Warszawa, 2000
6. M.Świdarska-Bróz, Mikrozanieczyszczenia w środowisku wodnym, Wyd. PWr., Wrocław, 1993
7. Odnowa wody. Podstawy teoretyczne procesów, pod red.A.L.Kowala, Oficyna Wyd. PWr., Wrocław, 1996

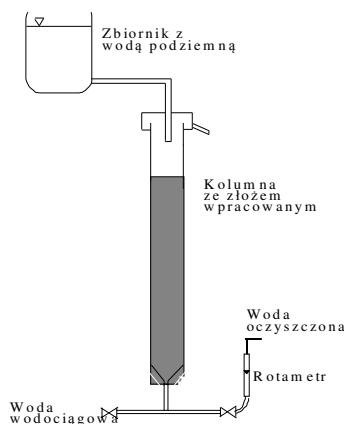
## ODŻELAZIANIE I ODMANGANIANIE

### Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z procesem usuwania z wody żelaza i manganu w procesie filtracji przez złożę wpracowane oraz określenie wpływu prędkości filtracji na skuteczność procesu.

### Stanowisko badawcze

Przebieg procesu usuwania żelaza i manganu z wody analizowany jest na stanowisku laboratoryjnym, którego schemat przedstawiono na rys.2. Głównym elementem układu jest filtr wypełniony złożem katalitycznym, którego ziarna pokryte są dwutlenkiem manganu.



Rys.2. Stanowisko laboratoryjne do badania procesu odżelaziania i odmanganiania wody.

### Sposób wykonania ćwiczenia

Wykonać analizę wody surowej oznaczając: stężenie żelaza Fe(III),  $F_{og}$ , Mn,  $O_2$ , pH, zasadowość ogólną, barwę pozorną i rzeczywistą oraz mętność. Obliczyć stężenie Fe(II). Zmierzyć średnicę i wysokość złoża filtracyjnego.

Ustalić z prowadzącym dwie wartości prędkości filtracji przy których będzie analizowana efektywność usuwania żelaza i manganu z wody, a następnie obliczyć wartości strumienia objętości filtratu odpowiadające każdej z zadanych prędkości.

Złożę filtracyjne, przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia, należy przepłukać wodą wodociągową w kierunku od dołu do góry. Następnie, używając wody wodociągowej, wywzorcować rotametr ustalając takie położenie zaworu na odpływie filtratu, aby strumień objętości filtratu odpowiadał przyjętym prędkościom filtracji. Strumień objętości filtratu ustalić metodą objętościową, mierząc czas dopływu zadanej objętości wody do naczynia pomiarowego.

Po wykonaniu wszystkich wymaganych czynności wstępnych należy przystąpić do wykonania ćwiczenia. W tym celu, należy wyłączyć dopływ wody wodociągowej, doprowadzić do filtra wodę surową i kontrolując prędkość przepływu wody przez złożę filtracyjne prowadzić proces filtracji utrzymując położenie zwierciadła wody na wysokości przelewu kolumny filtracyjnej. Pierwszą porcję filtratu, odpowiadającą dwóm objętościom kolumny filtracyjnej, odrzucić, a następnie po 20 i 40 min pobierać po ok.  $500\text{ cm}^3$  filtratu w którym należy oznaczyć stężenie żelaza Fe(III),  $F_{og}$ , Mn,  $O_2$ , pH, zasadowość ogólną, barwę pozorną i rzeczywistą oraz mętność.

Po pobraniu drugiej próbki filtratu wyłączyć dopływ wody surowej do filtra i wypłukać złożę filtracyjne wodą wodociągową. Płukanie filtra prowadzić przez 5 min. Następnie wyłączyć dopływ wody wodociągowej, doprowadzić wodę surową do filtra i prowadzić proces

oczyszczania wody przy drugiej prędkości filtracji, postępując zgodnie z procedurą opisaną powyżej.

Po zakończeniu ćwiczenia wypłukać złoża filtracyjne wodą wodociągową.

#### Opracowanie wyników badań.

Wyniki analiz oraz obliczone stopnie zmniejszenia stężenia tlenu, manganu, badanych postaci żelaza oraz zmiany wartości pH, zasadowości, barwy pozornej i rzeczywistej oraz mętności zestawić tabelarycznie oraz przedstawić na wykresach. Z uwagi na fakt, że odstęp czasu pomiędzy kolejnymi poborami próbek filtratu są stosunkowo niewielkie, wartości uzyskane przy jednej prędkości filtracji uśredniać.

