



# Politechnika Wroclawska

**KATEDRA INŻYNIERII OCHRONY ŚRODOWISKA**

**INSTRUKCJE DO ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH**

**Systemy oczyszczania wody**

## SPIS TREŚCI

|  |                |
|--|----------------|
| <b>Ćwiczenie 1</b> .....               | <b>str. 2</b>  |
| Badania procesu koagulacji             |                |
| <b>Ćwiczenie 2</b> .....               | <b>str. 5</b>  |
| Badania procesu filtracji              |                |
| <b>Ćwiczenie 3</b> .....               | <b>str. 9</b>  |
| Badania procesu adsorpcji              |                |
| <b>Sposób wykonania oznaczeń</b> ..... | <b>str. 13</b> |

Wrocław 2024

*Opracowanie:*  
*dr hab. inż. Agnieszka Urbanowska, prof. uczelni*  
*dr inż. Aleksandra Klimonda*  
*mgr inż. Anna Solipiwko-Pieścik*

# Ćwiczenie 1

## Badania procesu koagulacji

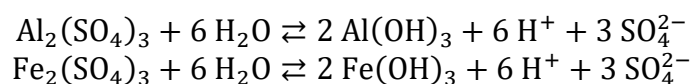
### WSTĘP TEORETYCZNY

Proces koagulacji stosowany jest powszechnie w systemach oczyszczania wód powierzchniowych. Istotą procesu jest zmniejszenie stopnia dyspersji układu koloidalnego, w efekcie czego pojedyncze cząstki fazy rozproszonej łączą się, tworząc aglomeraty, których rozmiar i ciężar jest znacznie większy od rozmiaru i ciężaru pojedynczych cząstek. W technologii oczyszczania wody, proces ten stosowany jest w celu obniżenia barwy, mętności, zawartości związków organicznych, a także do usuwania jonów metali ciężkich oraz drobno zdyspergowanych zawiesin. Koagulacja jest procesem dwuetapowym. W pierwszym etapie (faza destabilizacji, szybkie mieszanie) dochodzi do zneutralizowania ujemnego ładunku powierzchniowego koloidów. Drugi etap (faza aglomeracji, wolne mieszanie) polega na łączeniu się cząstek w agregaty. Usunięcie aglomeratów z roztworu możliwe jest w procesach sedymentacji/flotacji i filtracji, będących kolejnymi procesami jednostkowymi w ciągu technologicznym.

Na przebieg i skuteczność koagulacji wpływają m.in. następujące parametry:

- dawka i rodzaj koagulantu,
- parametry roztworu (odczyn, siła jonowa, zasadowość, właściwości substancji organicznych, np. ładunek elektryczny),
- obecność substancji wspomagających (np. polielektrolitów),
- czas kontaktu, intensywność mieszania.

Najczęściej stosowanymi koagulantami są sole glinu i żelaza, a także wapno. Związki te ulegają dysocjacji, a następnie hydrolizie. Przebieg reakcji dysocjacji i hydrolizy soli glinu i żelaza przedstawiają równania:

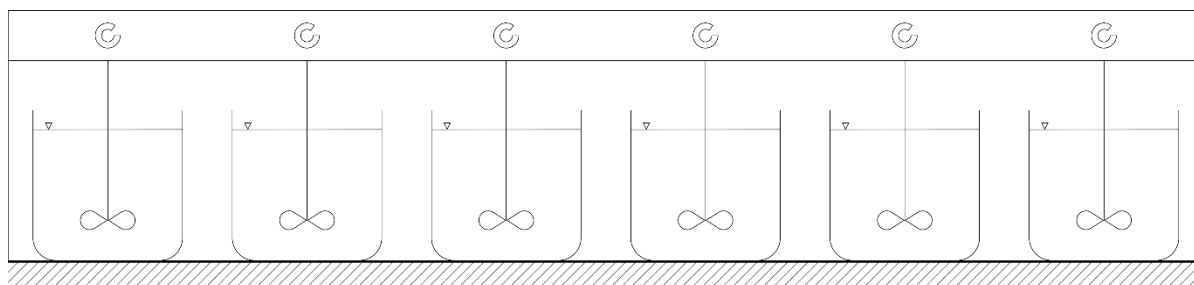


### CEL ĆWICZENIA

- zapoznanie się z procesem koagulacji,
- określenie wpływu koagulacji jako jednostkowego procesu na zmianę parametrów oczyszczanej wody,
- ocena wpływu dawki koagulantu na parametry oczyszczanej wody.

