

OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW

1. Wprowadzenie

Zanieczyszczenia zawarte w wodzie i ściekach występują w różnej postaci.

W zależności od rozmiarów cząstek wyróżniamy [1]:

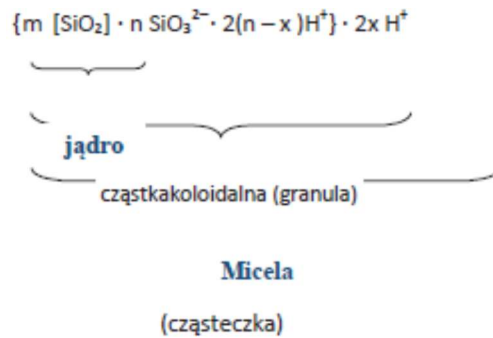
- roztwory właściwe – składają się z rozpuszczalnika i substancji rozpuszczonej.
Średnica cząstek substancji rozpuszczonej (zanieczyszczeń) jest mniejsza od 10^{-9} m,
- roztwory koloidalne – składają się z ośrodka dyspersyjnego (rozpuszczalnika) i fazy rozproszonej, którą stanowią cząstki zanieczyszczeń o rozmiarach w przedziale 10^{-9} – 10^{-7} m,
- zawiesiny – są to roztwory, w których cząstki zawieszono w ośrodku (rozpuszczalniku) stanowią zanieczyszczenia o rozmiarach większych niż 10^{-7} m.

1. 1 . Budowa podwójnej warstwy elektrycznej [2,3,4]

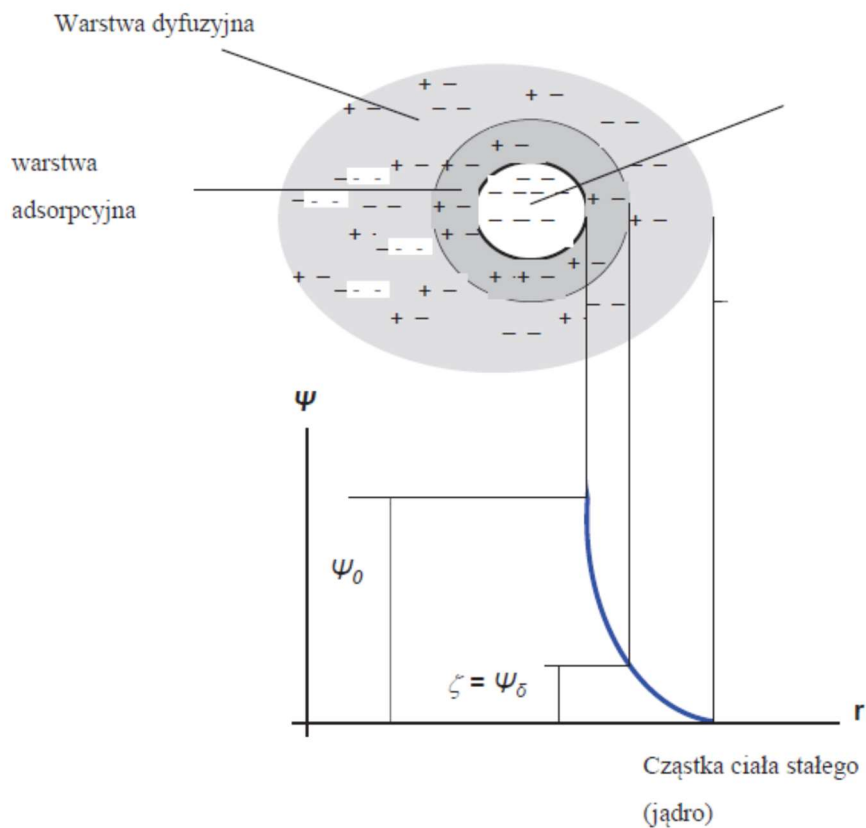
Cząstki koloidalne składają się z jądra oraz z warstwy adsorpcyjnej. Jądro skupia prawie całą masę cząsteczki i jest substancją stałą o strukturze krystalicznej (np. $Al_2O_3 \cdot H_2O$, SiO_2). Z powierzchnią jądra związana jest warstwa adsorpcyjna (nazywana jonogenną). Jony tworzące tę warstwę są chemicznie związane z powierzchnią jądra (wbudowane w sieć krystaliczną) albo są na niej zaadsorbowane. W przypadku związków wielkocząsteczkowych ładunek elektryczny może być także wynikiem dysocjacji elektrolitycznej.