Przeprowadzić dyskusję uzyskanych wyników, omawiając wpływ prędkości filtracji wody przez złoża katalityczne na zmianę wartości analizowanych parametrów fizyczno-chemicznych wody.

#### LITERATURA

8. A.L. Kowal, M. Świdorska-Bróz; Oczyszczanie wody, Wyd. PWN, Warszawa 1996
9. B.G. Gomółkowie, Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody, Oficyna Wyd. PWr., Wrocław, 1996
10. A.L. Kowal, J. Maćkiewicz, M. Świdorska-Bróz, Podstawy projektowe systemów oczyszczania wód, Oficyna Wyd. PWr., Wrocław, 1996
11. A.L. Kowal, M. Sozański, Podstawy doświadczalne systemów oczyszczania wód, Wyd. PWr., Wrocław, 1977
12. Uzdatanianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne, pod red. J. Nawrockiego i S. Biłozora, Wyd. PWN, Warszawa, 2000
13. M. Świdorska-Bróz, Mikrozanieczyszczenia w środowisku wodnym, Wyd. PWr., Wrocław, 1993
14. Odnowa wody. Podstawy teoretyczne procesów, pod red. A.L. Kowala, Oficyna Wyd. PWr., Wrocław, 1996

## SEDYMENTACJA ZAWIESIN ZIARNISTYCH

### 1. Cel ćwiczenia

Doświadczalne wyznaczenie obciążenia hydraulicznego osadnika poziomego, gwarantującego założony stopień usunięcia zawiesin ziarnistych z wody powierzchniowej.

### 2. Wykonanie ćwiczenia

Pobrać próbkę wody modelowej zawierającej zawiesiny ziarniste i po jej dokładnym wymieszaniu napelnić nią 5 cylindrów Spilnera do kreski ograniczającej część sedymentacyjną cylindra o objętości  $540 \text{ cm}^3$  i wysokości 432 mm. W wodzie oznaczyć zawartość zawiesin ogólnych ( $\text{mg/dm}^3$ ) metodą wagową. Po upływie czasów sedymentacji 6 min, 12 min, 18 min, 24 min i 36 min z części osadowej cylindrów pobrać kolejno po  $50 \text{ cm}^3$  wody wraz z osadem i we wszystkich próbkach oznaczyć wagowo masę osadu (mg). Następnie obliczyć masę zawiesin (mg), które opadły z części sedymentacyjnej poszczególnych cylindrów do części osadowej. Na podstawie uzyskanych wyników i niezbędnych obliczeń sporządzić wykresy następujących zależności:

- zawiesiny usunięte z wody (%) w funkcji czasu sedymentacji (min),
- zawiesiny usunięte z wody (%) w funkcji prędkości sedymentacji (mm/s),
- zawiesiny pozostałe w wodzie (%) w funkcji prędkości sedymentacji (mm/s).

Odczytać z wykresu prędkość sedymentacji zawiesin dla założonej skuteczności ich usuwania (np. 75%) i obliczyć obciążenie hydrauliczne osadnika poziomego ( $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ ) dla przyjętego współczynnika efektywnego czasu sedymentacji (np. 3). Znając wartość obciążenia hydraulicznego osadnika poziomego obliczyć jego wymiary dla założonego natężenia przepływu wody powierzchniowej (np. 10 tys.  $\text{m}^3/\text{d}$ ).

Wszystkie operacje wykonać dla dwóch rodzajów wód modelowych zawierających zawiesiny ziarniste.

### 3. Literatura podstawowa

A. L. Kowal, M. Świdorska-Bróz: *Oczyszczanie wody*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Wrocław 1996.

A. L. Kowal, M. M. Sozański: *Podstawy doświadczalne systemów oczyszczania wód (sedymentacja, koagulacja i filtracja)*. Skrypt, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1977.

B. i E. Gomółkowie: *Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody*. Skrypt, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1992 (lub wydania wcześniejsze).

## FILTRACJA POSPIESZNA

### 1. Cel ćwiczenia

Doświadczalne określenie przebiegu płukania złoża filtracyjnego oraz wyznaczenie efektywności usuwania zanieczyszczeń z wody powierzchniowej w procesie filtracji pospiesznej na jednowarstwowym piaskowym złożu filtracyjnym przy stałej prędkości filtracji.

