



Politechnika Wroclawska

WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA

KIERUNEK: INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

SPECJALNOŚĆ: Zaopatrzenie w wodę, usuwanie ścieków

i zagospodarowanie odpadów

STUDIA STACJONARNE II STOPNIA

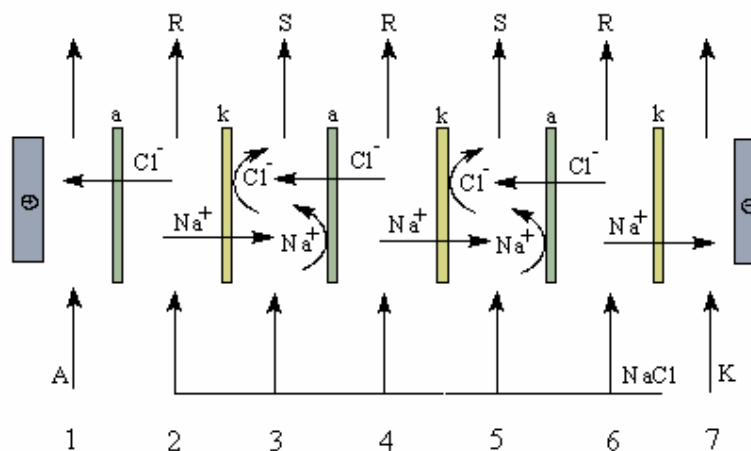
OCZYSZCZANIE WODY
INSTRUKCJE DO ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH

1. – Elektrodialityczne odsalanie roztworów
2. – Oczyszczanie wody w procesie ultrafiltracji
3. – Demineralizacja wody w procesie wymiany jonowej
4. – Usuwanie naturalnych substancji organicznych z wody w procesie wymiany jonowej
5. – Dekarbonizacja wody
6. – Usuwanie fosforanów

Opracowanie: Prof.dr hab. inż. Małgorzata KABSCH-KORBUTOWICZ
dr hab inż. Katarzyna MAJEWSKA-NOWAK

1. ELEKTRODIALITYCZNE ODSALANIE ROZTWORÓW

Elektrodializa (ED) jest jednym z procesów membranowych, którego istota polega na ukierunkowanym transporcie jonów pod wpływem stałego pola elektrycznego. Ułożone w elektrodializerze na przemian membrany kationowymienne (transportujące wyłącznie kationy) oraz anionowymienne (transportujące aniony) dzielą elektrodializer na komory odsalania (komory dializatu) i zateżnienia roztworu (komory koncentratu) (rys. 1). Roztwory zasilające każdą z grup komór (w tym także komory elektrodowe) są cyrkulowane w celu wyrównania stężenia w komorze a tym samym ograniczenia efektu polaryzacji stężeniowej.



Rys.1. Zasada procesu elektrodializy roztworu chlorku sodu:

a – membrana anionoselektwna, k- membrana kationoselektwna, R – roztwór odsolony (dializat), S – roztwór zateżniony (koncentrat), A – anodit, K – katodit (nie zaznaczono reakcji elektrodowych)

W czasie procesu, w wyniku przepływu jonów, obserwuje się spadek przewodności elektrolitycznej dializatu, czego skutkiem jest stopniowe zmniejszanie natężenia prądu płynącego w układzie, a tym samym spadek sprawności procesu. Wzrost napięcia przyłożonego do elektrod utrzymuje wprawdzie wartość prądu, lecz zwiększa zarazem zużycie energii.

W procesie elektrodializy wykorzystuje się membrany jonowymienne. Są to półprzepuszczalne błony uzyskane z przestrzennie usieciowanych polimerów z wbudowanymi w ich strukturę grupami jonowymiennymi. Membrany kationowymienne zawierają w dużym stężeniu silnie związane z siecią polimerową ujemnie naładowane grupy (np. $-\text{SO}_3^{2-}$) zaś membrany anionowymienne - grupy naładowane dodatnio (np. $-\text{NH}_3^+$).

Membrany jonowymienne powinny wykazywać następujące właściwości:

- wysoką selektywność w stosunku do jednego rodzaju jonów,
- małą oporność elektryczną,
- dużą zdolność wymienną,
- dużą odporność mechaniczną (kształtu),
- dużą odporność chemiczną.

Do realizacji procesu elektrodializy służy tzw. stos elektrodialityczny (elektrodializer) składający się z kationo- i anionowymiennych membran zainstalowanych naprzemiennie. Membrany oddzielone są przekładkami dystansującymi, a całość umieszczona jest pomiędzy elektrodami o przeciwnych znakach (katodą i anodą).

Ogólnie ED stosuje się w następujących celach:

- zwiększania/zmniejszania stężenia elektrolitu w roztworze,
- oddzielania elektrolitu od nieelektrolitu,
- oddzielania jonów jednowartościowych od wielowartościowych,

Zalety ED:

- zmniejszenie liczby jednostkowych operacji,
- eliminacja dodatkowych reagentów,
- ograniczenie strat produktu,
- minimalizacja szkodliwych dla środowiska odpadów.

Wady ED:

- nieidealna selektywność membrany,
- konieczność wstępnego oczyszczania roztworów, aby membrany nie ulegały blokowaniu dużymi jonami i nie wytrącały się osady węglanów i siarczanów - oczyszczanie to nie jest idealne i wymagane jest usuwanie osadów w czasie procesu, rozwiązaniem tego problemu może być tzw. elektrodializa odwracalna z okresową zmianą kierunku przepływu prądu (wydłużenie czasu eksploatacji membrany, obniżenie kosztów).

PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA ED

- odsalanie wód o zasoleniu około 5 g NaCl/dm³ lub mniejszym w celu uzyskania wody do picia o zasoleniu < 0,5 g/dm³,
- produkcja soli z wody morskiej; wodę morską (o stężeniu ok. 3% soli) zateża się techniką ED do 20%, a następnie usuwa wodę przez odparowanie,
- oczyszczanie przemysłowych wód odpadowych celem ponownego ich użycia jako wody przemysłowej,
- przy uzdatnianiu wody do celów kotłowych, ED może zastąpić wymianę jonową (przy stężeniach soli powyżej 0,2 g/dm³),
- w przemyśle spożywczym i farmaceutycznym ED służy do :
 - odsalania i odkwaszania związków organicznych, rozdzielania aminokwasów,
 - wspomagania procesu fermentacji,