### SPOSÓB WYKONANIA ĆWICZENIA

Testy naczyniowe procesu koagulacji prowadzone są na 6-stanowiskowym koagulatorze wyposażonym w system regulacji prędkości obrotowej mieszadeł. Schemat stanowiska laboratoryjnego do badania procesu koagulacji przedstawiono na Rysunku 1.



Rysunek 1. Schemat stanowiska badawczego do przeprowadzenia procesu koagulacji

Ćwiczenie rozpocząć od wykonania analizy wody surowej poprzez oznaczenie: pH, zasadowości ogólnej, intensywności barwy, mętności oraz utlenialności.

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 ( $D_{\text{koag}}$ ), którymi prowadzony będzie proces.

6 zlewek napęlnić po  $1 \text{ dm}^3$  dobrze wymieszanej wody powierzchniowej. Umieścić je na koagulatorze i uruchomić mieszadła (ok. 150 obr/min). Następnie dawkować pipetą do zlewek roztwór koagulantu w ilościach odpowiadających ustalonym dawkom. Proces szybkiego mieszania prowadzić przez 2-3 min, następnie zmniejszyć obroty mieszadeł do 20 obr/min. Wolne mieszanie prowadzić przez 20 min. Wyłączyć mieszadła, a zlewki zestawić z koagulatora i poddać próby wody 30-minutowej sedymentacji. Po tym czasie, z każdej zlewki zlewarować ok.  $300 \text{ cm}^3$  i przesączyć przez odpowiednie sączki. W przesączu oznaczyć zasadowość oraz intensywność barwy. Pozostałą część wody poddać dalszej sedymentacji. Sklarowaną wodę zlewarować i oznaczyć jej pH, mętność oraz utlenialność.

## OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Tabela pomiarowa

| Nazwa próby        | pH | $\eta_{\text{pH}}$ , % | Zasadowość M, $\text{mol/m}^3$ | $\eta_{\text{zas}}$ , % | Mętność, NTU | $\eta_{\text{M}}$ , % | Barwa, $\text{g Pt/m}^3$ | $\eta_{\text{B}}$ , % |
|--------------------|----|------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Woda surowa        |    |                        |                                |                         |              |                       |                          |                       |
| Woda oczyszczona 1 |    |                        |                                |                         |              |                       |                          |                       |
| Woda oczyszczona 2 |    |                        |                                |                         |              |                       |                          |                       |
| Woda oczyszczona 3 |    |                        |                                |                         |              |                       |                          |                       |

Wyniki analiz oraz obliczone stopnie zmniejszenia barwy, mętności i utlenialności oraz zmiany pH i zasadowości ogólnej zestawić tabelarycznie oraz przedstawić na wykresach.

Przeprowadzić dyskusję uzyskanych wyników badań. Na podstawie uzyskanego stopnia obniżenia intensywności barwy, mętności i utlenialności wyznaczyć optymalną dawkę koagulantu.

Stopnie zmniejszenia wartości analizowanych wskaźników zanieczyszczeń ( $\eta_x$ ) obliczyć według wzoru:

$$\eta_x = \frac{x_s - x_o}{x_s} \cdot 100, \%$$

gdzie:

- $x_s$  - wartość wskaźnika zanieczyszczenia x wody surowej,  
 $x_o$  - wartość wskaźnika zanieczyszczenia x wody oczyszczonej.

## LITERATURA:

- [1] A. L. Kowal, M. Świdorska-Bróż, M. Wolska: *Oczyszczanie wody, Tom 2, Procesy jednostkowe oczyszczania wody*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2023  
[2] M. Wolska, A. Urbanowska: *Projektowanie zakładów oczyszczania wody*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2020  
[3] J. Nawrocki: *Uzdatnianie wody. Część 1*, Wydawnictwo PWN, Warszawa, 2020  
[4] B. G. Gomółkowie, *Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1996  
[5] *Oczyszczanie wody i wybrane zagadnienia z oczyszczania wody. Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych*. ZWUŚiO III rok, TWS IV rok, Politechnika Wroclawska

# Ćwiczenie 2

## Badania procesu filtracji

### WSTĘP TEORETYCZNY

Filtracja jest procesem zapewniającym usuwanie z oczyszczanej cieczy cząstek o średnicy  $> 0,1 \mu\text{m}$ . Proces ten realizowany jest w urządzeniach zwanych filtrami. Ze względu na warunki pracy oraz rodzaj złożeń filtracyjnych, filtry można podzielić na:

- grawitacyjne i ciśnieniowe,
- powolne i pospieszne,
- jedno- i wielowarstwowe,
- otwarte i zamknięte,
- ze złożem niskim i wysokim.