Zewnętrzna powierzchnia kryształu tworzącego jądro, np. kryształy kwarcu ($m [SiO_2]$) jest nośnikiem ujemnego ładunku powierzchniowego. Dlatego do powierzchni jądra, siłami elektrostatycznymi przyciągane są jony o przeciwnym znaku, zwane jonami kompensacyjnymi lub przeciwjonami. Część z nich jest trwale i nieruchomo związana z jądrem i stanowi warstwę adsorpcyjną. Warstwa ta wraz z jądrem tworzy cząstkę koloidalną, zwaną granulą. Pozostałe przeciwjony luźno otaczają cząsteczkę w postaci rozmytej chmury jonowej i noszą nazwę warstwy dyfuzyjnej. Jony te nie są trwale związane z cząstką koloidalną i wykazują pewną ruchliwość, rosnącą w miarę oddalania się od powierzchni cząstki. Granula wraz z zewnętrzną powłoką dyfuzyjną stanowi micelę koloidalną (cząsteczka koloidalna).

Przykład :



W przypadku gdy powierzchnia ciała stałego (jądra) w roztworze ma ładunek q_0 ma również potencjał elektrodynamiczny Ψ_0 , zwany potencjałem Nernsta. Wartość potencjału Nernsta maleje wraz ze wzrostem odległości od jądra do wartości Ψ_δ (tzw. potencjału podwójnej warstwy elektrycznej), a następnie monotonicznie do zera. Potencjał ζ , nazywamy potencjałem elektrokinetycznym, odpowiada różnicy potencjałów między warstwą adsorpcyjną a ruchomą warstwą dyfuzyjną i jest zawsze mniejszy od powierzchniowego potencjału elektrodynamicznego Ψ_0 . Wielkość warstwy dyfuzyjnej i ładunek cząstki są zmienne. Jest to wynikiem wymiany jonów pomiędzy warstwą dyfuzyjną a roztworem. Dlatego też potencjał elektrokinetyczny może ulegać zmianie, a jego wartość stanowi o stabilności układu koloidalnego. Zmiany potencjału elektrycznego w funkcji odległości od powierzchni jądra przedstawia Rysunek 1.



Rys. 1. Budowa cząstki koloidalnej. Zmiana potencjału elektrycznego (ψ) w funkcji odległości od powierzchni cząstki (r). ψ_0 - potencjał powierzchniowy, ψ_δ - potencjał na granicy warstwy adsorpcyjnej, ζ - potencjał elektrokinetyczny [5]

1.2. Podział roztworów koloidalnych [6,3]

Ze względu na powinowactwo fazy rozproszonej do rozpraszającej koloidy dzielimy na:

- koloidy liofobowe (hydrofobowe), których cząstki praktycznie nie ulegają solwatacji (hydratacji). O trwałości tych układów decyduje ładunek elektryczny pojawiający się na cząstkach fazy rozproszonej w wyniku adsorpcji przez nie jonów z roztworu,
- koloidy liofilowe (hydrofilowe), których cząstki są silnie solwatowane (hydratowane) i właśnie solwatacja warunkuje trwałość układu.

2. Podstawowe pojęcia [7,8]

Zanieczyszczenia występujące w wodzie lub ściekach w postaci cząstek koloidalnych ze względu na silne oddziaływanie chemicznych sił powierzchniowych są trudne do usunięcia. Cząstki koloidalne

obdarzone są jednoimiennymi ładunkami. Te elektryczne siły stabilizujące układ koloidalny są powodem elektrostatycznego odpychania. Utrzymują one cząstki w stanie zawieszenia i przeciwdziałają łączeniu się ich w większe agregaty. Aby usunąć niepożądane zanieczyszczenia koloidalne z wody należy przeprowadzić je w taką formę, która jest łatwa do oddzielenia, np. na drodze sedimentacji. Można to osiągnąć poprzez proces koagulacji i flokulacji.