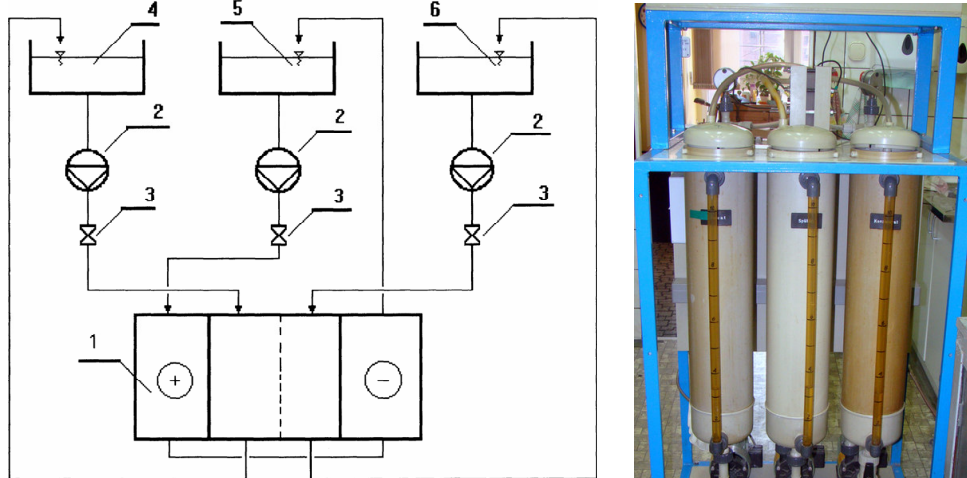
- usuwania z surowej serwatki soli nieorganicznych (po odsoleniu serwatka nadaje się do produkcji żywności),
- odkwaszania soków (cytrynowego, grejpfrutowego),
- produkcji mleka o niskiej zawartości jonów Na^+ przez wymianę jonów Na^+ na Ca^{2+} , K^+ lub Mg^{2+} ,
- odsalanie białek, aminokwasów, dekstryn.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z procesem odsalania wody słonawej metodą elektrodializy.

PRZEBIEG ĆWICZENIA

Aparatura

Schemat aparatury badawczej przedstawia rys.2. Elektrodializer firmy GOEMASEP (1) może być wyposażony maksymalnie w 20 par komór z membranami firmy NEOSEPTA o jednostkowej powierzchni czynnej 36 cm^2 . Pomiędzy membranami znajdują się przekładki arkuszowe („sheet flow”). Regulacja wydajności pomp cyrkulacyjnych (2) odbywa się za pomocą zaworów (3), zaś kontrolę przepływu mediów umożliwiają rotametry. Maksymalna wydajność pomp wynosi $150 \text{ dm}^3/\text{h}$ - prędkość przepływu w komórze odsalania i zateżnienia jest wówczas równa 10 cm/s . Źródłem pola elektrycznego jest zasilacz prądowy o mocy 300 W . Instalacja wyposażona jest w trzy zbiorniki cyrkulacyjne (4 - zbiornik dializatu, 5 - zbiornik roztworu płuczącego elektrody, 6 - zbiornik koncentratu) o objętości 10 dm^3 .



Rys.2. Schemat laboratoryjnej instalacji GOEMASEP ED.
1-elektrodializer; 2-pompy; 3-zawory regulacyjne; 4-zbiornik dializatu;
5-zbiornik roztworu elektrodowego; 6 - zbiornik koncentratu.

Przygotowanie stanowiska do badań

Przed rozpoczęciem ćwiczenia należy opróżnić poszczególne układy z wody destylowanej. Następnie napełnić zbiorniki odpowiednim medium (roztwór elektrodowy, odsalany roztwór – $0,5\% \text{ CaCl}_2$) i włączyć pompy. Zasilacz może być włączony dopiero wówczas, gdy każdy z układów wypełni się cieczą.

Sposób wykonania ćwiczenia

Zasilacz nastawić na wartość natężania prądu wskazaną przez prowadzącego ćwiczenia. Badanie procesu prowadzić do momentu, w którym przy maksymalnej wartości przyłożonego do elektrod napięcia, w układzie zacznie spadać natężenie prądu (nie dłużej niż 2 godziny).

W czasie procesu należy wykonać następujące operacje i oznaczenia:

- 1) przeprowadzić analizę wody słonawej (pH, przewodność elektrolityczną, zasadowość, stężenie wapnia i chlorków),
- 2) notować zmiany przyłożonego napięcia w czasie (np. co 15 min),
- 3) okresowo (np. co 20 min) pobierać próbki wody z obiegu dializatu oraz koncentratu i wykonać oznaczenia jak w p.1 (po analizie wlać próbki do odpowiednich zbiorników),
- 4) po zakończeniu procesu wyłączyć zasilacz, zlać osobno roztwory z każdego obiegu, określić objętość i wykonać oznaczenia jak w p.1.

UWAGA: w czasie ćwiczenia stężenia soli w pobieranych próbach mogą się znacznie różnić. Należy zwrócić uwagę na dobranie odpowiednich rozcieńczeń prób do analiz.

Po wykonaniu ćwiczenia wypłukać instalację, najpierw wodą wodociągową, a na końcu wodą destylowaną.

OBLICZENIA

1) obliczyć sprawność prądową procesu:

$$\eta_p = \frac{\mathcal{E}_{rz}}{\mathcal{E}_{th}} \cdot 100\%$$

\mathcal{E}_{rz} - rzeczywista ilość przeniesionych jonów (kationów lub anionów) z komory dializatu do komory koncentratu, val

\mathcal{E}_{th} - teoretyczna ilość przeniesionych jonów, val

$$\mathcal{E}_{rz} = V_p S_p - V_k S_k$$

V_p - początkowa objętość dializatu, m³

V_k - końcowa objętość dializatu, m³

S_p - sumaryczne stężenie początkowe jonów danego znaku w roztworze, val/m³

S_k - sumaryczne końcowe stężenie jonów, val/m³

Z prawa Faradaya wynika zależność pomiędzy transportowanym ładunkiem elektrycznym (mierzonym w amperach I) a transportowanymi jednocześnie jonami:

$$\text{(dla jednej pary membran)} \quad \mathcal{E}_{th} = \frac{I \cdot t}{F}$$

$$\text{stąd, dla n par membran} \quad \mathcal{E}_{th} = \frac{n \cdot I \cdot t}{F}$$

n - ilość komór (par membran) dializatu,

I - natężenie prądu, A

t - czas procesu, s

F - stała Faradaya (96500 As/val)

Sprawność prądową należy obliczyć osobno dla kationów i anionów.

- 2) sporządzić wykres zmian napięcia w funkcji czasu ($U=f(t)$) i na jego podstawie obliczyć zużycie energii E_c i wskaźnik zużycia energii W_e

$$E_c = I \cdot (U \cdot t), \quad Wh$$

E_c można wyznaczyć obliczając pole pod wykresem $U=f(t)$ (metoda obliczania pola dowolna, np. można podzielić pole wykresu na n trapezów o powierzchni P_i) i obliczyć

$$E_c = I \cdot \sum P_i, \quad Wh$$

$$W_e = \frac{E_c}{\text{£}_{rz}} = \frac{I \cdot \sum U \cdot \Delta t}{\text{£}_{rz}}, \quad Wh/val$$

lub

$$W_e = \frac{E_c}{V} = \frac{I \cdot \sum U \cdot \Delta t}{V}, \quad Wh/m^3$$

- 3) obliczyć stopień obniżenia stężenia wapnia i chlorków oraz wartości przewodności elektrolitycznej

$$\eta_o = \frac{\text{£}_{rz}}{V_p \cdot S_p} \cdot 100\%$$

- 4) sporządzić wykresy obrazujące zmiany oznaczanych wskaźników zanieczyszczenia w funkcji czasu (w dializacie i koncentracie)
- 5) wyniki obliczeń umieścić w tabeli i omówić.