### 2. Wykonanie ćwiczenia

Ustawić położenia wszystkich zaworów na modelu filtru pospiesznego w pozycji do płukania. Przeprowadzić płukanie złoża filtracyjnego wodą wodociągową, utrzymując je na trzech wysokościach, przy czym dla każdej wysokości złoża w ekspansji (cm) wyznaczyć intensywność płukania złoża ( $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ,  $\text{dm}^3/\text{m}^2\text{s}$ ) jako średnią z trzech pomiarów. Po wypłukaniu i odpowietrzeniu złoża filtracyjnego przestawić położenia zaworów w pozycje do filtracji wody. Włączyć dopływ wody do filtru, otworzyć zawór regulacyjny na odpływie filtratu i określić prędkość filtracji (m/h) dla stałego wskazania rotametry. Prowadzić filtrację wody przy stałej prędkości ( $7\div 10$  m/h). W odstępach  $15\div 20$  min pobierać próbki filtratu oraz odczytywać wskazania piezometrów kontrolując przyrost strat ciśnienia na filtrze. W wodzie surowej i poszczególnych filtratach oznaczyć mętność, barwę, zasadowość, pH i utlenialność wody oraz zawartość zawiesin ogólnych. Zmiany wartości poszczególnych wskaźników jakości wody nanieść na wykres w funkcji czasu filtracji. Po zakończonym cyklu filtracyjnym przeprowadzić powtórnie płukanie złoża filtracyjnego. Na podstawie otrzymanych wyników określić skuteczność procesu filtracji pospiesznej oraz wyznaczyć graficznie zależność ekspansji złoża filtracyjnego (%) podczas płukania od intensywności płukania złoża ( $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ,  $\text{dm}^3/\text{m}^2\text{s}$ ).

### 3. Literatura podstawowa

- A. L. Kowal, M. Świdorska-Bróz: Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Wrocław 1996.
- A. L. Kowal, M. M. Sozański: Podstawy doświadczalne systemów oczyszczania wód (sedymentacja, koagulacja i filtracja). Skrypt, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1977.
- B. i E. Gomółkowie: Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody. Skrypt, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1992 (lub wydania wcześniejsze).



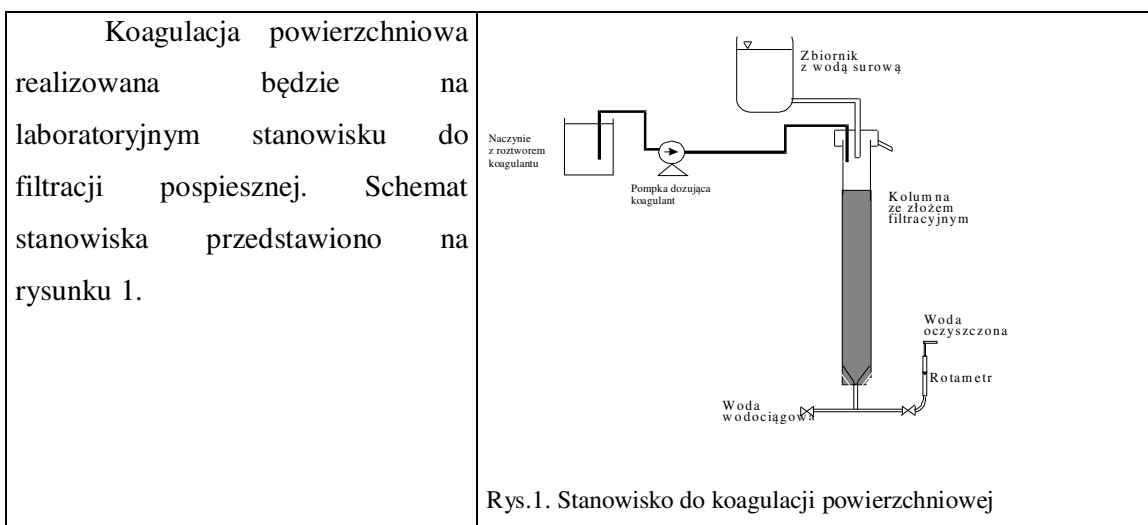
## KOAGULACJA POWIERZCHNIOWA

### Cel i zakres ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przebiegiem koagulacji powierzchniowej oraz porównanie efektów oczyszczania wody powierzchniowej realizowanych w układach koagulacji objętościowej i powierzchniowej.

### Stanowisko badawcze

Testy naczyniowe procesu koagulacji prowadzone będą na stanowisku wykorzystywanym do analizy procesu koagulacji objętościowej (*patrz: Instrukcja do ćwiczeń z oczyszczania wody*).