Koagulacja polega na destabilizacji układu koloidalnego. Jednoimienne cząstki koloidalne przyciągają jony przeciwnie naładowane co powoduje zubożenie ich ładunku powierzchniowego. Przy nadmiarze przeciwnionów cząstki te zyskują ładunek przeciwny. To wszystko powoduje natychmiastowe przyciąganie się cząstek i destabilizację układu. Część z przyciąganych przeciwnionów skupiona jest w warstwie adsorpcyjnej, a pozostałe znajdują się w ruchomej warstwie dyfuzyjnej (punkt 1.2.). Zmiana ładunku warstwy podwójnej cząstki koloidalnej powoduje obniżenie bezwzględnej wartości potencjału elektrokinetycznego ζ . Potencjał ζ stabilnego koloidu wynosi +70 mV. Jego zmniejszenie prowadzi do zachwiania równowagi układu koloidalnego. Przy zmniejszeniu potencjału do +30 mV rozpoczyna się koagulacja cząstek, a szybka koagulacja ma miejsce, gdy potencjał zbliża się do zera. Stan ten określany jest jako punkt izoelektryczny, którego osiągnięcie oznacza zlikwidowanie odpychającego działania sił elektrostatycznych związanych z ładunkiem cząstek. Pozbawione ładunku cząstki mogą zbliżyć się do siebie na odległość oddziaływań międzycząsteczkowych sił van der Waalsa i ulec połączeniu, tworząc większe skupiska kłaczków, łatwe do usunięcia.

Proces łączenia niestabilnych cząstek koloidalnych w zespoły cząstek, zwane kłaczkami (aglomeraty, agregaty niestabilne) nazywamy flokulacją.

2.1. Działanie koagulantów [9,10]

W procesie koagulacji mogą być stosowane różne substancje, które występując w postaci jonowej adsorbują się na powierzchni cząstek koloidalnych (w warstwie adsorpcyjnej) i zmniejszają ich potencjał elektrokinetyczny do wartości, przy której nie ma znaczącego wpływu odpychanie elektrostatyczne. Substancje te nazywamy koagulantami.

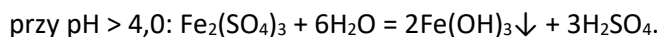
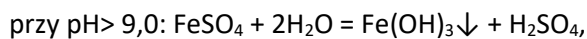
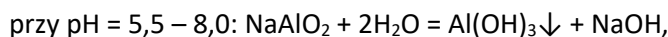
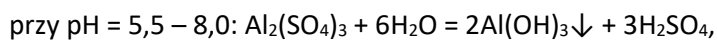
W technologii wody i ścieków rolę koagulantów spełniają zwykle sole glinu i żelaza. Do najczęściej stosowanych koagulantów należą:

- siarczan(VI) glinu $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$,
- glinian sodu $NaAlO_2$,
- siarczan(VI) żelaza (II) $FeSO_4 \cdot 7H_2O$,
- siarczan(VI) żelaza(III) $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ (handlowa nazwa PIX),

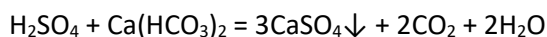
- chlorek żelaza (III) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,
- chlorek poliglinu AlCl_3 (handlowa nazwa PAC).

Przykład: Destabilizacja układu koloidalnego zawartego w ściekach może nastąpić po dodaniu nieorganicznych soli hydrolizujących, np. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ lub $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Produktami hydrolizy, w zależności od odczynu ścieków, mogą być wielowartościowe kationy i/lub osady wodorotlenków.

Podczas hydrolizy soli glinu, żelaza(II) i (III) (przy odpowiednim pH) powstają trudno rozpuszczalne osady wodorotlenków, i tworzące układy koloidalne (cząstka koloidalna jest dodatnio naładowana):



Powstające w tej reakcji kwasy lub zasady reagują ze składnikami ścieków lub wody i strącają nowe osady:



Wytrącone wodorotlenki i osady mają określony ładunek powierzchniowy oraz warstwę adsorpcyjną złożoną z przeciwjonów. Tworzą one więc cząstki koloidalne. Ładunek cząstek koloidalnych tych osadów jest przeciwny do ładunku koloidów występujących w wodzie/ściekach. Oddziałują one elektrostatycznie z cząstkami koloidalnymi zawartymi w wodzie/ściekach zubożniając ich ładunek. Niestabilne cząstki koloidalne, zaczynają tworzyć makrocząsteczki, które rozrastają się tworząc widoczne kłaczkę (flokulacja). Kłaczkę wskutek bardzo rozwiniętej powierzchni adsorbować mogą pozostałe jeszcze w wodzie drobne zawiesiny. Powstały w ten sposób osad pod wpływem sił ciężkości łatwo sedymentuje.

