



Politechnika Wroclawska

Katedra Technologii Oczyszczania Wody i Ścieków

INSTRUKCJE DO ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH

WSZYSTKIE STOPNIE I KURSY

OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW

Spis treści

Ćwiczenie 1. OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW W PROCESIE TLENOWEGO OSADU CZYNNEGO Z NITRYFIKACJĄ.....	2
Ćwiczenie 2. OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW NA ZŁOŻU BIOLOGICZNYM.....	12
Ćwiczenie 3. PORÓWNANIE EFEKTÓW PRACY OSADU CZYNNEGO I ZŁOŻA BIOLOGICZNEGO	18
Ćwiczenie 4. SEDYMENTACJA WSTĘPNA – BADANIA W LEJU IMHOFFA.....	19
Ćwiczenie 5. WŁAŚCIWOŚCI FILTRACYJNE OSADÓW ŚCIEKOWYCH.....	28
Ćwiczenie 6. GRAWITACYJNE ZAGĘSZCZANIE OSADÓW ŚCIEKOWYCH	41
Ćwiczenie 7 KINETYKA SEDYMENTACJI ZAWIESIN KŁACZKOWATYCH	49
Ćwiczenie 8 CHEMICZNE STRĄCANIE FOSFORU	53
Ćwiczenie 9. UNIESZKODLIWIANIE ŚCIEKÓW CHROMOWYCH.....	61
Ćwiczenie 10. WZMOŻONA BIOLOGICZNA DEFOSFATACJA.....	64
Ćwiczenie 11. BIOLOGICZNE USUWANIE AZOTU - Reaktor SBR.....	72
Ćwiczenie 12. BADANIA SZYBKOŚCI POBORU TLENU PRZEZ OSAD CZYNNY	80
Ćwiczenie 13 Brakujące ćwiczenie z denitryfikacji.....	83
Ćwiczenie 14 WYKORZYSTANIE PROCESU KOAGULACJI W SYSTEMACH OCZYSZCZANIA WODY I ŚCIEKÓW	84

WROCLAW 2019

Ćwiczenie 1.

OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW W PROCESIE TLENOWEGO OSADU CZYNNEGO Z NITRYFIKACJĄ

Przez pojęcie biologiczne (a ściślej biochemiczne) oczyszczanie ścieków należy rozumieć wszystkie te procesy, w których do usuwania zanieczyszczeń obecnych w ściekach wykorzystuje się przemiany metaboliczne prowadzone przez różne grupy drobnoustrojów. Oczyszczanie biologiczne jest więc, w najszerszym pojęciu, naśladowaniem procesów występujących normalnie w przyrodzie, z tą różnicą, że dla ich niezakłóconego przebiegu i intensyfikacji tworzy się specjalnie warunki poprzez odpowiednie zabiegi techniczne.

Oczyszczenie ścieków metodą tlenowego osadu czynnego polega na ich napowietrzaniu z zawiesiną mikroorganizmów (tzw. osadem czynnym) w specjalnych komorach (reaktorach biologicznych). Osad czynny jest skupiskiem kłaczek mikroorganizmów wodnych (bakterii i pierwotniaków), które rozwijają się intensywnie w warunkach zwiększonej podaży substratów i tlenu, a także zawiesin doprowadzanych do reaktora biologicznego ze ściekami oraz frakcji martwych powstających z obumierania bytujących mikroorganizmów. W tych reaktorach biologicznych następuje kontakt osadu czynnego z substancjami zanieczyszczającymi ścieki. W wyniku wielu powiązanych ze sobą procesów fizykochemicznych i biochemicznych zanieczyszczenia „wychwytywane” są przez zawiesinę osadu czynnego, a bytujące w niej mikroorganizmy wykorzystują je w tlenowych procesach przemiany materii jako źródła energii lub substancje budulcowe w szlakach katabolicznych i anabolicznych tych mikroorganizmów. Wykorzystanie zanieczyszczeń powoduje ich usunięcie ze ścieków. Produktami tych przemian są różne substancje, w tym: dwutlenek węgla, woda, siarczany, azotany, a także energia i przyrastająca biomasa mikroorganizmów. Po procesie zachodzi więc konieczność oddzielenia osadu od oczyszczonych ścieków, co najczęściej realizowane jest w osadnikach wtórnych.