Istota procesu filtracji polega na przepływie wody w określonym kierunku i z odpowiednią prędkością przez złożenie filtracyjne, który stanowi materiał porowaty. Droga jaką pokonuje woda podczas przechodzenia przez złożenie filtracyjne nie jest odcinkiem prostym, więc określenie rzeczywistej długości drogi oraz prędkości przepływu nie jest możliwe. W praktyce przyjmuje się zatem uproszczenie: wartość prędkości filtracji to iloraz objętości przepływającej wody w czasie do całkowitego przekroju złoża filtracyjnego, natomiast długość drogi przyjmuje się równą wysokości złoża. W filtrach pospiesznych stosowanych w układach oczyszczania wody przeznaczonych do spożycia przez ludzi stosuje się najczęściej prędkość filtracji w granicach 5 – 10 m/h. W Polsce zwykle dla wód po procesach koagulacji i sedymentacji przyjmuje się prędkość filtracji:

- dla złożów jednowarstwowych  $\leq 7,5 \text{ m/h}$ ,
- dla złożów dwuwarstwowych  $\leq 10 \text{ m/h}$ ,
- dla złożów trójwarstwowych  $\leq 12 \text{ m/h}$ .

Najczęściej stosowanymi materiałami filtracyjnymi są: piasek kwarcowy, węgiel antracytowy i granulowany węgiel aktywny. Rzadziej stosowane są materiały spiekane jak na przykład keramzyt lub materiały kruszone, m. in. granit oraz tworzywa sztuczne o gęstości mniejszej od gęstości wody. Materiały filtracyjne spełniają swoje zadanie, wówczas, gdy charakteryzują się właściwym uziarnieniem, porowatością, gęstością, wytrzymałością mechaniczną na ścieranie i kruszenie oraz składem chemicznym. Nie bez znaczenia pozostaje również ich czystość, tzn. brak możliwości ługowania z nich zanieczyszczeń przez przepływającą wodę.

Przydatność materiału filtracyjnego ocenia się na podstawie średnicy czynnej  $d_{10}$  (definiowana jako średnica, która wraz z ziarnami mniejszymi stanowi 10% masy próbki materiału filtracyjnego i jest medianą zbioru wszystkich ziaren złoża) i współczynnika równomierności złoża WR równego  $d_{60}/d_{10}$  ( $d_{60}$  to średnica, która wraz z mniejszymi stanowi 60% masy próbki materiału filtracyjnego). Skład granulometryczny materiału ziarnistego do filtracji określa się wykonując analizę sitową.

W filtrach pospiesznych stosuje się złoża jednowarstwowe (np. piaskowe), dwuwarstwowe (np. piaskowo-antracytowe) oraz trójwarstwowe (np. granulowany węgiel aktywny-antracytowo-piaskowe). Stosowanie złożów wielowarstwowych zapewnia lepsze wykorzystanie pojemności złoża na zanieczyszczenia na całej ich wysokości, wydłuża cykl filtracji ze względu na wolniejszy przyrost strat ciśnienia hydraulicznego oraz pozwala na eksploatację filtrów przy większej prędkości filtracji.

Cyklem filtracji nazywamy czas pracy złoża filtracyjnego między kolejnym jego płukaniem. Zależy on przede wszystkim od parametrów złoża (uziarnienia), prędkości filtracji

i poziomu zanieczyszczenia wody dopływającej na filtry. Przeciętną długość cyklu filtracji przyjmuje się równą 24 h (w skrajnych przypadkach nie mniej niż 8 h). Za koniec cyklu filtracji przyjmuje się moment osiągnięcia dopuszczalnej straty ciśnienia lub pogorszenie się jakości filtratu ponad wymagane wartości. Płukanie złoża filtracyjnego ma także na celu jego odpowietrzenie.