### Sposób wykonania ćwiczenia

Wykonać analizę wody surowej oznaczając: intensywność barwy, mętność, pH, zasadowość ogólną i utlenialność.

Na podstawie oznaczonej w wodzie surowej intensywności barwy i mętności ustalić teoretyczną dawkę koagulantu ( $D_{teoret}$ ). W oparciu o uzyskane wyniki ustalić z prowadzącym dawkę dla koagulacji powierzchniowej, wynoszącą ok.  $1/3D_{teoret}$ . Dla koagulacji objętościowej przyjąć 3 dawki koagulantu wynoszące  $1/3D_{teoret}$ ,  $2/3D_{teoret}$  i  $D_{teoret}$ .

Filtr piaskowy, przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia, należy przepłukać wodą wodociągową w kierunku od dołu do góry. Następnie, używając wody wodociągowej, ustalić takie położenie zaworu po filtrze, aby strumień objętościowy filtratu odpowiadał podanej przez prowadzącego prędkości filtracji. Strumień objętościowy filtratu ustalić metodą objętościową.

Równocześnie należy, metodą objętościową, wyznaczyć wydajność pompy perystaltycznej dawkującej koagulant do wody. Na tej podstawie należy obliczyć wymagane

rozcieńczenie roztworu koagulantu, aby do wody podawana była jego założona ilość. Następnie przygotować rozcieńczony roztwór koagulantu.

***Przykład obliczenia wymaganego rozcieńczenia koagulantu dla koagulacji powierzchniowej.***

Przyjęta dawka koagulantu dla koagulacji powierzchniowej wynosi  $10 \text{ mg/dm}^3$ .

Prędkość filtracji  $8 \text{ m/h}$  co przy średnicy kolumny filtracyjnej  $38 \text{ mm}$  odpowiada natężeniu przepływu  $0,15 \text{ dm}^3/\text{min}$ .

Wydajność pompy dawkującej koagulant wynosi  $0,015 \text{ dm}^3/\text{min}$ .

Jeżeli dawka koagulantu wynosi  $10 \text{ mg}$  koagulantu na  $1 \text{ dm}^3$  wody oczyszczanej na filtrze zatem ilość koagulantu koniecznego do zadawkowania do  $0,15 \text{ dm}^3$  wody przepływającej przez filtr w ciągu  $1 \text{ min}$  wynosi

$$\begin{array}{rcl} 10 \text{ mg} & - & 1 \text{ dm}^3 \\ x \text{ mg} & - & 0,15 \text{ dm}^3 \end{array}$$

zatem w ciągu  $1 \text{ min}$  do filtru powinno być dostarczone  $x = 1,5 \text{ mg}$  koagulantu.

Gdyby dawkowany był nierozcieńczony,  $1\%$  roztwór koagulantu, dawka koagulantu wynosiłaby  $150 \text{ mg/min}$ .

Stąd niezbędne rozcieńczenie wyjściowego koagulantu wynosi:  $150/1,5 = 100$

Zatem przed przystąpieniem do realizacji procesu koagulacji powierzchniowej, wyjściowy  $1\%$  roztwór koagulantu należy rozcieńczyć  $100$  razy wodą destylowaną.

Po wykonaniu wszystkich wymaganych czynności przygotowujących należy przystąpić do wykonania ćwiczenia. W tym celu doprowadzić do filtru wodę surową, włączyć pompę dozującą koagulant i kontrolując prędkość przepływu wody przez filtr prowadzić koagulację powierzchniową. Pierwszą porcję filtratu, odpowiadającą dwóm objętościom kolumny filtracyjnej, odrzucić, a następnie co  $30 \text{ min}$  pobierać porcje filtratu w których należy oznaczyć: pH, zasadowość, barwę, utlenialność oraz mętność.

Równocześnie z koagulacją powierzchniową prowadzić proces metodą objętościową (zgodnie z metodyką opisaną w instrukcji do ćwiczeń z oczyszczania wody). Po zakończeniu koagulacji objętościowej wykonać analizy wody oznaczając takie same wskaźniki jak po koagulacji powierzchniowej.

Wyniki analiz zestawić tabelarycznie oraz nanieść na wykresy. Przeprowadzić dyskusję uzyskanych wyników. Ocenić jak z czasem prowadzenia koagulacji powierzchniowej zmieniają się właściwości uzdatnionej wody. Porównać skuteczność uzdatniania wody metodą koagulacji powierzchniowej i objętościowej oraz omówić jak poszczególne procesy wpływają na zmianę właściwości fizyczno-chemicznych wody.