Celem podstawowym oczyszczania biologicznego (w procesie tlenowego osadu czynnego) jest usuwanie ze ścieków związków organicznych rozpuszczonych, koloidalnych oraz bardzo drobnych zawiesin nieopadających. W sprzyjających warunkach technologicznych zachodzić może również utlenianie azotu amonowego poprzez azotyny do azotanów, tzw. proces nityfikacji.

Mechanizm procesu biologicznego oczyszczania polega na:

- utlenianiu części związków organicznych przez bakterie heterotroficzne
- wiązaniu części związków organicznych w biomase mikroorganizmów prowadzących proces (ta część związków organicznych nie jest utleniania).

Związki organiczne + tlen + subst. pożywkowe + mikroorganizmy = nowe mikroorganizmy + CO₂ + H₂O

Efektywność oczyszczania w procesie osadu czynnego zależy od:

- podatności związków organicznych na przyswajanie przez mikroorganizmy,
- wieku osadu,
- ilości i rodzaju aktywnych mikroorganizmów w komorze osadu czynnego,

- hydraulicznego czasu przetrzymania,
- warunków prowadzenia procesu: stężenia tlenu, zawartości substancji pożywkowych (N, P, K), pH, temperatury, obecności substancji toksycznych,
- odpowiedniej intensywności mieszania, wydajności procesu napowietrzania,
- właściwej recykulacji osadu
- właściwej eksploatacji całego układu.

Do podstawowych **parametrów technologicznych** osadu czynnego należą:

- **Stężenie osadu czynnego w KOCZ (komorze osadu czynnego) – X**

$$X = X_B + X_I + X_{MIN} \quad (1)$$

gdzie:

X_B – stężenie biomasy osadu czynnego w komorze; g sm/m³ (g smo/m³, g ChZT/m³),

X_I – biologicznie nierozkładalne zawiesiny organiczne pochodzące z oczyszczanych ścieków; g sm/m³ (g smo/m³, g ChZT/m³),

X_{MIN} – zawiesiny mineralne pochodzące z oczyszczanych ścieków, g sm/m³.

Najczęściej stężenie osadu czynnego wynosi 2000 – 5000 g sm/m³.

- **Wiek osadu (WO)**

Jest to najważniejszy parametr decydujący o efektach pracy osadu czynnego. Określa on średni czas przebywania kłaczków osadu czynnego w układzie. Jego wartość jest równa stosunkowi masy osadu w układzie do jego dobowego przyrostu w wyniku procesów oczyszczania.

$$WO = \frac{M_x}{\Delta X} = \frac{V \cdot X}{\Delta X}; \quad d \quad (2)$$

gdzie:

$M_x = V \cdot X$ – masa osadu czynnego w układzie; kg

V – objętość komory osadu czynnego; m³

ΔX – przyrost osadu w wyniku procesów oczyszczania; kg/d

$$\Delta X = Q_N \cdot X_R + (Q_D - Q_N) X_O; \quad g \text{ sm} / d \quad (3)$$

gdzie:

Q_N – natężenie przepływu osadu nadmiernego; m³/d

X_R – stężenie osadu recykulowanego (powrotnego i nadmiernego); g sm/m³

Q_D – natężenie dopływu ścieków, m³/d

X_O – stężenie zawiesin w ściekach oczyszczonych; g sm/m³

Przyrost osadu zależy od wieku osadu i ładunku zanieczyszczeń w oczyszczanych ściekach.