2.2. Substancje wspomagające proces koagulacji [9,10]

W celu uzyskania dużych kłaczek, łatwo sedymentujących, w procesie koagulacji stosowane są substancje wspomagające. Substancje mogą być koloidami, zawiesiną o przeciwnym znaku ładunku powierzchniowego do ładunku koagulowanych cząstek. Mogą być „zarodkami” do powstawania nowych kłaczek lub obciążnikami ułatwiającymi sedymentację. Do takich substancji można zaliczyć:

- utleniacze niszczące warstwę ochronną koloidów
- wapno, które stosuje się w celu korekty pH oraz przyspieszenia hydrolizy koagulantu,

- obciążniki: glina, bentonit, ziemia Fullera, węglan wapnia, żużle pyliste, popioły, które powodują znaczne obciążenie powstających kłaczków i zapewniają dobre własności sedymentacyjne osadu; mogą również stanowić adsorbent, na którego powierzchni adsorbują się rozpuszczone substancje,

- pylisty węgiel aktywny zwiększający sorpcję zanieczyszczeń i przyspieszający proces kłaczkowania,

- flokulanty mineralne i organiczne.

Flokulanty syntetyczne są to związki wielkocząsteczkowe, głównie polielektrolity liniowe, których części składowe obdarzone są ładunkiem elektrycznym, tworzącym się podczas dysocjacji grup jonogennych. Mechanizm ich działania polega prawdopodobnie na przyciąganiu mikrocząstek zanieczyszczeń do zdysocjowanych grup polimeru w wyniku czego następuje wzajemne łączenie cząstek łańcuchami polimeru. Przy odpowiedniej dawce flokulanta powstanie dużo, łatwo sedymentujących kłaczków. Ponadto flokulanty mogą działać samodzielnie, zmniejszając siły wzajemnego odpychania między cząstkami koloidalnymi.

Aktywowanie koagulacji i flokulacji polielektrolitami polega głównie na:

- przyspieszeniu powstawania kłaczków,
- zmniejszeniu dawki koagulantu podstawowego,
- rozszerzeniu optymalnego dla koagulacji zakresu pH,
- zwiększeniu gęstości kłaczków, co prowadzi do zwiększenia szybkości ich sedymentacji,
- umożliwieniu przebiegu procesu koagulacji w niskich temperaturach,
- ułatwieniu odwadniania osadów.

Substancje te dodawane są do roztworu przed lub po dodaniu koagulantu.

2.3. Przebieg procesu koagulacji [8,9,10]

Proces koagulacji obejmuje dwa procesy:

1. Po dodaniu koagulantu proces chemiczny obejmujący hydrolizę koagulantu i szereg reakcji chemicznych między produktami hydrolizy koagulantu a substancjami o charakterze zasadowym, zawartymi w wodzie.
2. Proces fizykochemiczny polegający na zubożeniu ładunku cząstek koloidalnych, zderzeniach cząstek i powstawaniu kłaczków, które łącząc się opadają pod wpływem siły ciężkości.

Z powyższych względów proces koagulacji prowadzi się w dwóch stadiach:

- dozowanie koagulantu i szybkie krótkotrwałe mieszanie (do 120 sekund) w celu właściwego i dokładnego rozprowadzenia koagulantu w całej masie wody,

- wolne mieszanie (15–45 minut), w czasie którego zachodzą procesy fizyko–chemiczne wzrostu kłaczków (flokulacja), adsorpcja na nich zanieczyszczeń i opadanie osadu.