LITERATURA

1. „Procesy membranowe”, R.Rautenbach, WNT, Warszawa 1996.
2. „Oczyszczanie wody”, A.L.Kowal, M.Świdorska-Bróż, Wyd.Naukowe.PWN, Warszawa 1996.
3. „Odnowa wody”, A.L.Kowal, PWr, Wrocław 1996.
4. „Techniki membranowe w ochronie środowiska”, M.Bodzek, J.Bohdziewicz, K.Konieczny, Wyd.Polit.Śl., Gliwice 1997.
5. „Wykorzystanie procesów membranowych w uzdatnianiu wody”, M.Bodzek, K.Konieczny, Projprzem-EKO, Bydgoszcz 2005.
5. „Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody”, B.E.Gomółkowie, PWr 1996.

2. USUWANIE SUBSTANCJI HUMUSOWYCH Z WODY METODĄ ULTRAFILTRACJI

Wody powierzchniowe i podziemne zawierają naturalne domieszki organiczne. Przeważają w nich na ogół substancje humusowe. Substancje te nadają wodom żółto-brązowe zabarwienie, pogarszając jakość wody jako surowca dla przemysłu, np. włókienniczego (farbowanie, bielenie) lub papierniczego. Substancje humusowe mogą też zmniejszać skuteczność uzdatniania wód kotłowych. W procesach oczyszczania wody kwasy humusowe mogą podczas chlorowania powodować powstawanie trójhalegenometanów lub też łączyć się z wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi. Te cechy substancji humusowych, powodują konieczność ich usuwania z wód przeznaczonych do celów spożywczych.

Substancje humusowe mogą być skutecznie usuwane z wody przy wykorzystaniu ciśnieniowych procesów membranowych (np. ultrafiltracji).

Proces ultrafiltracji (UF) polega na fizycznym odsiewaniu cząsteczek substancji rozpuszczonych lub koloidalnych przez membrany o odpowiedniej wielkości porów. Metoda ta umożliwia usunięcie cząstek o wielkości od 10^{-3} do $10\ \mu\text{m}$ (w przypadku substancji rozpuszczonych usuwane są cząsteczki o masach cząsteczkowych od 1000 do 100 000 D). Siłą napędową procesu jest różnica ciśnień po obu stronach membrany. Różnica ciśnień nie przekracza zwykle 1 MPa (10 atm).

W procesie ultrafiltracji stosuje się membrany o budowie asymetrycznej zbudowane z cienkiej ultraporowatej skórki (o grubości 0,1 - 1,0 μm) wspartej na makroporowatym podłożu (o grubości 50 - 150 μm). Graniczna rozdzielczość membran ultrafiltracyjnych (*cut-off*), określająca najmniejszą masę cząsteczkową substancji zatrzymywanych przez membranę z co najmniej 90% skutecznością, wynosi od 1000 do 100000 D. Dostępne na rynku membrany ultrafiltracyjne wytwarzane są obecnie z materiałów organicznych (pochodnych celulozy, polichlorku winylu, poliakrylonitrylu, polisulfonu i in.) lub nieorganicznych (spieków ceramicznych).

Przy szerokiej gamie i dużych możliwościach modyfikacji membran istnieje możliwość zapewnienia skutecznej separacji zarówno naturalnych substancji humusowych, jak i ich połączeń z innymi, zwłaszcza toksycznymi, zanieczyszczeniami. Masa cząsteczkowa kwasów humusowych waha się od kilkuset do kilku tysięcy D (a nawet kilku milionów) i w znacznym stopniu zależy od pochodzenia materiału organicznego. Większość molekuł ma kształt kulek o średnicy 1-10 nm.

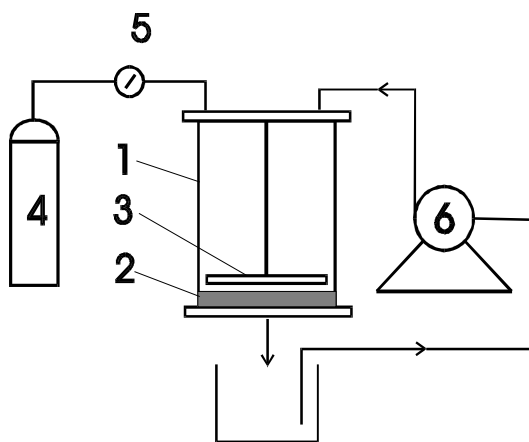
Zastosowanie technik membranowych (odwróconej osmozy i ultrafiltracji) w uzdatnianiu wody pozwala na:

- usuwanie szerokiej gamy zanieczyszczeń (od jonów do cząsteczek oraz bakterii i wirusów),
- prowadzenie procesu bez dodatku innych reagentów, których część pozostając w wodzie powoduje jej wtórne zanieczyszczenie,
- wyeliminowanie problemów osadów poprocesowych,
- uzyskiwanie produktu o stałym składzie i niezmienionej temperaturze,
- ciągłe prowadzenie procesu i jego automatyzację.

Celem ćwiczenia jest sprawdzenie przydatności ultrafiltracji do usuwania substancji humusowych z wody oraz analiza wpływu właściwości membrany oraz warunków prowadzenia procesu na właściwości separacyjne i transportowe membran.

Stanowisko badawcze

Określenie właściwości separacyjnych i transportowych membran ultrafiltracyjnych prowadzone są z wykorzystaniem instalacji, której schemat przedstawiono na rys.3. Podstawowym elementem instalacji jest komora ultrafiltracyjna Amicon 8400 (Rys.4). Średnica testowanych membran wynosi 76 mm, natomiast całkowita pojemność komory - 350 cm³. W celu utrzymania stałego stężenia substancji w roztworze zasilającym stosowana jest recyrkulację permeatu do komory.



Rys.3. Schemat instalacji do testowania płaskich membran organicznych



Rys.4. Komora filtracyjna Amicon 8400

(1-komora filtracyjna, 2-membrana, 3-mieszadło, 4-butla z gazem, 5-reduktor, 6-pompa recyrkulacyjna)

Membrany : płaskie membrany ultrafiltracyjne o *cut-off* 5, 10, 30 i 150 kD.