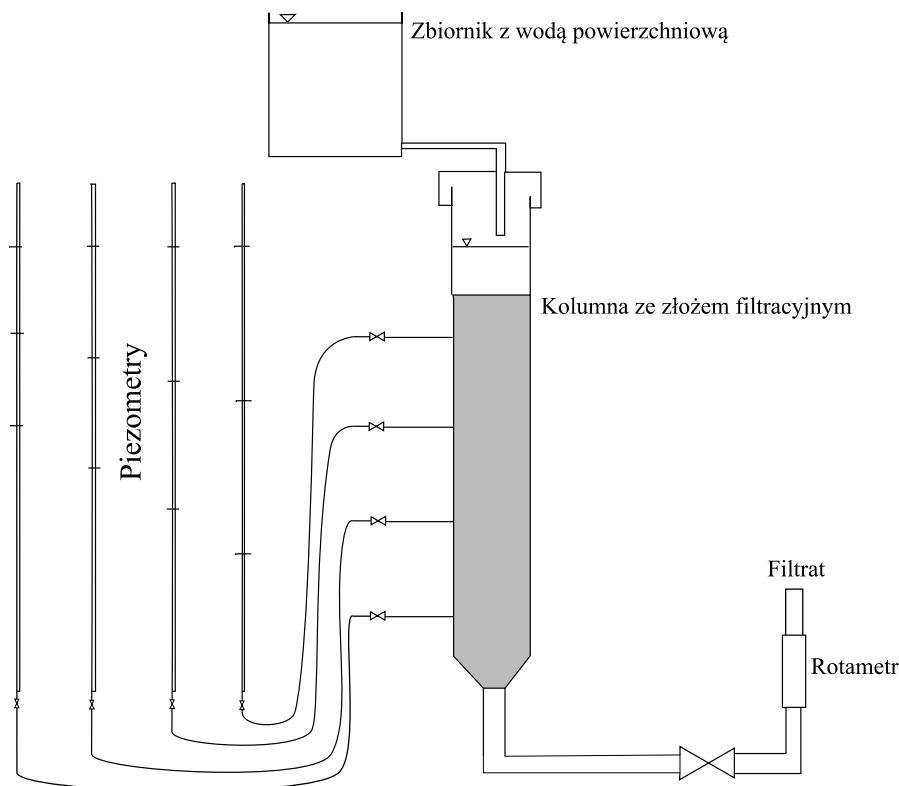
Złoża filtrów pospiesznych mogą być płukane wodą lub wodą i powietrzem. Czynniki płuczące podczas płukania złoża przepływają od dołu do góry złoża filtracyjnego wypłukując zatrzymane w złożu zanieczyszczenia. Przy płukaniu wodą należy dobrać tak intensywność płukania, aby uzyskać 30 – 50% ekspansji złoża filtracyjnego. Ekspansja złoża jest parametrem określającym przyrost wysokości złoża w trakcie płukania. Przy płukaniu wodno-powietrznym ekspansja nie jest wymagana i zwykle jest mniejsza niż 10%. Intensywność płukania wodą zależy od gęstości i uziarnienia materiału filtracyjnego oraz od temperatury wody płuczającej.

## CEL ĆWICZENIA

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

## SPOSÓB WYKONANIA ĆWICZENIA

Schemat stanowiska laboratoryjnego do badania procesu filtracji pospiesznej na złożu jednowarstwowym przedstawiono na Rysunku 2.



Rysunek 2. Schemat stanowiska badawczego do przeprowadzenia procesu filtracji pospiesznej na złożu jednowarstwowym

W wodzie surowej należy oznaczyć:

- pH,
- barwę,
- mętność,
- zasadowość,
- utlenialność.

Zmierzyć średnicę i wysokość złoża filtracyjnego w stanie spoczynku.

Ćwiczenie należy rozpocząć od wypłukania złoża filtracyjnego wodą wodociągową z trzema intensywnościami płukania złoża, określając je na przelewie filtru poprzez pomiar czasu, przy którym zostanie pobrana do cylindra miarowego określona objętość wody. W tym celu ustawić położenia zaworów na modelu filtru pospiesznego w pozycji do płukania. Płukanie złoża przeprowadzić utrzymując je na trzech wysokościach, przy czym dla każdej wysokości złoża w ekspansji:

$$EXP = (H_{exp} / H_{zł} - 1) \cdot 100\%, \quad \%$$

gdzie:

- EXP – ekspansja złoża, %  
H<sub>exp</sub> – wysokość złoża podczas płukania, m  
H<sub>zł</sub> – wysokość złoża w czasie spoczynku, m

wyznaczyć intensywność płukania złoża:

$$J_{pl} = V / (t \cdot F), \quad m^3/m^2h, \quad dm^3/m^2s$$

gdzie:

- J<sub>pl</sub> – intensywność płukania, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h lub dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>s  
V – objętość wody do płukania, m<sup>3</sup> lub dm<sup>3</sup>  
t – czas płukania, h lub s  
F – pole przekroju złoża filtracyjnego, m<sup>2</sup>

jako średnią z 3 pomiarów.

Po wypłukaniu złoża filtracyjnego położenia zaworów przestawić 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. Proces filtracji prowadzić przy stałej prędkości. W poszczególnych filtratach oznaczyć mętność, barwę, zasadowość, pH i utlenialność wody. Po zakończonym ćwiczeniu przeprowadzić ponowne płukanie złoża filtracyjnego.

## OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Wysokość złoza w spoczynku: ....., m  
Średnica złoza: ....., m

### Tabele pomiarowe

#### Płukanie złoza

| Wysokość złoza w ekspansji, m                           |           |   |   |           |   |   |           |   |   |
|---|-----------|---|---|-----------|---|---|-----------|---|---|
| Nr pomiaru  | 1         | 2 | 3 | 1         | 2 | 3 | 1         | 2 | 3 |
| Czas płukania, s  |           |   |   |           |   |   |           |   |   |
| Objętość wody, dm <sup>3</sup>                          |           |   |   |           |   |   |           |   |   |
| Intensywność płukania, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h | (średnia) |   |   | (średnia) |   |   | (średnia) |   |   |

#### Filtracja wody

| Filtrat | Mętność, NTU | Barwa, g Pt/m <sup>3</sup> | Zasadowość, mol/m <sup>3</sup> | pH | Utlenialność, g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> |
|---------|--------------|----------------------------|--------------------------------|----|--|
| 0       |              |                            |                                |    |  |
| 1       |              |                            |                                |    |  |
| 2       |              |                            |                                |    |  |
| 3       |              |                            |                                |    |  |
| 4       |              |                            |                                |    |  |

Zmiany wartości poszczególnych wskaźników jakości wody nanieść na wykres w funkcji czasu filtracji. Na podstawie otrzymanych wyników określić skuteczność procesu filtracji pospiesznej oraz wyznaczyć graficznie zależność ekspansji złoza filtracyjnego podczas płukania od intensywności płukania złoza.

## LITERATURA:

- [1] A. L. Kowal, M. Świdorska-Bróż, M. Wolska: *Oczyszczanie wody, Tom 2, Procesy jednostkowe oczyszczania wody*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2023
- [2] M. Wolska, A. Urbanowska: *Projektowanie zakładów oczyszczania wody*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2020
- [3] J. Nawrocki: *Uzdatnianie wody. Część 1*, Wydawnictwo PWN, Warszawa, 2020
- [4] B. G. Gomółkowie, *Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1996
- [5] *Oczyszczanie wody i wybrane zagadnienia z oczyszczania wody. Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych*. ZWUŚiO III rok, TWS IV rok, Politechnika Wroclawska



# Ćwiczenie 3

## Badania procesu adsorpcji

### WSTĘP TEORETYCZNY

Proces adsorpcji należy do grupy najbardziej efektywnych metod usuwania zanieczyszczeń organicznych z wody i ze ścieków. W oczyszczaniu wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi proces ten stosowany jest przede wszystkim w celu usunięcia rozpuszczonych związków organicznych powodujących barwę i zapach wody oraz prekursorów ubocznych produktów dezynfekcji i utleniania. Ponadto, adsorpcja znajduje zastosowanie w usuwaniu z wody zanieczyszczeń, których nawet śladowe ilości mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia konsumentów. Zdecydowanie rzadziej adsorpcję stosuje się do usuwania zanieczyszczeń nieorganicznych (metali ciężkich).

W oczyszczaniu wody jako adsorbenty najczęściej stosuje się **węgle aktywne**. Proces adsorpcji na węglu aktywnym to także jedna z metod dechloracji wody. W wielu zakładach oczyszczania wody, jako podłoże dla mikroorganizmów powodujących biochemiczny rozkład związków organicznych w oczyszczanej wodzie stosuje się węgiel aktywny w postaci pylistej, granulowanej, ziarnistej czy formowanej.

Proces adsorpcji na adsorbentach porowatych, jakimi są najczęściej węgle aktywne, polega na wiązaniu usuwanych zanieczyszczeń (adsorbatów) na powierzchni adsorbentu. Jeżeli siły wiążące adsorbat są duże, co powoduje, że proces jest praktycznie nieodwracalny, zachodzi adsorpcja chemiczna (chemisorpcja). Siły wywołujące adsorpcję mają charakter chemiczny, a adsorpcja polega na chemicznym łączeniu się cząsteczek adsorbentu z powierzchnią adsorbentu. Siły warunkujące chemisorpcję są siłami kowalencyjnymi, z mniejszym lub większym udziałem sił jonowych. Jeżeli siły te są słabsze, jak przy wiązaniu siłami van der Waalsa, to proces ma charakter odwracalny. Mówi się wówczas o adsorpcji fizycznej, gdzie cząsteczki nie są trwale umiejscowione w centrach aktywnych powierzchni adsorbentów, lecz znajdując się w strefie oddziaływania tych centrów, mogą się przemieszczać po powierzchni adsorbentu.

W przypadku adsorpcji fizycznej substancję zaadsorbowaną można dość łatwo usunąć z powierzchni adsorbentu, natomiast w przypadku chemisorpcji jest to trudne i wymaga drastycznych środków.