W praktyce proces koagulacji wymaga zastosowania następujących urządzeń:

- a) urządzenia do przygotowania i dawkowania koagulantów,
- b) mieszalnika do mieszania koagulantu z uzdatnioną wodą (komora szybkiego mieszania),
- c) urządzenia do procesu flokulacji,
- d) osadnika, w którym zachodzi sedymentacja powstałego osadu.

3. Związki fosforu [11]

Związki fosforu zawarte w wodzie i ściekach dzieli się na trzy główne grupy: ortofosforany, polifosforany i fosfor organicznie związany. Fosfor ogólny jest sumą trzech wymienionych form fosforu. Fosfor występuje w wodzie i ściekach w formie rozpuszczonej, w postaci koloidów i zawiesin.

Źródłem fosforanów występujących w wodach naturalnych i ściekach są związki organiczne pochodzenia zwierzęcego i roślinnego, ścieki przemysłowe, jak np. z fabryk nawozów sztucznych, z zakładów produkujących środki czystości na bazie detergentów, ścieki miejskie, ścieki z hodowli trzody chlewnej. Stężenie związków fosforu w ściekach surowych kształtuje się w granicach od kilkunastu do kilkudziesięciu mg/dm³.

Związki fosforu nie są toksyczne, lecz z uwagi na proces asymilacji fosforanów przez mikroorganizmy są czynnikiem powodującym eutrofizację. Wzrost dopuszczalnych stężeń fosforanów w wodzie prowadzi do intensywnego rozwoju glonów. Przykładowo - 1g fosforu może spowodować przyrost około 1700 g substancji roślinnej (masy glonów). Organiczne związki fosforu zawarte w biomacie są po jej obumarciu mineralizowane przez drobnoustroje i enzymy do rozpuszczalnych fosforanów. Proces rozkładu materii komórkowej glonów jest procesem tlenowym, w którym jest on częściowo zużywany na utlenienie azotu do azotanów a częściowo na utlenienie węgla do dwutlenku węgla. Orientacyjne, całkowite zużycie tlenu w tych procesach jest równe 5 gO₂/gN i 3 gO₂/gC.

Duża ilość związków biogenych zawartych w ściekach surowych może spowodować więcej niż pięciokrotne wtórne zużycie tlenu w porównaniu z pierwotnym zużyciem związanym z unieszkodliwianiem substancji organicznych zawartych w ściekach surowych. W związku z tym niezwykle istotne jest zredukowanie zawartości związków biogenych w ściekach wypływających z oczyszczalni przed odprowadzeniem ich do odbiornika.

Poziom stężenia fosforu może być obniżany, zarówno chemicznymi jak i biologicznymi metodami oczyszczania. Jeżeli związki fosforu występują w układach koloidalnych, to usuwane są w

procesie koagulacji objętościowej z wyróżnieniem faz destabilizacji i flokulacji. Jeżeli natomiast występuje w postaci roztworu właściwego, to mamy do czynienia z chemicznym strącaniem.

W procesie chemicznego strącania rozpuszczalne nieorganiczne formy fosforu zawarte w ściekach przekształcane są w trudno rozpuszczalne osady fosforanów metali. Równocześnie powstają wodorotlenki metali, które wytrącają się. W wyniku tego procesu powstają kłaczkowate osady, które wiążą strącone fosforany metali i inne substancje zawieszane w ściekach, w tym również fosfor związany organicznie.

Związki stosowane w procesie chemicznego strącania to m.in.:

- wapno w postaci CaO lub Ca(OH)_2 i Mg(OH)_2 ,
- siarczan glinu,
- chlorek żelaza(III),
- siarczan żelaza(II).

4. Związki żelaza [9,10,12]

Żelazo jest bardzo rozpowszechnione w skorupie ziemskiej, stanowiąc 5,6% masowych jej składu. Jest czwartym pierwiastkiem pod względem ilości po: tlenie, krzemie i glinie. Żelazo występuje w małych ilościach w postaci rodzimej. Głównie jest on składnikiem rud: hematytu Fe_2O_3 , magnetytu Fe_3O_4 , limonitu Fe(OH)_3 , syderytu FeCO_3 , pirytu FeS_2 . W środowisku przyrodniczym znajdujemy wiele związków organicznych zawierających żelazo.