Wiek osadu czynnego (WO) zwykle mieści się w przedziale od kilku do kilkudziesięciu dób (zależnie od sposobu prowadzenia procesu i niezbędnych efektów oczyszczania). Osad o WO > 40d jest biologicznie stabilny. Przyjmując odpowiednio długi wiek osadu oprócz dobrych efektów usuwania związków organicznych, można utlenić azot amonowy do azotanów.

- **Indeks osadu czynnego (Mohlmana) IO**

Charakteryzuje zdolność zawieszin osadu czynnego do sedymentacji w osadniku wtórnym. Jest to stosunek objętości osadu czynnego po 30 minutach zagęszczania w cylindrze 1dm³ do masy osadu w cylindrze przed zagęszczaniem

$$IO = \frac{V_{OS}}{V \cdot X}; \quad \text{cm}^3 / \text{g sm} \quad (4)$$

gdzie:

V_{OS} – objętość osadu po 30 minutach zagęszczania; cm³

X – stężenie osadu w cylindrze przed zagęszczaniem; g sm/cm³

V – początkowa objętość osadu; cm³

Im mniejsza wartość indeksu osadu, tym korzystniejsze są jego właściwości sedymentacyjne. Osad czynny o dobrych właściwościach sedymentacyjnych ma IO w granicach 50-100 cm³/g sm. Wyższe wartości IO wskazują na tzw. pęcznienie osadu, wywołane najczęściej przez bakterie nitkowate.

• **Obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń O_L**

Obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń określa ilość zanieczyszczeń organicznych (najczęściej wyrażanych jako BZT₅) doprowadzanych do komory osadu czynnego w jednostce czasu na jednostkę masy osadu w komorze:

$$O_L = \frac{Q_D \cdot S_{BZT_5}}{M_X} = \frac{L_{BZT_5}}{M_X} = \frac{L_{BZT_5}}{WO \cdot \Delta X}; \quad \text{g BZT}_5 / \text{g sm} \cdot \text{d} \quad (5)$$

gdzie:

S_{BZT_5} – BZT₅ ścieków doprowadzanych do komory osadu czynnego; g BZT₅/m³

L_{BZT_5} – ładunek BZT₅ ścieków doprowadzanych do KOCz; g BZT₅/d

Jest to parametr, którego wartość jest wynikiem przyjęcia określonego wieku osadu WO.

Dla osadu niskoobciążonego: $O_L = 0,2-0,6$ g BZT₅/g sm·d.

Dla osadu wysokoobciążonego

– układ wysokosprawny: $O_L = 0,4-1,5$ g BZT₅/g sm·d

– częściowego oczyszczania: $O_L = 1,5-5,0$ g BZT₅/g sm·d

• **Czas przetrzymania ścieków w komorze osadu czynnego T**

Czas przetrzymania ścieków w komorze wynosi od kilku do kilkunastu (kilkudziesięciu) godzin (zależnie od przyjmowanego stężenia osadu w komorze). Nie powinien być krótszy niż 3 h. Czas przetrzymania ścieków w komorze oblicza się jako stosunek objętości komory osadu czynnego i natężenia przepływu.

$$T = \frac{V}{Q_D}, h \quad (6)$$

• **Obciążenie objętości komory ładunkiem zanieczyszczeń O_K**

Określa ilość zanieczyszczeń doprowadzanych do komory osadu czynnego w jednostce czasu w przeliczeniu na 1 dm³ objętości komory.

$$O_K = \frac{Q_D \cdot S_{BZT_5}}{V} = \frac{L_{BZT_5}}{V}; \quad \text{g BZT}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{d} \quad (7)$$

gdzie:

S_{BZT_5} – BZT₅ ścieków doprowadzanych do komory osadu czynnego; g BZT₅/m³

L_{BZT5} – ładunek BZT₅ ścieków doprowadzanych do KOCZ; g BZT₅/d

Jest to parametr wynikowy, zależny od przyjętej objętości komory osadu czynnego (V), która z kolei zależy od przyjętego wieku osadu i stężenia osadu w KOCZ ($V = WO \cdot \Delta X / X$).