## DEKARBONIZACJA WODY WAPNEM

### 1. Cel ćwiczenia

Doświadczalne określenie podatności wody na dekarbonizację wapnem w postaci wody wapiennej oraz wyznaczenie dawki wapna zapewniającej spełnienie warunku dekarbonizacji.

### 2. Wykonanie ćwiczenia

Określić zapotrzebowanie wody na wapno, oznaczając metodą miareczkową twardość węglanową wody (zasadowość ogólną) oraz zawartość wolnego dwutlenku węgla w wodzie modelowej (kwasowość ogólną). Obliczeniową dawkę wapna do dekarbonizacji wody wyznaczyć z zależności:

$$D_{\text{CaO}} = 28(tw_w + \text{CO}_2)$$

w której:

$D_{\text{CaO}}$  – zapotrzebowanie wody na wapno,  $\text{gCaO/m}^3$

$tw_w$  – twardość węglanowa wody,  $\text{val/m}^3$

$\text{CO}_2$  – zawartość wolnego dwutlenku węgla w wodzie,  $\text{val/m}^3$

28 – równoważnik tlenku wapnia,  $\text{gCaO/val}$

Przyjąć następujące dawki wapna:  $0,6D_{\text{CaO}}$ ,  $0,8D_{\text{CaO}}$ ,  $1,0D_{\text{CaO}}$ ,  $1,2D_{\text{CaO}}$  i  $1,5D_{\text{CaO}}$ . Następnie wyznaczyć miano wody wapiennej (zawartość wapna w wodzie wapiennej wyrażona w  $\text{gCaO/m}^3$ ) poprzez określenie metodą miareczkową zasadowości F i M wody wapiennej (wykonać 3 powtórzenia z objętości  $10 \text{ cm}^3$ , tj. przyjmując rozcieńczenie 1:10). Miano wody wapiennej obliczyć z zależności (uwzględniając rozcieńczenie):

$$M_{\text{Ca(OH)}_2} = 28(2F - M)$$

w której:

$M_{\text{Ca(OH)}_2}$  – miano wody wapiennej,  $\text{gCaO/m}^3$

F – zasadowość wody wapiennej wobec fenoloftaleiny,  $\text{val/m}^3$

M – zasadowość ogólna wody wapiennej wobec oranżu metylowego,  $\text{val/m}^3$

28 – równoważnik tlenku wapnia,  $\text{gCaO/val}$

Znając miano wody wapiennej przeliczyć przyjęte dawki wapna z  $\text{gCaO/m}^3$  na  $\text{cm}^3$  wody wapiennej na  $\text{dm}^3$  wody badanej. Następnie do 5 naczyń o pojemności  $1,5 \text{ dm}^3$  wlać po  $1 \text{ dm}^3$  badanej wody i dodać rosnąco kolejne objętości wody wapiennej odpowiadające przyjętym dawkom wapna. Naczynia z wodą poddać mieszaniu z intensywnością około 150 obr./min przez 2–3 min, a następnie z intensywnością ok. 15–20 obr./min przez ok. 60 min. Po zakończeniu mieszania odczekać aż wytrącony osad opadnie na dno naczynia (ok. 15 min), a następnie wodę z nad osadu przesączyć przez twarde sączi (odrzucając pierwszą partię przesącza). W poszczególnych przesączach oznaczyć pH, zasadowość F i M, twardość ogólną oraz zawartość związków wapnia i magnezu.

Uzyskane wyniki przedstawić graficznie w formie zależności zmian poszczególnych wskaźników jakości wody w funkcji dawki wapna oraz w funkcji pH. Na podstawie przebiegu tych zależności określić dawkę wapna, dla której jest spełniony warunek dekarbonizacji, tj.  $2F=M$ .

### 3. Literatura podstawowa

A. L. Kowal, M. Świdorska-Bróz: Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Wrocław 1996.

B. i E. Gomółkowie: Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody. Skrypt, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1992 (lub wydania wcześniejsze).

## UTLENIANIE DOMIESZEK WODY

### 1. Cel ćwiczenia

Doświadczalne określenie przebiegu chlorowania wody zawierającej azot amonowy oraz wyznaczenie zapotrzebowania wody na chlor.