Sposób wykonania ćwiczenia

- 1) zamontować membranę w komorze i napełnić komorę wodą redestylowaną;
- 2) doprowadzić do komory gaz i określić, metodą objętościową, strumień permeatu przy ciśnieniu transmembranowym 0,05, 0,1, 0,15 i 0,2 MPa;
- 3) napełnić komorę roztworem zawierającym naturalne substancje organiczne;
- 4) doprowadzić do komory gaz i określić, metodą objętościową, strumień permeatu przy ciśnieniu transmembranowym 0,05, 0,1, 0,15 i 0,2 MPa; dla każdego ciśnienia pobrać próby permeatu;
- 5) w roztworze zasilającym oraz w pobranych próbach permeatu oznaczyć intensywność barwy oraz absorbancję UV przy długości fali 254 nm.

Obliczenia

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów obliczyć:

- * strumień objętościowy permeatu przepływającego przez membranę
(dla wody redestylowanej oraz oczyszczanego roztworu)

$$J_w = \frac{V}{t \cdot F_{cz}}, \quad m^3 / m^2 d$$

gdzie F_{cz} - czynna powierzchnia membrany

V – objętość permeatu zgromadzona w czasie t

- * współczynnik retencji substancji humusowych (dla intensywności barwy oraz absorbancji UV przy długości fali 254 nm):

$$R = \frac{c_a - c}{c_a} \cdot 100, \quad \%$$

gdzie c_a – zawartość substancji organicznych w roztworze zasilającym

c - stężenie substancji organicznych w permeacie.

Omówić wpływ wartości ciśnienia transmembranowego i *cut-off* membran na:

- strumień wody redestylowanej,
- strumień permeatu podczas oczyszczania wody zawierającej substancje organiczne,
- współczynnik retencji barwy oraz absorbancji UV.

Wyniki zestawić tabelarycznie oraz w postaci wykresów.

LITERATURA

„Odnowa wody”, A.L. Kowal, PWr, 1996.

M. Bodzek, K.Konieczny „Wykorzystanie procesów membranowych w uzdatnianiu wody” Projprzem-EKO 2005

3. DEMINERALIZACJA WODY W PROCESIE WYMIANY JONOWEJ

Demineralizacja wody polega na usunięciu z niej wszystkich kationów i anionów. Częściowe usuwanie jonów nazywane jest odsalaniem. W wodzie odsolonej stężenie soli może być takie, jak np. w wodzie słodkiej (do picia), natomiast w wodzie zdeminiaralizowanej stężenie soli jest prawie takie samo jak w wodzie destylowanej (teoretycznie bliskie zeru). Proces odsalania stosuje się więc przeważnie do silnie zasolonych wód morskich i głębinowych, a także silnie zasolonych wód kopalnianych. Proces całkowitego usuwania soli z wody jest stosowany przede wszystkim do zasilania kotłów wysokoprężnych. Demineralizację wody stosuje się także w wielu zakładach chemicznych, w elektrowniach atomowych, zakładach farmaceutycznych, spożywczych i innych.

Znane i stosowane metody demineralizacji i odsalania to:

- **metody termiczne**

destylacja - metoda demineralizacji polegająca na odparowaniu wody, a następnie kondensacji pary. Jest to proces stosowany coraz rzadziej w uzdatnianiu wody dodatkowej dla kotłów wysokoprężnych, gdyż produkowany destylat zawiera znaczną ilość wolnego i związanego CO₂, amoniaku, krzemianów.

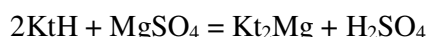
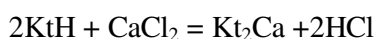
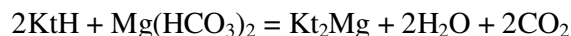
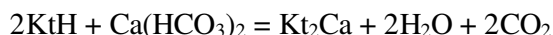
wymrażanie - metoda odsalania polegająca na kolejnych etapach krystalizacji lodu. W wyniku tego procesu otrzymuje się lód (odsolona woda) o strukturze gąbczastej znajdujący się w roztworze ze znaczną zawartością soli. Stopień odsolenia zależy od ilości etapów krystalizacji.

- **elektrodializa** - metoda odsalania polegająca na selektywnej migracji jonów przez membrany jonowymienne w wyniku różnic potencjału elektrycznego. W procesie otrzymuje się roztwór zubożony w jony (diluat, dializat) oraz roztwór zatężony (solanka, koncentrat). Elektrodializę najczęściej stosuje się do odsalania wód słonawych i zatężania wód morskich.
- **odwrócona osmoza** - metoda odsalania (czasami nawet demineralizacji), której podstawą jest zjawisko osmozy (transport rozpuszczalnika przez membranę półprzepuszczalną). Odwrócona osmoza pozwala na oddzielenie rozpuszczalnika (wody) od substancji rozpuszczonych (soli) w wyniku działania na membranę ciśnienia przekraczającego wartość ciśnienia osmotycznego roztworu (ciśnienie robocze 1-10 MPa). Główna dziedzina wykorzystania ED to odsalanie wód słonawych

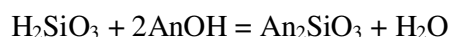
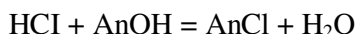
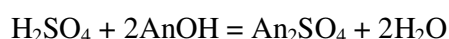
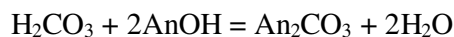
i morskich, zarówno w celu produkcji wody do picia, jak i wody do celów przemysłowych (zasilanie kotłów parowych, produkcja wody ultraczystej dla przemysłu elektronicznego lub farmaceutycznego).

- **wymiana jonowa** - stosując wymiennicze jonowe można wodę częściowo (odsalarie) lub całkowicie (demineralizacja) pozbawić soli. Demineralizację wody zapewnia układ składający się z procesu dekationizacji (na kationitach) i deanionizacji (na anionitach). W zależności od jakości wody surowej i wymagań stawianych wodzie zdeminiaralizowanej dobiera się takie jonity, które zapewniają optymalne efekty technologiczne. Wymiana jonowa znalazła przede wszystkim zastosowanie w przemyśle energetycznym do zasilania kotłów wysokopięnych, a także w zakładach chemicznych, farmaceutycznych, spożywczych.

Najprostszym układem demineralizującym wodę są dwa wymienniki zawierające kolejno silnie kwasowy kationit i silnie zasadowy anionit. Zastosowanie silnie kwasowych kationitów pracujących w cyklu wodorowym pozwala na wymianę wszystkich przeciwjonów na jony wodorowe, zgodnie z reakcjami:



Usunięcie z oczyszczanej wody wszystkich anionów uzyskuje się stosując silnie zasadowe anionity pracujące w cyklu wodorotlenowym:



W układach pełnej demineralizacji (silnie kwasowy kationit - silnie zasadowy anionit) dodatkowo stosuje się odgazowywacz CO₂ (przed anionitem).

Rodzaje jonitów, ich właściwości oraz czynniki wpływające na przebieg wymiany jonowej omówiono w literaturze.