Żelazo znajdujące się w wodzie może pochodzić z różnych źródeł: jest wynikiem wymywania ze skał i gruntu oraz korozji żelaznych zbiorników i przewodów. Wprowadzane bywa w znacznych ilościach wraz z wodami kopalnianymi, ściekami z zakładów obróbki metalu, galwanizerni itp.

Wody żelaziste charakteryzują się nieprzyjemnym, specyficznym zapachem i żelazistym smakiem. Wykazują skłonność do osadzania szlamów w rurociągach, grzejnikach, wyparkach, pozostawiania rdzawych plam na pranych tkaninach, pokrywania żółtymi plamami porcelany i szkła. Wykazują one ujemny wpływ na jakość produktów spożywczych i wyrobów przemysłowych. Wody żelaziste sprzyjają rozwojowi bakterii żelazistych w instalacjach, które wytwarzają gąbczastą lub nitkowatą rdzę, a to powoduje zatykanie przewodów. Wody przeznaczone do celów przemysłowych (zwłaszcza w przemyśle papierniczym, włókienniczym, przy produkcji filmów) nie mogą zawierać żelaza nawet w małych ilościach. Woda do picia nie powinna zawierać więcej niż $200 \mu\text{gFe/l}$ (wg Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U.2007., Nr 613, poz. 417 ze zmianami).

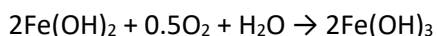
Żelazo może występować w wodach (podziemnej i powierzchniowej) w formie rozpuszczonej, koloidalnej lub zawiesiny. Zależy to od zawartości w wodzie: substancji organicznych, tlenu, dwutlenku węgla, działalności mikroorganizmów i jej odczynu pH.

Istota odżelaziania wody polega na utlenianiu jonów Fe(II) do Fe(III) i usuwaniu wytrąconego osadu Fe(OH)₃ w procesie sedymentacji i filtracji. O stosowanej metodzie usuwania żelaza decyduje forma jego występowania w wodzie surowej, pochodzenie wody, jej skład fizyko – chemiczny oraz stężenie i rodzaj związku żelaza.

Jeżeli w wodzie żelazo występuje jako Fe(HCO₃)₂, to stosuje się najprostszy układ uzdatniania wody napowietrzanie → sedymentacja → filtracja. Jeżeli żelazo obecne w wodzie jest w postaci FeSO₄, wówczas do powyższego układu powinien być włączony proces alkalizacji. Zapewnia to neutralizację kwasu powstającego w wyniku reakcji protolitycznej jonów żelaza(II).

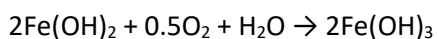
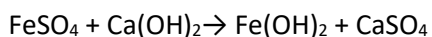
W wypadku, kiedy żelazo występuje w połączeniu ze związkami organicznymi (najczęściej forma koloidalna) napowietrzanie, utlenianie, sedymentacja i filtracja są mało skuteczne. Do usuwania takich form żelaza wymagany jest proces koagulacji.

Napowietrzanie i filtrowanie stosuje się do uzdatniania wód wglębnych, nie zawierających tlenu a głównie wodorowęglany żelaza(II). Napowietrzanie wykonuje się przez: rozdeszczowanie, rozpylanie za pomocą dysz, wtłaczanie do wody powietrza pod ciśnieniem, zastosowanie ociekania cienkich warstw wody po porowatych materiałach.



Wytrącone z wody kłaczkowate wodorotlenki żelaza(III) mogą być usunięte na złożu filtracyjnym. Stosuje się do tego celu filtry z wypełnieniem piaskowym, żwirowym, lub wielowarstwowe.

Odżelazianie przez nawapnianie i napowietrzanie stosuje się, gdy żelazo występuje np. jako siarczany żelaza(II).