### 2. Wykonanie ćwiczenia

Oznaczyć zawartość azotu amonowego w badanej wodzie (metodą jodometryczną) oraz określić jej pH. W zależności od zawartości azotu amonowego w wodzie przyjąć 10–12 dawek chloru w przedziale 2–20 gCl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Następnie pobrać próbkę badanej wody, wymieszać w celu ujednoczenia składu i rozlać po 0,5 dm<sup>3</sup> do 10–12 butelek z doszlifowanym korkiem. Oznaczyć miano wody chlorowej metodą jodometryczną (wykonać 3 powtórzenia z objętości 5 cm<sup>3</sup>, tj. przyjmując rozcieńczenie 1:20) i na tej podstawie przeliczyć przyjęte dawki chloru z gCl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> na cm<sup>3</sup> wody chlorowej na 0,5 dm<sup>3</sup> wody badanej. Do przygotowanych butelek z badaną wodą dodać rosnąco kolejne objętości wody chlorowej, odpowiadające przyjętym dawkom chloru, po czym szczelnie zamknąć butelki a ich zawartość intensywnie wymieszać. Po czasie kontaktu 30 min we wszystkich próbkach wody oznaczyć zawartość chloru pozostałego (metodą jodometryczną) oraz pH i zawartość azotu amonowego (metodą bezpośredniej nessleryzacji).

Uzyskane wyniki przedstawić graficznie w formie zmian zawartości chloru pozostałego oraz azotu amonowego w funkcji dawki chloru. Na podstawie przebiegu zmian zawartości chloru pozostałego w funkcji dawki chloru określić zapotrzebowanie wody na chlor oraz wyznaczyć wartość stosunku dawki chloru w punkcie przełamania do wyjściowej zawartości azotu amonowego w wodzie.

### 3. Literatura podstawowa

A. L. Kowal, M. Świdorska-Bróz: Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Wrocław 1996.

B. i E. Gomółkowie: Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody. Skrypt, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1992 (lub wydania wcześniejsze).

## **USUWANIE NATURALNYCH SUBSTANCJI ORGANICZNYCH Z WODY W PROCESIE WYMIANY JONOWEJ**

Naturalne substancje organiczne (NOM) stanowią jeden ze składników wód powierzchniowych, który musi być usunięty przed dostarczeniem wody do konsumentów. Nie stanowią one bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia konsumentów, jednakże ze względu na fakt, iż stanowią prekursory chloropochodnych organicznych, powodują wzrost wymaganych dawek koagulantów oraz środków dezynfekcyjnych, tworzą kompleksy z wieloma zanieczyszczeniami antropogenicznymi, powodują blokowanie powierzchni żywic jonowymiennych oraz membran jak i przyczyniają się do rozwoju mikroorganizmów w sieci dystrybucyjnej, powinny być usuwane z wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia (z dnia 19.11.2002) zawartość związków organicznych w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi, wyrażona poprzez wartość utlenialności oraz intensywność barwy, nie powinna przekraczać odpowiednio: 5 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> i 15 g Pt/m<sup>3</sup>.

Spośród wielu procesów, które pozwalają na usunięcie z wody naturalnych substancji organicznych, najczęściej do uzdatniania wody stosowane są koagulacja lub adsorpcja na węgla aktywnym. Jednak ciągle poszukiwane są inne, skuteczniejsze metody eliminowania z wody naturalnych substancji organicznych.

Takim procesem wydaje się być wymiana jonowa przy użyciu żywic anionowymiennych, której przydatność do usuwania naturalnych substancji organicznych z wody opisano pod koniec lat 70-tych XX wieku. Późniejsze badania potwierdziły wysoką skuteczność usuwania makrocząsteczek organicznych z wody przy użyciu różnych typów żywic anionowymiennych. Zaobserwowano także, że w procesie wymiany jonowej możliwe jest skuteczniejsze, niż ma to miejsce w przypadku konwencjonalnych procesów uzdatniania wody, usuwanie niskocząsteczkowej frakcji NOM.