Adsorpcja z roztworów wodnych na węglach aktywnych jest w swojej istocie procesem dyfuzyjnym, polegającym na jednokierunkowym transporcie adsorbentu. Do opisu procesu adsorpcji wykorzystuje się analizę czynników kinetycznych, statycznych oraz dynamikę procesu.

Powszechnie stosowanymi materiałami adsorpcyjnymi (adsorbentami) są węgle aktywne, które wyróżnia duża powierzchnia właściwa (do 3000 m<sup>2</sup>/g) i znaczna objętość porów. W praktyce w oczyszczaniu wody najczęściej wykorzystuje się sorbenty węglowe, a w szczególności węgle aktywne, w postaci granulowanej/ziarnistej/formowanej oraz pylistej. Cechy węgla aktywnych zależą od rodzaju surowca, z którego są wytwarzane oraz od warunków aktywacji. Surowcami mogą być: węgiel drzewny, antracyt, półkoks (torfowy i ksylitowy), węgiel brunatny i kamienne, trociny, łupiny orzechów, pestki, kości itp.

Pyliste węgle aktywne (PWA) dawkowane są do oczyszczanej wody w układzie porcjowym, z kolei oczyszczanie przy użyciu granulowanych węgla aktywnych (GWA) najczęściej zachodzi w warunkach przepływowych (tj. materiał adsorpcyjny stanowi warstwę złoża w wydzielonych kolumnach adsorpcyjnych). Poza granulowanymi czy ziarnistymi

węglami aktywnymi na rynku dostępne są też formowane węgle aktywne, których cechą jest brak zróżnicowania uziarnienia.

O skuteczności i przydatności sorbentów w oczyszczaniu wody decydują ich następujące cechy: pojemność adsorpcyjna, wielkość powierzchni właściwej, wielkość porów i ich rozkład, chemiczna natura powierzchni (liczba i rodzaj grup funkcyjnych) i uziarnienie, a w przypadku sorbentów wykorzystywanych w systemach przepływowych również ich wytrzymałość na ścieranie i kruszenie.

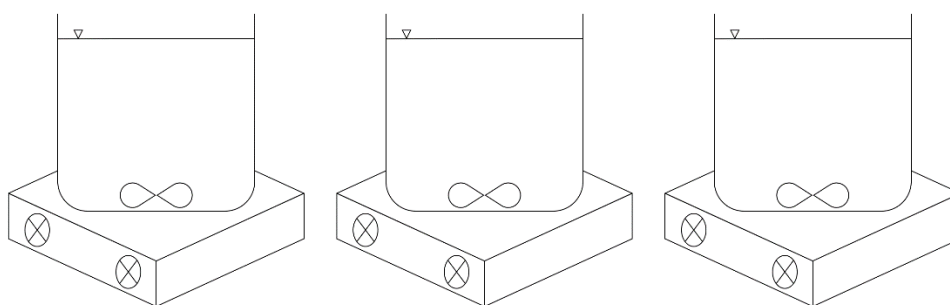
Po wyczerpaniu pojemności sorpcyjnej, węgiel aktywny może zostać poddany procesowi regeneracji. Możliwe jest to dzięki metodom fizycznym (termiczne, ciśnieniowe, próżniowe, parowe, przy pomocy mikrofal), chemicznym (poprzez zastosowanie rozpuszczalników organicznych, utleniaczy chemicznych lub roztworów kwasów lub zasad) lub mikrobiologicznym. Możliwość regeneracji węgla uwarunkowana jest typem zachodzącej adsorpcji (fizyczna, chemiczna), a zatem zależna jest od tego, jakie zanieczyszczenia były usuwane z wody. Proces regeneracji ma zapewnić ponowne wykorzystanie sorbentu, a czasami także adsorbentu. Ma to miejsce najczęściej w przypadku wykorzystania adsorpcji do oczyszczania wody przemysłowej lub zaawansowanych metod oczyszczania ścieków.

### CEL ĆWICZENIA:

- zapoznanie się z procesem adsorpcji na węglu aktywnym,
- określenie wpływu dawki adsorbentu na zamianę wybranych parametrów fizyczno-chemicznych oczyszczanej wody,
- określenie wpływu czasu kontaktu adsorbentu z oczyszczaną wodą na skuteczność procesu.

### SPOSÓB WYKONANIA ĆWICZENIA

Testy procesu adsorpcji prowadzone są na stanowisku wyposażonym w 3 mieszadła z systemem regulacji prędkości obrotowej. Schemat stanowiska laboratoryjnego do badania procesu adsorpcji przedstawiono na Rysunku 3.