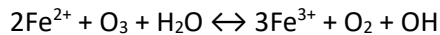
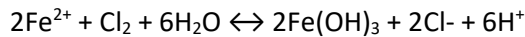
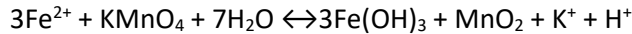


Proces ten pozwala zmniejszyć stężenie żelaza do 0,2 mg Fe/l. Procesy odżelaziania można prowadzić przy użyciu odżelaziaczy otwartych i zamkniętych (ciśnieniowych) często nazywanych też filtrami. Odżelaziacze zamknięte mogą być jednostopniowe (dla uzdatniania wody o zawartości Fe poniżej 200 µg/l) lub dwustopniowe (gdy zawartość żelaza jest powyżej 2 mg/l). Ich budowa przypomina filtry ciśnieniowe. Napowietrzanie wody i filtrowanie odbywa się pod ciśnieniem. Odżelaziacze jednostopniowe otwarte składają się najczęściej ze złoża filtracyjnego z piaskiem o odpowiednim

uziarnieniu i wysokości złoża. Odzależiacze dwustopniowe mają dwie warstwy wypełnienia - warstwa podtrzymująca i kontaktowa.

Odzależanie poprzez koagulację stosuje się wtedy, gdy w wodzie są obecne związki koloidalne żelaza, drobne zawiesiny $\text{Fe}(\text{OH})_3$, FeS , koloidalne związki organiczne np. kwasy humusowe.

Procesy odzależiania można prowadzić również z wykorzystaniem takich utleniaczy jak ozon (O_3), chlor (Cl_2) czy nadmanganian potasu (KMnO_4). Reakcje utleniania przebiegają zgodnie z równaniami:



Wybór typu utleniacza jest zależny od zawartości jonów żelaza oraz od obecności /zawartość współwystępujących jonów arsenu i manganu (tabela 7).

Tabela 1. Wskazania dotyczące wyboru typu utleniacza w procesie odzależiania wody

Typ utleniacza	Zalety	Wady
Powietrze	<ul style="list-style-type: none">• Dłuższy czas pracy filtrów	<ul style="list-style-type: none">• Jony $\text{Mn}(\text{II})$ oraz $\text{As}(\text{III})$ mogą pozostać w formie nieutlenionej• Kłaczkki związków żelaza mogą mieć mniejszą powierzchnię właściwą• Może wymagać zastosowania zbiornika kontaktowego
Mocniejsze utleniacze (O_3 , Cl_2 , KMnO_4)	<ul style="list-style-type: none">• Skutecznie utleniają $\text{Mn}(\text{II})$ oraz $\text{As}(\text{III})$• Kłaczkki mają większą powierzchnię właściwą• Nie zawsze wymagany zbiornik kontaktowy	<ul style="list-style-type: none">• Krótszy czas życia filtrów

Literatura:

1. Król I., Mazur P. Repetytorium Maturzysty – chemia. GREG.
2. Sonntag H. Koloidy. PWN. Warszawa. 1982.
3. Scheludko A. Chemia koloidów. Wyd. Naukowo-Techniczne. Warszawa. 1963.
4. Basiński A. Zarys fizykochemii koloidów. PWN. Warszawa. 1957.
5. Pomastowski P., Dziubakiewicz E., Buszewski B. Potencjał zeta – jego rola i znaczenie. *Analityka*, 2, 19-23, 2012.
6. https://www.pum.edu.pl/__data/assets/file/0003/80643/Wyklad-2.Uklady-koloidalne.14-15.pdf [DOSTĘP ON-LINE 19.06.2018]
7. <https://www.iwapublishing.com/news/coagulation-and-flocculation-water-and-wastewater-treatment> [DOSTĘP ON-LINE 19.06.2018]

8. López-Maldonado E.A., T.Oropeza-Guzman M., Jurado-Baizaval J.L., Ochoa-Terán A. Coagulation–flocculation mechanisms in wastewater treatment plants through zeta potential measurements. *J Haz Mat.* 279, 1-10, 2014.
9. Praca zbiorowa pod redakcj Wierzbickiego T.L., *Technologia wody i cieków. wiczenia laboratoryjne.* Wydawnictwo Politechniki Białostockiej 1996.
10. Chojnacki A. , *Technologia wody i cieków,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1972.
11. Kowal A.L., Świdarska – Bróz M. (1998) „*Oczyszczanie wody*”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa- Wrocław
12. Hermanowicz W., Dojlido J., (red): *Fizyczno - chemiczne badanie wody i cieków.* Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1999.