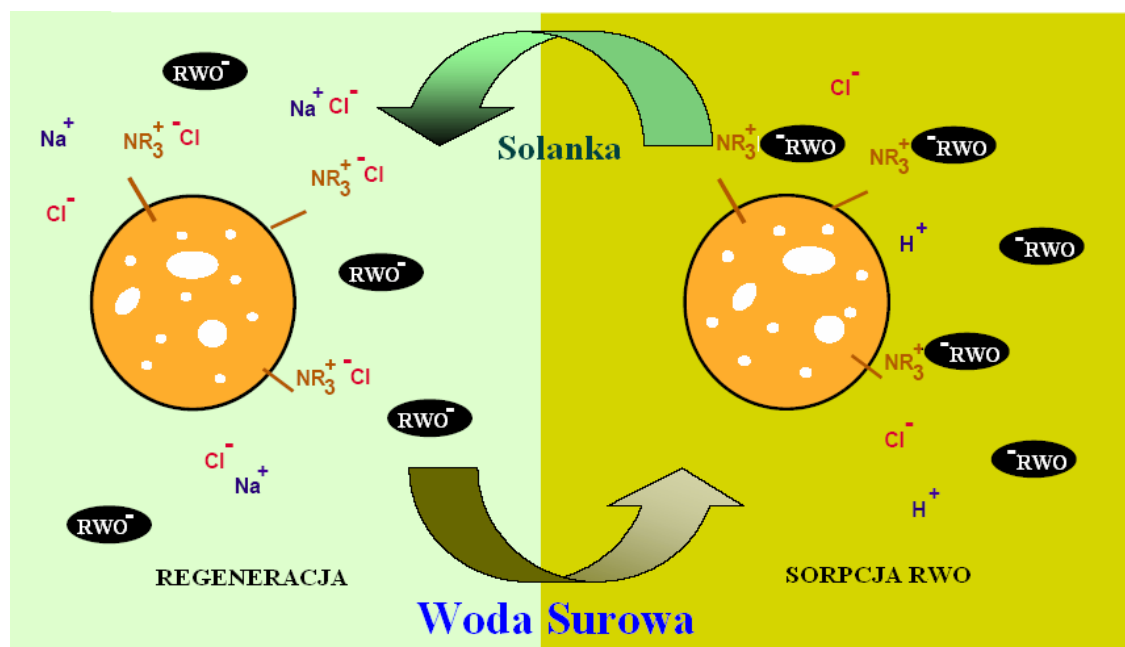
Spośród wielu typów stosowanych żywic anionowymiennych bardzo obiecującym wydaje się być anionit MIEX<sup>®</sup>, opracowany w latach 90-tych XX wieku przez firmę Orica Watercare. Silnie zasadowy anionit MIEX<sup>®</sup> dawkowany jest do oczyszczanej wody w postaci zawiesiny. Dzięki małej granulacji (około 180 μm) i dużej zawartości czwartorzędowych grup amoniowych, pozwala on usunąć z wody 40-90% naturalnych substancji organicznych. W procesie tym preferencyjnie usuwane są substancje o małej masie cząsteczkowej (<10 kDa). Mikromagnesy wbudowane w strukturę żywicy pozwalają na szybką jej aglomerację, co

ułatwia jej oddzielenie od oczyszczonej wody. Skuteczność separacji żywicy w procesie sedymentacji wynosi ok. 99,9%, a pozostające w wodzie jej najdrobniejsze frakcje, które powodują wtórne zanieczyszczenie wody, są usuwane w kolejnych procesach uzdatniania.

Uzdatnianie wody w procesie MIEX<sup>®</sup>DOC różni się znacznie od konwencjonalnego procesu wymiany jonowej. Wymiana cząsteczek NOM, występujących w postaci jonowej, zachodzi w przepływowej komorze z pełnym wymieszaniem zasilanej wodą surową, do której dodawana jest żywica MIEX<sup>®</sup> w postaci zawiesiny. Ilość żywicy w komorze utrzymywana jest na poziomie 0,5-3 % (obj.), w zależności od stężenia związków organicznych w wodzie. Zawiesina żywicy, wypływająca z komory mieszania, wprowadzana jest do osadnika, w którym następuje grawitacyjne jej oddzielenie od oczyszczonej wody. Zsedymentowana żywica jest ponownie zwracana do komory reakcji.

Po wyczerpaniu pojemności sorpcyjnej żywicy, jest ona poddawana regeneracji przy użyciu roztworu NaCl.

Zasadę procesu MIEX<sup>®</sup>DOC przedstawiono na rys. 1.