Rysunek 3. Schemat stanowiska badawczego do przeprowadzenia procesu adsorpcji

W wodzie surowej należy oznaczyć:

- barwę ( $\lambda_1 = 340 \text{ nm}$ ,  $\lambda_2 = 410 \text{ nm}$ ),
- absorbancję ( $\lambda_1 = 254 \text{ nm}$ ,  $\lambda_2 = 272 \text{ nm}$ ),
- pH,
- zasadowość,
- mętność,
- RWO.

Jako wskaźnik opisujący właściwości rozpuszczonych substancji organicznych zawartych w wodzie może być wykorzystywana absorbcja właściwa.

Absorbancję właściwą SUVA należy obliczyć korzystając ze wzoru:

$$SUVA = \frac{Abs_{254nm}}{RWO}, \frac{m^2}{g}$$

gdzie:

$Abs_{254\text{ nm}}$  - absorbcja światła o długości fali 254 nm,  $m^{-1}$ ,

RWO - zawartość ogólnego węgla organicznego w roztworze,  $g/m^3$ .

Proces adsorpcji należy realizować w układzie porcjowym dla trzech prób wody (woda powierzchniowa). W tym celu należy odmierzyć i przelać do litrowych zlewek po  $800\text{ cm}^3$  wody surowej. Do każdej z prób zadawkować granulowany węgiel aktywny (dawki ustala prowadzący), ustawić zlewki na mieszadle magnetycznym i uruchomić mieszanie. Obroty mieszadła ustawić w taki sposób, by zapewnić zawieszenie węgla aktywnego w całej objętości próby. Proces realizować przez 45 min, pobierając próbki wody do analiz w 15-minutowych interwałach czasowych. Wyłączyć mieszadła, a zlewki zestawić z mieszadła. Poddać próby wody kilkuminutowej sedymentacji. Po tym czasie, z każdej zlewki zlewarować ok.  $300\text{ cm}^3$  i przesączyć przez odpowiednie sączki. W przesączu oznaczyć zasadowość, intensywność barwy ( $\lambda_1 = 340\text{ nm}$ ,  $\lambda_2 = 410\text{ nm}$ ), absorbcję ( $\lambda_1 = 254\text{ nm}$ ,  $\lambda_2 = 272\text{ nm}$ ) i RWO (tylko w ostatniej próbie wody). Pozostałą część wody poddać dalszej sedymentacji. Sklarowaną wodę zlewarować i oznaczyć jej pH oraz mętność.

## OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki analiz oraz obliczone stopnie zmniejszenia intensywności barwy, absorbcji oraz SUVA zestawić tabelarycznie oraz graficznie w postaci wykresów. Przeprowadzić dyskusję uzyskanych wyników badań. Ponadto, na podstawie uzyskanych wyników wyznaczyć najbardziej korzystne parametry prowadzenia procesu adsorpcji.

Tabela pomiarowa

|                            | pH  | Zasadowość, $mol/m^3$ | Mętność, NTU | Barwa ( $\lambda_1=340\text{ nm}$ ), $gPt/m^3$ | Barwa ( $\lambda_1=410\text{ nm}$ ), $gPt/m^3$ | ABS ( $\lambda_1=254\text{ nm}$ ) | ABS ( $\lambda_1=272\text{ nm}$ ) | RWO, $g/m^3$ |
|----------------------------|---|-----------------------|--------------|--|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| <b>Woda surowa</b>         |   |                       |              |  |  |                                   |                                   |              |
|                            | <b><math>D_1 = \dots\dots\text{ cm}^3/dm^3</math></b> |                       |              |  |  |                                   |                                   |              |
| Woda oczyszczona po 15 min |   |                       |              |  |  |                                   |                                   | -            |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|
| Woda oczyszczona po 30 min                                 |  |  |  |  |  |  |  |  | - |
| Woda oczyszczona po 45 min                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |   |
| <b>D<sub>2</sub> = ..... cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup></b> |  |  |  |  |  |  |  |  |   |
| Woda oczyszczona po 15 min                                 |  |  |  |  |  |  |  |  | - |
| Woda oczyszczona po 30 min                                 |  |  |  |  |  |  |  |  | - |
| Woda oczyszczona po 45 min                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |   |
| <b>D<sub>3</sub> = ..... cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup></b> |  |  |  |  |  |  |  |  |   |
| Woda oczyszczona po 15 min                                 |  |  |  |  |  |  |  |  | - |
| Woda oczyszczona po 30 min                                 |  |  |  |  |  |  |  |  | - |
| Woda oczyszczona po 45 min                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |   |

## LITERATURA

- [1] A. L. Kowal, M. Świdorska-Bróz, M. Wolska: *Oczyszczanie wody, Tom 2, Procesy jednostkowe oczyszczania wody*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2023
- [2] M. Wolska, A. Urbanowska: *Projektowanie zakładów oczyszczania wody*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2020
- [3] J. Nawrocki: *Uzdatnianie wody. Część 1*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2020
- [4] W. Adamski: *Modelowanie systemów oczyszczania wód*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002
- [5] A. M. Anielak: *Wysokoefektywne metody oczyszczania wody*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2015

# SPOSÓB WYKONANIA OZNACZEŃ

## Barwa

Oznaczenie przy użyciu spektrofotometru przy długości fali 340/410 nm. Wyniki wyrażane są w g Pt /m<sup>3</sup>.