$$O_K = \frac{L_{BZT5}}{WO \cdot \Delta X} \cdot X; \quad g \text{ BZT}_5 / m^3 \cdot d \quad (8,9)$$
$$O_K = O_L \cdot X; \quad g \text{ BZT}_5 / m^3 \cdot d$$

• **stopień recyrkulacji osadu α**

Stopień recyrkulacji osadu α określa stosunek natężenia strumienia osadu powrotnego z osadnika wtórnego Q_R do natężenia dopływu ścieków surowych do bloku biologicznego Q_D .

$$\alpha = \frac{Q_R}{Q_D} \quad (10)$$

W celu zachowania równowagi pomiędzy podażą substratów (pożywienia) a ilością konsumentów, biomasę osadu czynnego należy zwracać do komór osadu czynnego.

Recyrkulacja osadu ma na celu wprowadzenie do komory osadu zregenerowanego w pełni zdolnego do adsorpcji i mineralizacji zanieczyszczeń i utrzymanie stężenia osadu na wymaganym poziomie. Przeciętnie stopień recyrkulacji osadu wynosi 25-100%. Im mniejszy jest indeks osadu, tym stopień recyrkulacji może być mniejszy. Z kolei im mniejszy jest stopień recyrkulacji, tym mniejsze są koszty pompowania. Z drugiej strony, przy zbyt małym stopniu recyrkulacji, osad gromadzi się w osadniku wtórnym.

Stopień recyrkulacji osadu można oszacować z testu jego zdolności sedymentacyjnych:

$$\frac{Q_R}{Q_D} = \frac{V_S}{1000 - V_S} \quad (11)$$

gdzie:

V_S - objętość osadu po 30 min. sedymentacji; cm^3/dm^3

Stopień recyrkulacji może być również obliczony na podstawie bilansu masy dla osadnika wtórnego:

$$Q_R = \frac{X \cdot Q_D - X_R \cdot Q_N}{X_R - X}; m^3 / d \quad (12)$$

gdzie:

X_R - stężenie osadu w strumieniu osadu recyrkulowanego i nadmiernego; g sm/m^3 ,

Q_N - natężenie przepływu osadu nadmiernego; m^3/d .

• **zużycie tlenu Z_{O_2}**

W procesie tlenowego osadu czynnego konieczne jest dostarczanie do układu niezbędnej ilości tlenu. Tlen jest zużywany w procesie utleniania związków organicznych, czemu towarzyszy wydzielanie energii wykorzystywanej do syntezy biomasy z pozostałej ilości usuwanych (ale nie utlenianych) związków organicznych.

W komorze osadu czynnego utrzymuje się stężenie tlenu rozpuszczonego w granicach 1-2 g O_2/m^3 .

$$Z_{O_2} = Z_{O_2}^C + Z_{O_2}^N; \quad g O_2 / d \quad (13)$$

gdzie:

$Z_{O_2}^C$ - zużycie tlenu na utlenianie związków organicznych w KOCz; g O_2/d ,

$Z_{O_2}^N$ - zużycie tlenu na nityfikację azotu amonowego w KOCz (gdy z uwagi na przyjęty wiek osadu nityfikacja ma miejsce); g O_2/d ,

Jeżeli podstawą bilansu masy jest BZT to:

$$Z_{O_2}^C = 1,47 \cdot Q_D (S_{BZT_5, D} - S_{BZT_5, O}^S) - 1,42 \cdot \Delta X_{org}; \quad g \ O_2 / d \quad (14)$$

gdzie:

$S_{BZT_5, D}$ - BZT₅ ścieków dopływających do KOCz; g BZT₅/m³,

$S_{BZT_5, O}^S$ - BZT₅ rozpuszczone ścieków oczyszczonych odpływających z osadnika wtórnego; g BZT₅/m³,

ΔX_{org} - przyrost osadu organicznego; g smo/d.