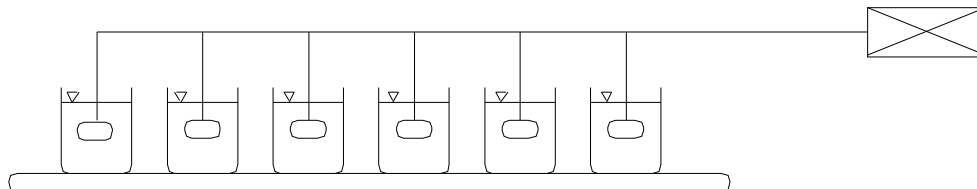
Rys. 1. Zasada procesu MIEX<sup>®</sup>DOC

#### Cel i zakres ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z procesem MIEX<sup>®</sup>DOC oraz określenie wpływu wielkości dawki żywicy oraz czasu kontaktu żywicy z zanieczyszczeniami na zmianę wybranych parametrów składu fizyczno-chemicznego oczyszczonej wody.

### Stanowisko badawcze

Testy kinetyczne procesu MIEX<sup>®</sup>DOC prowadzone są na sześciostanowiskowym mieszadle, którego schemat przedstawiono na rysunku 2. Urządzenie wyposażone jest w system regulacji prędkości obrotowej mieszadeł.



Rys.2. Schemat stanowiska laboratoryjnego do badania procesu MIEX<sup>®</sup>DOC.

### Sposób wykonania ćwiczenia

Wykonać analizę wody surowej oznaczając: intensywność barwy, absorbancję przy długości fali 254 nm oraz stężenie rozpuszczonego węgla organicznego.

Do 6 cylindrów wlać odpowiednio 5, 10, 15, 20, 25 i 30 cm<sup>3</sup> żywicy MIEX<sup>®</sup>. Cylindry odstawić na 20 min ewentualnie korygując zawartość żywicy.

Do 6 zlewek wlać, po uprzednim zamieszaniu, 1 dm<sup>3</sup> badanej wody. Zlewki ustawić na mieszadle, opuścić łopatki mieszadeł i włączyć mieszanie. Ustalić obroty mieszadeł na ok. 150 obr/min. Do kolejnych zlewek wlać odpowiednie ilości żywicy (używając do tego celu wody zgromadzonej w zlewkach) i skorygować prędkość obrotową tak, aby cały czas żywica pozostawała w zawieszeniu. Cały test prowadzony jest przez 60 minut. Przez pierwsze 20 minut próby do analiz pobierać co 5 minut, a następnie co 10 min, bez przerw w mieszaniu.

W pobranych próbach wody oznaczyć: intensywność barwy, absorbancję przy długości fali 254 nm oraz stężenie rozpuszczonego węgla organicznego.

### Opracowanie wyników badań

Wyniki analiz oraz obliczone stopnie zmniejszenia barwy, absorbancji 254 nm i stężenia rozpuszczonego węgla organicznego zestawić tabelarycznie oraz przedstawić na wykresach. Przeprowadzić dyskusję uzyskanych wyników badań. W oparciu o uzyskany stopień obniżenia intensywności barwy absorbancji 254 nm i stężenia rozpuszczonego węgla organicznego wyznaczyć optymalne parametry prowadzenia procesu.

Stopnie zmniejszenia wartości analizowanych wskaźników zanieczyszczeń ( $\eta_x$ ) wyznaczyć ze wzoru

$$\eta_x, \% = \frac{x_p - x_k}{x_p} \cdot 100$$

gdzie  $x_p$  – wartość wskaźnika x wody surowej,

$x_k$  - wartość wskaźnika x wody oczyszczonej.

#### LITERATURA

1. M. MOŁCZAN, A. BIŁYK, W. ADAMSKI: Usuwanie substancji organicznych z wody w technologii MIEX<sup>®</sup>DOC. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2006, nr 2, ss.14-18.
2. M. SLUNJSKI, A. BIŁYK, K. CELER: Usuwanie substancji organicznych z wody na makroporowatych namagnetyzowanych żywicach anionowych MIEX<sup>®</sup>. Ochrona Środowiska, 2004, nr 2, ss. 11-14.
3. M. MOŁCZAN, A. BIŁYK, M. SLUNJSKI, K. CELER: Zastosowanie testów naczyniowych do oceny skuteczności usuwania substancji organicznych z wody w procesie MIEX<sup>®</sup>DOC. Ochrona Środowiska, 2005, nr 2, ss. 3-7.
4. M. MOŁCZAN, A. BIŁYK, M. SLUNJSKI, T. SICIŃSKI, J. STRÓŻ: Badania pilotowe skuteczności oczyszczania wody w procesie MIEX<sup>®</sup>DOC. Ochrona Środowiska, 2005, nr 4, ss. 19-26.
5. [www.miexresin.com](http://www.miexresin.com)