Pełny cykl pracy jonitów obejmuje:

- czas pracy użytecznej do punktu przebiccia (jego długość zależy przede wszystkim od zdolności wymiennej jonitu, stężenia jonów w oczyszczanym roztworze);

- regenerację złoża , która obejmuje:
 - spulchnianie złoża, czyli przeciwprądowe płukanie złoża,
 - regenerację właściwą, czyli przywrócenie zużytemu złożu pierwotnej zdolności wymiennej,
 - płukanie złoża wodą uzdatnioną w celu usunięcia pozostałego czynnika regenerującego.

CEL ĆWICZENIA

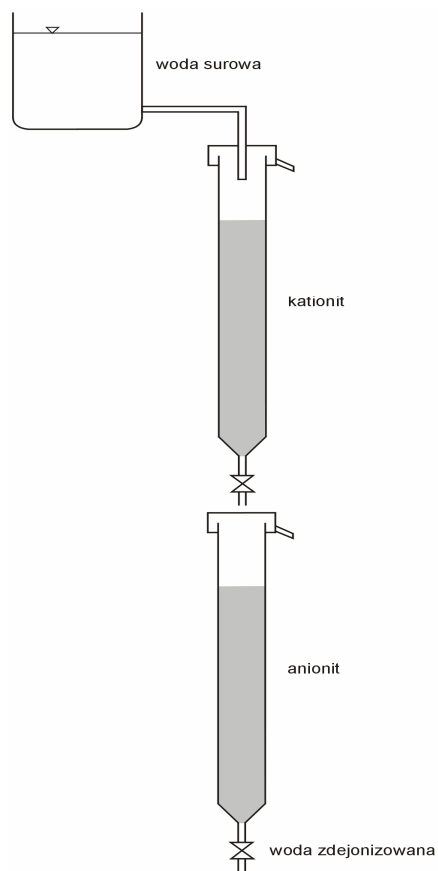
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z procesem demineralizacji wody wodociągowej prowadzonej w układzie: silnie kwasowy kationit - silnie zasadowy anionit.

PRZEBIEG ĆWICZENIA

Schemat stanowiska laboratoryjnego przedstawiono na rysunku 5. Woda wodociągowa filtrowana jest przez warstwę silnie kwasowego kationitu pracującego w cyklu wodorowym, a następnie przez warstwę silnie zasadowego anionitu pracującego w cyklu wodorotlenowym.

Przed przystąpieniem do wykonania ćwiczenia konieczne jest przygotowanie każdego złoża jonitowego do pracy. Etap ten składa się z trzech faz:

- spulchniania złoża,
- regeneracji złoża,
- płukania złoża.



Rys.5. Schemat stanowiska do demineralizacji wody

SPULCHNIANIE ZŁOŻA

Każde złożo należy spulchnić przepuszczając przez warstwę jonitu wodę wodociągową (z dołu do góry) przez 3 minuty (należy kontrolować przepływ wody, aby nie doszło do wypłukania złoża z kolumny).

REGENERACJA ZŁOŻA

Regenerację kationitu prowadzi się za pomocą 5% HCl przepuszczając roztwór kwasu przez złożo (z góry do dołu) z prędkością filtracji 2 m/h przez 10 minut.

Regenerację anionitu prowadzi się przy użyciu 5% NaOH (prędkość filtracji 2 m/h, czas regeneracji -10 minut).

PŁUKANIE ZŁOŻA

Po zakończeniu regeneracji jonitów, w celu usunięcia resztek środków regenerujących, prowadzi się płukanie każdego złoża przy użyciu wody zdejonizowanej (destylowanej). Wodę należy przepuszczać przez złożo (z góry do dołu) z prędkością filtracji 30 m/h. Płukanie kationitu prowadzi się aż do zaniku jonów chlorkowych w wypływie

z kolumny (test z roztworem AgNO_3 – należy też porównać stężenie jonów Cl^- w wodzie destylowanej oraz w wypływie z kationitu). Płukanie anionitu trwa do momentu obniżenia odczynu poniżej 8,3 (test z fenoloftaleiną).

DEMINERALIZACJA WODY

Po przygotowaniu złóż jonitowych można przystąpić do prowadzenia procesu demineralizacji wody.

Wodę wodociągową należy przepuszczać z góry do dołu przez kolumnę z kationitem, a odpływ skierować do kolumny z anionitem. Proces prowadzić z prędkością filtracji 7 m/h. Pierwszą porcję przesączu (około 1 dm^3) należy odrzucić. Następnie pobrać 1 dm^3 wody zdekationizowanej oraz 1 dm^3 wody po przejściu przez anionit i kationit.

W wodzie wodociągowej oraz w filtracie po kationicie i filtracie po kationicie i anionicie oznaczyć: pH, przewodność elektrolityczną, zasadowość, kwasowość, twardość ogólną, chlorki.

Uzyskane wyniki zestawić w tabeli i przedyskutować.

LITERATURA

"Oczyszczanie wody", A.L. Kowal, M. Świdorska-Bróz, PWN, 1996.

"Odnowa wody. Podstawy teoretyczne procesów" A.L. Kowal, Politechnika Wrocławska 1996.

4. 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 prekursorsy 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 29.03.2007) zawartość związków organicznych w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi, wyrażona poprzez wartość utlenialności oraz intensywność barwy, nie powinna przekraczać odpowiednio: 5 g O₂/m³ i 15 g Pt/m³. Aktualnie obowiązujące rozporządzenie Ministra Zdrowia (z dnia 20.04.2010) mówi, że barwa wody powinna być akceptowalna, zaś utlenialność wody nie powinna przekraczać 5 g O₂/m³.

Spośród wielu procesów, które pozwalają na usunięcie z wody naturalnych substancji organicznych, najczęściej do uzdatniania wody stosowane są koagulacja lub adsorpcja na węglu 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 makrocząstek 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 małej frakcji NOM.

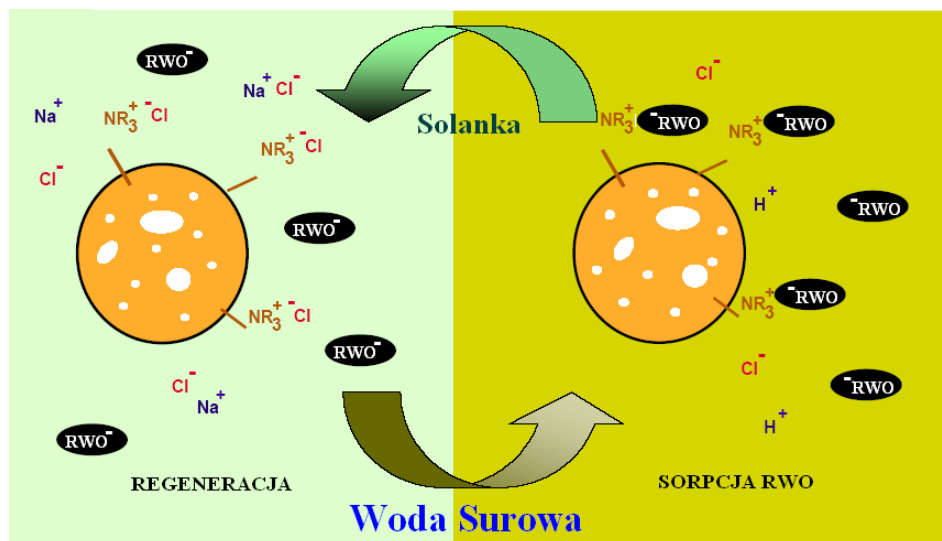
Spośród wielu typów stosowanych żywic anionowymiennych bardzo obiecującym wydaje się być anionit MIEX[®], opracowany w latach 90-tych XX wieku przez firmę Orica Watercare. Silnie zasadowy anionit MIEX[®] dawkowany jest do oczyszczanej wody w postaci zawiesiny. Dzięki małej granulacji (około 180 µm) i 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 kD).