Jeżeli podstawą bilansu masy jest ChZT to:

$$Z_{O_2}^C = Q_D (S_{ChZT, D} - S_{ChZT, O}^S) - \Delta X_{org}; \quad g \ O_2 / d \quad (15)$$

gdzie:

ΔX_{org} wyrażone jest w g ChZT/d

Zużycie tlenu w procesie nityfikacji wynosi:

$$Z_{O_2}^N = 4,6 \cdot Q_D \cdot S_{N-NO_3, O} \quad (16)$$

gdzie:

$S_{NO_3, O}$ - stężenie azotu azotanowego w odpływie, g N/m³

• **Zapotrzebowanie związków pokarmowych**

Jednym z warunków prawidłowego przyrostu biomasy osadu czynnego jest podaż składników pokarmowych – azotu i fosforu. Stosunek stężeń tych składników w ściekach do zawartości związków organicznych mierzonych BZT₅ zależy od wieku osadu i dla średnich WO powinien wynosić:

$$BZT_5 : N : P = 100 : 5 : 1 \quad (17)$$

Azot stanowi 12,3%, a fosfor 2,6% biomasy osadu czynnego, podaż składników pokarmowych powinna zatem wynosić:

$$\begin{aligned} Z_N &= 0,123 \cdot \Delta X + 1,0 \cdot Q_D; \quad g \ N / d \\ Z_P &= 0,026 \cdot \Delta X + 0,05 \cdot Q_D; \quad g \ P / d \end{aligned} \quad (18, 19)$$

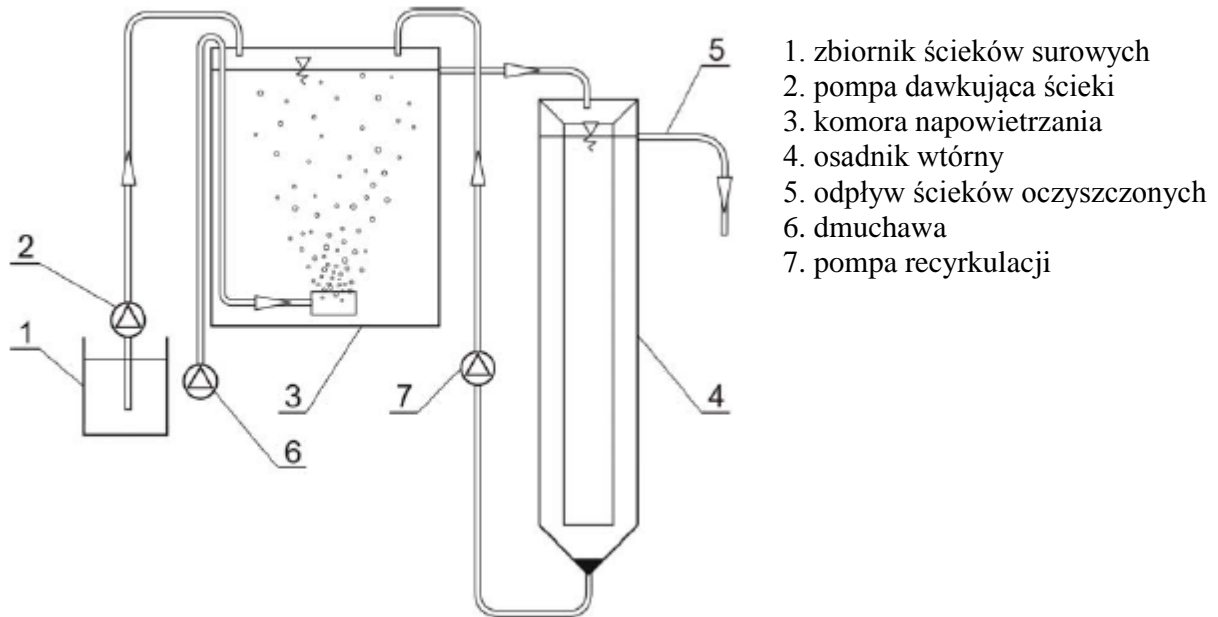
Współczynniki 1,0 i 0,05 są wyrażone w g/m³ i stanowią rezerwę pokarmową.