## Absorbancja

Oznaczenie przy użyciu spektrofotometru przy długości fali 254/272 nm. Wyniki wyrażane są w cm<sup>-1</sup>.

## Rozpuszczony Węgiel organiczny (RWO)

Oznaczenie przy użyciu analizatora węgla Hach IL550 w próbkach sączonych przez sączek 0,45 µm. Wyniki wyrażane są w g C/m<sup>3</sup>.

## Mętność

- ✓ wymieszać próbkę badanej wody,
- ✓ napełnić butelkę, zakręcić i ponownie wymieszać,
- ✓ wstawić butelkę do mętnościomierza,
- ✓ odczytać wynik w NTU.

## Zasadowość

### **Zasadowość F**

- ✓ do kolby stożkowej odmierzyć 100 cm<sup>3</sup> badanej wody/ścieków (V<sub>próbki</sub>),
- ✓ dodać 5 kropli wskaźnika fenoloftaleiny,
- ✓ miareczkować kwasem solnym o stężeniu 0,1 mol/dm<sup>3</sup> (C<sub>HCl</sub>) do zaniku różowego zabarwienia.

Zasadowość wobec fenoloftaleiny:

$$\text{Zas F} = C_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{zużytego HCl}} \cdot 1000 / V_{\text{próbki}}, \text{ mmol/dm}^3$$

### **Zasadowość ogólna (M)**

- ✓ do roztworu zachowanego po oznaczaniu zasadowości wobec fenoloftaleiny (lub do kolby stożkowej o pojemności 250 cm<sup>3</sup> odmierzyć 100 cm<sup>3</sup> próbki (V<sub>próbki</sub>) jeśli wykonujemy tylko zasadowość ogólną),
- ✓ dodać 5 - 10 kropli wskaźnika: zieleń bromokrezolowa - czerwień metylowa,
- ✓ miareczkować kwasem solnym o stężeniu 0,1 mol/dm<sup>3</sup> (C<sub>HCl</sub>) do zmiany zabarwienia z zielonkavo-niebieskiego na szare.

Zasadowość ogólna:

$$\text{Zas M} = C_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{zużytego HCl}} \cdot 1000 / V_{\text{próbki}}, \text{ mmol/dm}^3$$

Uwaga: w przypadku oznaczania Zas M po oznaczeniu Zas F należy pamiętać, że  $V_{\text{zużytego HCl}}$  jest sumą objętości roztworu HCl zużytego podczas miareczkowania próbki wobec fenoloftaleiny i zieleni bromokrezolowej - czerwieni metylowej.

### Utlenialność

- ✓ z kolby, w której uprzednio wykonano oznaczenie utlenialności wylać zawartość, nie płukać,
- ✓ do wytrawionej kolby stożkowej odmierzyć 100 cm<sup>3</sup> wody,
- ✓ dodać 10 cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1+3),
- ✓ dodać 10 cm<sup>3</sup> KMnO<sub>4</sub>,
- ✓ ogrzewać w łaźni wodnej przez 30 min,
- ✓ po wyjęciu z łaźni dodać 10 cm<sup>3</sup> kwasu szczawowego (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) i mieszać zawartość kolby do odbarwienia próby,
- ✓ po odbarwieniu miareczkować na gorąco KMnO<sub>4</sub> do wystąpienia słabo różowego zabarwienia.

$$\text{Utlenialność} = (a - b) \cdot 0,1 \cdot 1000 / V, \text{ g O}_2/\text{m}^3$$

gdzie:

- a – ilość 0,0125 n r-r KMnO<sub>4</sub> zużytego na zmiareczkowanie próbki, cm<sup>3</sup>,
- b – ilość 0,0125 n r-r KMnO<sub>4</sub> zużytego na utlenienie związków organicznych zawartych w 100 cm<sup>3</sup> wody destylowanej, cm<sup>3</sup>,
- V – objętość próbki wody/ścieków użyta do oznaczenia,
- 0,1 – przelicznik, 1 cm<sup>3</sup> 0,1 molowego HCl odpowiada 0,1 mmol/dm<sup>3</sup>.