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[®]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[®] 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. Zsedymetowana żywica jest ponownie zawracana do komory reakcji.

Po wyczerpaniu pojemności sorpcyjnej żywicy, jest ona poddawana regeneracji przy użyciu roztworu NaCl lub NaHCO₃.

Zasadę procesu MIEX[®]DOC przedstawiono na rys. 6.



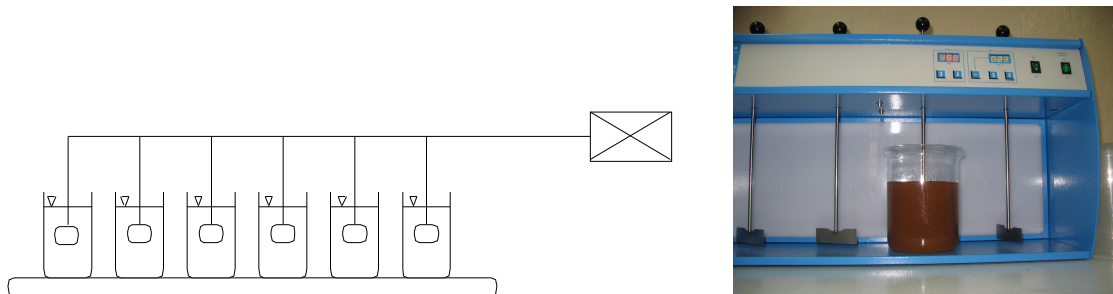
Rys. 6. Zasada procesu MIEX[®]DOC

Cel i zakres ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z procesem MIEX[®]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[®]DOC prowadzone są na sześciostanowiskowym mieszadle, którego schemat przedstawiono na rysunku 7. Urządzenie wyposażone jest w system regulacji prędkości obrotowej mieszadeł.



Rys.7. Schemat stanowiska laboratoryjnego do badania procesu MIEX[®]DOC.

Sposób wykonania ćwiczenia

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

Do 2 cylindrów wlać odpowiednio 2,5 i 15 cm³ żywicy MIEX[®]. Cylindry odstawić na 20 min (w celu zagęszczenia żywicy) ewentualnie korygując zawartość żywicy. Usunąć z cylindrów ciecz z nad żywicy.

Do 2 zlewek wlać, po uprzednim zamieszaniu, 1 dm³ 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 (do wypłukania żywicy z cylindrów używać wody zgromadzonej w zlewkach) i skorygować prędkość obrotową mieszadeł 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. Dodatkowo, w próbach po 60 min, oznaczyć przewodność elektrolityczną, pH, zasadowość i stężenie chlorków.

Opracowanie wyników badań

Wyniki analiz oraz obliczone stopnie zmniejszenia barwy, absorbancji 254 nm i stężenia rozpuszczonego węgla organicznego zestawzić tabelarycznie oraz przedstawić na

wykresach. W tabeli zestawieć także zmiany pozostałych mierzonych parametrów. 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 (η_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

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

www.miexresin.com

5. DEKARBONIZACJA WODY

Dekarbonizacja wapnem ma na celu zmniejszenie twardości węglanowej wody przez wytrącenie osadu węglanu wapnia (CaCO_3) za pomocą wodorotlenku wapnia ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), który wprowadza się do wody w postaci wody wapiennej (nasycony, klarowny, roztwór wodorotlenku wapnia) lub mleka wapiennego (suspensja o zawartości $\text{Ca}(\text{OH})_2$ około 5%) przy zużyciu wapna powyżej 250 kgCaO/d . Dekarbonizację stosuje się zarówno w układach uzdatniania wody przeznaczonej do celów przemysłowych (energetyka, ciepłownictwo), jak również w układach oczyszczania wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

Zastosowanie procesu dekarbonizacji w układzie oczyszczania wody umożliwia – oprócz zmniejszenia jej twardości węglanowej – także usunięcie zanieczyszczeń (mineralnych i organicznych) występujących w postaci koloidów i zawiesin, skuteczne odżelazienie i odmanganienie wody, a także częściowe usunięcie mikroorganizmów.

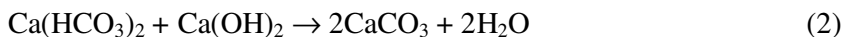
Zasada procesu

Dekarbonizację wapnem (na zimno) stosuje się w wypadku wód o twardości węglanowej powyżej 2 val/m^3 (100 $\text{gCaCO}_3/\text{m}^3$). Woda jest podatna na dekarbonizację, jeżeli jej twardość węglanowa po dekarbonizacji (tzw. twardość szczątkowa) nie przekracza 0,6 val/m^3 (30 $\text{gCaCO}_3/\text{m}^3$), średnio podatna – jeżeli twardość węglanowa po dekarbonizacji mieści się w przedziale 0,6÷0,9 val/m^3 (30÷45 $\text{gCaCO}_3/\text{m}^3$), natomiast niepodatna – jeżeli twardość węglanowa po dekarbonizacji przekracza 0,9 val/m^3 (45 $\text{gCaCO}_3/\text{m}^3$).

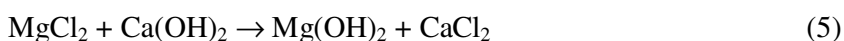
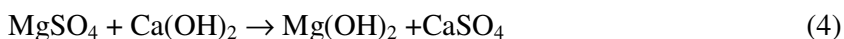
Wodorotlenek wapnia dodany do wody naturalnej reaguje z dwutlenkiem węgla:



a następnie z wodorowęglanem wapnia:



W dalszej kolejności (przy nadmiarze dodanego wodorotlenku wapnia – $\text{pH} > 10,5$) mogą także przebiegać inne reakcje chemiczne między wodorotlenkiem wapnia i solami nadającymi wodzie twardość magnezową:



W celu prawidłowego przebiegu procesu dekarbonizacji wodorotlenek wapnia powinien być dodany do wody w takiej ilości, aby zachodziły jedynie reakcje (1) i (2), które

przebiegają szybko w środowisku zasadowym przy pH w zakresie 9,5÷10, przy niewielkim nadmiarze wodorotlenku wapnia (10÷20 gCaO/m³).