PRZEBIEG ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z procesem biologicznego oczyszczania ścieków osadem czynnym w warunkach laboratoryjnych i porównanie (na podstawie literatury) z rzeczywistym procesem osadu czynnego.

Realizowany w laboratorium proces osadu czynnego przebiega w urządzeniach przedstawionych schematycznie na rysunku poniżej. Eksperyment prowadzony jest równoległe w dwóch układach o różnych objętościach komór osadu czynnego. ($V_1 \approx 2 \cdot V_2$).

Układ pierwszy podlega szczegółowej analizie. W drugim układzie badane jest tylko stężenie osadu (decyzja prowadzącego).



W ramach ćwiczenia należy:

- ocenić efekt oczyszczania ścieków osadem czynnym,
- wyznaczyć wybrane parametry pracy KOCz,
- wyznaczyć wybrane parametry pracy osadnika wtórnego,
- sporządzić bilans związków organicznych, tlenu, azotu i fosforu.

W ściekach surowych i oczyszczonych (po osadniku wtórnym) należy oznaczyć:

pH, zasadowość, zawiesiny ogólne, BZT₅, utlenialność, zawartość związków azotu (amoniowego, azotynowego i azotanowego).

Wyniki należy zestawiać tabelarycznie i obliczyć stopień obniżenia poszczególnych wskaźników zanieczyszczenia. Wymagane do obliczeń parametry ścieków surowych i oczyszczonych takie jak: ChZT, zawartość azotu organicznego oraz ogólnego, zawartość fosforu ogólnego podawane są przez prowadzącego ćwiczenia.

W celu wyznaczenia parametrów pracy KOCz należy zmierzyć:

- natężenie przepływu ścieków Q_D (m^3/d lub dm^3/d),
- wymiary KOCz i obliczyć objętość komory V ; m^3 .

Ponadto należy oznaczyć lub policzyć:

- stężenie osadu w KOCz dla obydwu układów (sucha masa osadu) X ; $g\ sm/m^3$,
- indeks osadu IO; $cm^3/g\ sm$,
- ilość odprowadzanego osadu nadmiernego ΔX ; $g\ sm/d$.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczyć parametry pracy KOCz:

- obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń O_L ; g BZT₅/g sm·d,
- obciążenie objętości KOCz ładunkiem zanieczyszczeń O_K ; g BZT₅/m³·d,
- obciążenie hydrauliczne objętości KOCz O_{HK} ; m³/m³·d,
- czas przetrzymania ścieków w KOCz T; h.

W celu obliczenia parametrów pracy osadnika wtórnego należy wyznaczyć objętość osadnika wtórnego (V_O ; m³) i powierzchnię rzutu pionowego osadnika (F_O ; m²) (należy zwrócić uwagę na specyfikę osadnika wtórnego).

Na tej podstawie można obliczyć:

- obciążenie hydrauliczne powierzchni osadnika wtórnego $O_{HO} = Q_D/F_O$; m³/m²·d
- czas przetrzymania ścieków w osadniku wtórnym $T_O = V_O/Q_D$; h

Wyniki zestawić w tabeli i porównać z danymi literaturowymi. Analizę pracy osadu czynnego przeprowadzić w kontekście efektów oczyszczania ścieków i produkcji osadu. Należy też sporządzić bilans związków organicznych, azotowych, tlenu i fosforu w procesie osadu czynnego według schematu:

Bilans związków organicznych:

$$S_{ChZT,D} \cdot Q_D - S_{ChZT,O} \cdot Q_O - S_{ChZT,N} \cdot Q_N = Z_{O_2}^C; \quad g O_2 / d$$

Bilans związków azotowych:

$$S_{Nog,D} \cdot Q_D - S_{Nog,O} \cdot Q_O - S_{Nog,N} \cdot Q_N = 0$$

Z podanego powyżej wzoru należy obliczyć stężenie N_{og} w osadzie.