5. Przebieg ćwiczenia

1. Ze zbiornika 10 l przelać 5 l ścieków do mniejszego zbiornika z kranikiem (w miarę ubywania ścieków uzupełnić).
2. Ze zbiornika 10 l odlać do zlewki 100 ml ścieków na próbę zerową.
3. Zakręcić kraniki w akwarium.
4. Rozpocząć wlewanie ścieków do komory napowietrzania, włączyć napowietrzanie. Ustalić przepływ wody.
5. Do komory napowietrzania dodać 2 ml koagulantu (PIX).
6. Zaproponować rodzaj złoża do filtracji. Usypać kolumnę do procesu filtracji.
7. Zebrać 100 ml odcieku po filtracji.
8. Oznaczyć stężenie fosforu i żelaza w próbce po procesie oczyszczenia ścieków i w próbce zerowej. Próbę zerową dla fosforu należy rozcieńczyć.
9. Określenie skuteczności odżelaziania [%], która jest miarą zmniejszenia stężenia żelaza w wodzie surowej:

$$X = 100\% - \mu$$

$$\mu = \frac{m_1}{m_0} \cdot 100\%$$

gdzie: m_1 - stężenie żelaza w wodzie uzdatnianej,

m_0 - stężenie żelaza w wodzie surowej.

10. Wnioski.

Oznaczenie fosforu:

WYKONANIE OZNACZENIA ORTFOSFORANÓW (PN-88/C-04537/04):

- A. Do cylindra Nesslera o pojemności 50 cm³ (25 cm³ ścieków i 25 cm³ wody) odmierzyć odpowiednią ilość ścieków surowych/ ścieków po koagulacji (rozcieńczenie w celach analitycznych).
- B. Dopełnić wodą dejonizowaną do objętości 50 cm³ i wymieszać.
- C. Do próbki ścieków dodać 1 cm³ 10 % kwasu askorbinowego i dokładnie wymieszać.
- D. Następnie dodać 2 cm³ odczynnika mieszanego (wodny roztwór molibdenianu amonowego, winianu antymonylo-potasowego i kwasu siarkowego(VI)) i ponownie wymieszać.

Po 10 minutach lecz przed upływem 30 minut przelać próby do testtub oraz oznaczyć stężenie orofosforanów na spektrofotometrze UV-Vis.

Stężenie żelaza w wodzie oznaczane z wykorzystaniem procedury firmy HACH wykonujemy przy długości fali 700 nm.

Oznaczenie żelaza:

METODA KOLORYMETRYCZNA – RODANKOWA

- A. Pobrać 2,5 cm³ próby wody surowej/uzdatnianej *
- B. Dodać 2,5 cm³ kwasu solnego, który przygotowuje się przez rozcieńczenie kwasu stężonego wodą destylowaną w stosunku (1:1)
- C. Dodać 0,5 cm³ 3% roztworu nadtlenu wodoru. Zawartość wstrząsnąć i odczekać 5 minut
- D. Następnie dodać 2,5 cm³ roztworu rodanku potasu (65g KSCN/ dm³)

W ten sam sposób przygotować próbę zerową (odniesienia) gdzie próbka wody uzdatnianej/surowej zastąpiona jest wodą dejonizowaną.

Stężenie żelaza w wodzie oznaczane z wykorzystaniem procedury firmy HACH wykonujemy przy długości fali 510 nm.

Obsługa spektrofotometru DR 2000

- A. Włączyć spektrofotometr przyciskiem z napisem **POWER**
- B. Po pojawieniu się na ekranie napisu **METHOD**, wpisać nr metody (**żelazo – 951, ortofosforany – 953**) i zaakceptować przez przycisnięcie przycisku z napisem **ENTER**
- C. Na ekranie pojawi się napis **DIAL nm TO** – obracając bocznym pokrętkiem ustawić długość fali **odpowiednią długość fali**, a następnie zaakceptować przez naciśnięcie przycisku z napisem **READ/ENTER**
- D. Umieścić w gnieździe pomiarowym próbę odniesienia (przygotowaną z wody dejonizowanej), a następnie nacisnąć przycisk z napisem **CLEAR ZERO**
- E. Po ukazaniu się na ekranie 0.0 wyjąć próbę zerową i umieścić w adapterze próbę badaną i odczytać wynik w **mg Fe/dm³**.