Dawkę wapna ustala się praktycznie na podstawie twardości węglanowej (tj. zasadowości ogólnej) wody zdekarbonizowanej tak, aby utrzymać jak najniższą zasadowość ogólną (M) wody po dekarbonizacji. Warunek ten zachodzi wówczas, gdy spełniona jest zależność $2F=M$ (w której F – zasadowość wody wobec fenoloftaleiny). Wówczas dawka wapna jest właściwa, a zasadowość ogólna wody po dekarbonizacji wynosi około 0,6 val/m³ (ok. 30 gCaCO₃/m³) i wynika z głównie rozpuszczalności węglanu wapnia. W tych warunkach wytrącanie części twardości magnezowej w postaci wodorotlenku magnezu jest nieznaczne i nie zakłóca przebiegu procesu dekarbonizacji. Jeżeli zachodzi zależność $2F>M$, oznacza to, że dawka wapna jest zbyt duża, a w wodzie – oprócz węglanu wapnia – będzie obecny nadmiar wodorotlenku wapnia. Nastąpi też wyraźne wytrącanie wodorotlenku magnezu wraz ze wzrostem pH wody. Jeżeli natomiast $2F<M$, oznacza to, że dawka wapna jest zbyt mała i w wodzie – oprócz węglanu wapnia – będzie jeszcze obecny wodorowęglan wapnia.

Obliczeniową dawkę wodorotlenku wapnia do dekarbonizacji wody wyznacza się z zależności:

$$D_{\text{CaO}} = 28(\text{CO}_2 + t_{\text{w}}) \quad (6)$$

w której:

D_{CaO} – zapotrzebowanie wody na wodorotlenek wapnia, gCaO/m³
28 – gramorównoważnik tlenku wapnia, gCaO/val
 CO_2 – zawartość wolnego dwutlenku węgla w wodzie (kwasowość ogólna), val/m³
 t_{w} – twardość węglanowa (zasadowość ogólna) wody, val/m³

Zużycie wapna do dekarbonizacji wody w praktyce przekracza wartość obliczoną z zależności (6), m.in. z uwagi na przebiegające w wodzie reakcje zamiany twardości niewęglanowej magnezowej na twardość niewęglanową wapniową – reakcje (4) i (5).

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z chemizmem dekarbonizacji oraz wyznaczenie optymalnej dawki wapna.

Przebieg ćwiczenia

Określenie podatności wody na dekarbonizację wapnem prowadzi się metodą testu naczyniowego. W pierwszej kolejności należy oznaczyć w wodzie przeznaczonej do dekarbonizacji wartość następujących wskaźników:

– pH (potencjometrycznie),

- zawartość wolnego dwutlenku węgla (kwasowość ogólną), miareczkując próbkę wody (100 cm³) 0,1 n NaOH wobec fenoloftaleiny do uzyskania słabo różowego zabarwienia utrzymującego się 2÷3 min.,
- twardość węglanową (zasadowość ogólną), miareczkując próbkę wody (100 cm³) 0,1 n HCl wobec oranżu metylowego do zmiany zabarwienia próbki z żółtego na pomarańczowe.

Następnie należy określić miano wody wapiennej, miareczkując próbkę wody wapiennej (10 cm³) przy użyciu 0,1 n HCl oznaczając zasadowość F i zasadowość ogólna M. Miano wody wapiennej oblicza się wg wzoru:

$$M_{\text{CaO}} = 28(2F - M) \quad (7)$$

w którym:

- M_{CaO} – miano wody wapiennej, gCaO/m³
- 28 – gramorównoważnik tlenu wapnia, gCaO/val
- F – zasadowość wody wapiennej wobec fenoloftaleiny, val/m³
- M – zasadowość ogólna wody wapiennej wobec oranżu metylowego, val/m³

Znając twardość węglanową wody poddawanej dekarbonizacji oraz zawartość w niej wolnego dwutlenku węgla, z zależności (6) należy wyznaczyć obliczeniową dawkę wapna, po czym – uwzględniając miano wody wapiennej wyznaczone ze wzoru (7) – należy przeliczyć dawkę wapna (w gCaO/m³) na objętość wody wapiennej (w cm³ wody wapiennej na dm³ wody dekarbonizowanej). Znając obliczeniową dawkę wody wapiennej, do testu naczyniowego należy przyjąć pięć dawek: 60%, 80%, 100%, 120% i 150% dawki obliczeniowej.

Do pięciu zlewek nalać po 1 dm³ wody, postawić na koagulatorze i opuścić mieszadła. Uruchomić mieszadła i zadawkować odpowiednie objętości wody wapiennej do każdej z zlewek. Przez 2 minuty prowadzić szybkie mieszanie, a następnie przez 20 minut wolne mieszanie. Po zakończeniu mieszania zdjąć zlewki z koagulatora i odstawić do sedymentacji powstałego osadu.

W cieczy nadosadowej i surowej wodzie wykonać oznaczenia:

- ✓ twardości ogólnej (miareczkowo metodą wersenianową),
- ✓ zasadowości F i M,
- ✓ pH,
- ✓ stężenia wapnia i magnezu (miareczkowo metodą wersenianową).

Opracowanie wyników

Wyniki badań należy zebrać w tabeli oraz opracować graficznie obrazując zmiany wartości oznaczonych wskaźników w zależności od dawki wapna oraz oddzielnie od pH wody po dekarbonizacji. Na podstawie przebiegu zmian zasadowości F i M wody po dekarbonizacji od dawki wapna należy wyznaczyć dawkę wapna spełniającą warunek dekarbonizacji ($2F=M$).

6. USUWANIE FOSFORANÓW

Fosfor w wodzie i ściekach może występować w postaci ortofosforanów, polifosforanów I fosforu organicznego zawartego głównie w zawiesinach. Ortofosforany w zależności od odczynu mają formę jonów H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} lub PO_4^{3-} .

Konieczność usuwania fosforanów z oczyszczanych ścieków wynika z faktu, że związki te (należące do związków biogennych) mogą powodować masowy rozwój glonów w wodach powierzchniowych oraz obiegach chłodniczych, itp..

Jedną z metod usuwania fosforanów jest ich strącanie w procesie strącania chemicznego. Do tego celu używane są sole Fe(II), Fe(III) i Al oraz wapno. Związki te mogą być dodawane do ścieków w jednym z trzech punktów procesu oczyszczania:

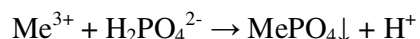
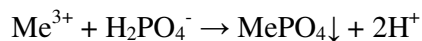
- do ścieków surowych – fosforany usuwane są wówczas w osadnikach wstępnych. Rozwiązanie to może być niekorzystne przy dalszym, biologicznym oczyszczaniu ścieków, ponieważ może brakować fosforu do prawidłowego rozwoju mikroorganizmów
- do komór osadu czynnego (tzw. symultaniczne strącanie PO_4^{3-}) – wytrącone fosforany usuwane są w osadniku wtórnym wraz z osadem. Wadą tej metody może być wtórne uwalnianie fosforanów w procesie fermentacji osadów i ich przechodzenie do cieczy nadosadowej; strącanie symultaniczne wpływa na parametry technologiczne osadu czynnego (np. dodatek soli żelaza polepsza właściwości sedymentacyjne osadu, obserwuje się też obniżenie wieku osadu);
- po procesie biologicznym (trzeci stopień oczyszczania ścieków) – fosforany usuwane są w osadnikach pokoagulacyjnych. Jest to metoda stosowana zarówno w III^o oczyszczania, jak i w odnowie wody.

Podczas symultanicznego strącania można uzyskać 75-85% (czasami nawet 95%) usunięcie fosforu, co odpowiada stężeniu 1-2 g/m^3 PO_4^{3-} w odpływie. Stosowana następnie filtracja umożliwia zmniejszenie stężenia fosforanów do około 0,5 g/m^3 .

W systemie, w którym koagulacja stosowana jest jako odrębny proces, po drugim stopniu oczyszczania ścieków, możliwe jest uzyskanie niższych stężeń PO_4^{3-} w odpływie (nawet 0,05 mg/dm^3).

Strącanie związków fosforu z użyciem soli glinu lub żelaza

W czasie dodawania do ścieków koagulantów mineralnych zawierających jony żelaza lub glinu, równoległe z procesem koagulacji, wytrącają się nierozpuszczalne ortofosforany żelaza i glinu według reakcji:



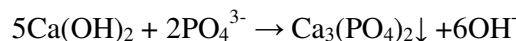
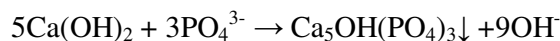
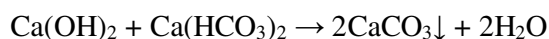
Stosowane dawki koagulantów muszą uwzględniać minimalny stosunek Al/P lub Fe/P, aby zapewnić pożądany stopień usuwania fosforu:



Powyższe dawki zapewniają obniżenie stężenia fosforanów w odpływie poniżej 1 g/m³. Usuwanie fosforanów zachodzi na skutek wytrącania się AlPO₄ (przy pH = 6,5), FePO₄ (przy pH = 5) oraz sorpcji na powierzchni kłaczków Al(OH)₃ oraz Fe(OH)₃.

Strącanie związków fosforu wapnem

Przy dawkowaniu do ścieków wapna dochodzi (przy pH=10-11) do wytrącenia nierozpuszczalnych kompleksów o złożonej strukturze Ca_iKt_j(H₂PO₄)_k(OH)_l(HCO₃)_m(An)_n, gdzie Kt i An oznaczają dowolne kationy i aniony. Możliwe są następujące reakcje:



Strącanie wapnem należy do najbardziej uniwersalnych metod oczyszczania ścieków. Umożliwia usunięcie związków organicznych będących w stanie zawieszonym lub tworzących roztwory rzeczywiste, fosforanów, metali ciężkich, węglanów, siarczanów i fluorków.

Wady tej metody to:

- powstawanie dużych ilości osadów,
- konieczność neutralizacji odczynu ścieków oczyszczonych,
- znaczne koszty eksploatacyjne i inwestycyjne.

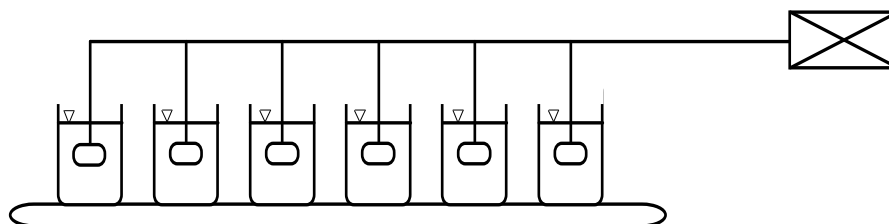
PRZEBIEG ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zbadanie skuteczności usuwania fosforanów w procesie chemicznego strącania siarczanem glinu ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$).

Przed przystąpieniem do wyznaczenia teoretycznej dawki koagulantu należy oznaczyć stężenie fosforanów w oczyszczanym roztworze. Oznaczenie fosforanów wykonać metodą kolorymetryczną (przez pomiar absorpcji przy długości fali 690 nm po dodaniu do próby kwasu askorbinowego i odczynnika mieszanego). Spektrofotometr wyzerować w stosunku do wody destylowanej z odczynnikami.

Następnie wyliczyć teoretyczną dawkę koagulantu potrzebną do strącenia 1 mg fosforanów. Obliczenia przeprowadzić na podstawie przebiegu reakcji chemicznej (przy założeniu, że koagulant nie reaguje z zasadowością). W oparciu o informację o ilości fosforanów w oczyszczanym roztworze, obliczyć teoretyczną dawkę koagulantu, a następnie dobrać 5 pozostałych dawek (w uzgodnieniu z prowadzącym). Przeliczyć przyjęte dawki na objętości 1% roztworu ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) (przy założeniu, że objętości badanych prób wynoszą 800 cm^3).

Proces chemicznego strącania przeprowadzić na sześciostanowiskowym koagulatorze (rys.8.)



Rys.8. Wielostanowiskowe mieszadło laboratoryjne

Do 6 zlewek wlać po 800 cm^3 oczyszczanego roztworu. Zlewki ustawić na koagulatorze, opuścić łopatki mieszadeł i włączyć mieszanie. Ustalić obroty mieszadła na ok.60 obr/min (szybkie mieszanie). Do zlewek dawkować pipetą roztwór ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) w ilościach odpowiadających kolejnym dawkom. Szybkie mieszanie prowadzić przez 3 min,

następnie zmniejszyć obroty mieszadła do ok. 18 obr/min (wolne mieszanie) i prowadzić proces przez 20 min. Następnie wyłączyć mieszadło, podnieść łopatki mieszadeł i zestawić zlewki z koagulatora.

Po procesie oznaczyć we wszystkich próbach odczyn. Następnie przesączyć próby przez miękki sącdek (ok. 300 cm³). W przesączach oznaczyć intensywność barwy i stężenie fosforanów. Oznaczenia wykonać też dla roztworu poddawanego oczyszczaniu.

Wyniki analiz zestawić tabelarycznie oraz sporządzić wykresy przedstawiające efekty oczyszczania w zależności od dawki ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). Przedyskutować otrzymane wyniki.

LITERATURA

„Odnowa wody. Podstawy teoretyczne procesów”; red. A.L. Kowal, Wrocław 1996.

„Systemy oczyszczania ścieków. Podstawy technologiczne i projektowe”; K. Bartoszewski i in., Wrocław 1991.

„Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków”, J. Łomotowski, A. Szpindor, Arkady 1999.