Bilans związków fosforu:

$$S_{Pog,D} \cdot Q_D - S_{Pog,O} \cdot Q_O - S_{Pog,N} \cdot Q_N = 0$$

Z podanego powyżej wzoru należy obliczyć stężenie P_{og} w osadzie.

Zużycie tlenu Z_{O_2}

$$Z_{O_2} = Z_{O_2}^C + Z_{O_2}^N; \quad g O_2 / d$$

$$Z_{O_2}^C = S_{ChZT,D} \cdot Q_D - S_{ChZT,O} \cdot Q_O - S_{ChZT,N} \cdot Q_N; \quad g O_2 / d$$

$$Z_{O_2}^N = 4,6 \cdot Q_O \cdot S_{N-NO_3^-,O}; \quad g O_2 / d$$

Uwaga:

$$Q_O = Q_D - Q_N$$

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

pH (pomiar na pH-metrze)

zasadowość (miareczkowanie HCl wobec wskaźnika: zieleń bromokrezolowa czerwień metylowa)

utlenialność (w środowisku kwaśnym z kwasem szczawiowym)

BZT₅ (metoda rozcieńczeń; tlen rozpuszczony metodą Winklera)

azot amonowy (metoda bezpośredniej nessleryzacji, porównanie ze skalą wzorców)

azot azotynowy (metoda kolorymetryczna z kwasem sulfanilowym i α -naftyloaminą, porównanie ze skalą wzorców)

azot azotanowy (metoda kolorymetryczna z kwasem fenolodisulfonowym, porównanie ze skalą wzorców)

stężenie zawiesin (metoda wagowa pośrednia/różnicowa)

indeks osadu (dwie komory)

oznaczenia podane na zajęciach: ChZT , P_{og}, N_{org}, ChZT_{osadu}.

FORMULARZ WYNIKÓW ANALIZ

Oczyszczanie ścieków w procesie tlenowego osadu czynnego z nityfikacją

Oznaczenie odczynu pH

Nazwa próby	Odczyn pH
Ścieki surowe	
Ścieki oczyszczone	

Oznaczenie zasadowości ogólnej

Nazwa próby	Zasadowość M		
	Przebieg miareczkowania	Wartość	
		val/m ³	g CaCO ₃ /m ³
Ścieki surowe-.....=.....		
Ścieki oczyszczone-.....=.....		

Oznaczenie utlenialności:

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Opis próby	Przebieg miareczkowania	Stężenie g O ₂ /m ³
„0”	0	-.....=.....	
Ścieki surowe				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie indeksu osadu (indeks Mohlmana)

Osad	Początkowa objętość osadu; cm ³	Końcowa objętość osadu (po 30 min); cm ³	Wartość IO cm ³ /g sm
Z komory nr 1	100		
Z komory nr 2	100		

Oznaczenie azotu amonowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Opis próby	Odczyt wzorca	Stężenie g N/m ³
Ścieki surowe				
Ścieki surowe				
Ścieki oczyszczone				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie azotu azotanowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Opis próby	Odczyt wzorca	Stężenie g N/m ³
Ścieki surowe				
Ścieki surowe				
Ścieki oczyszczone				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie azotu azotanowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Opis próby	Odczyt wzorca	Stężenie g N/m ³
Ścieki surowe				
Ścieki surowe				
Ścieki oczyszczone				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie stężenia zawiesin

Nazwa próby		Objętość cm ³	Masy krystalizatorów, g		
			M _O (pusty)	M _S (Wysuszony)	Różnica
Komora 1	„cale”	50			
	„przesącz”	50			
Komora 2	„cale”	50			
	„przesącz”	50			

Wyniki:

Stężenia g/m ³	Sucha pozostałość	Substancje rozpuszczone	Zawiesiny
Komora 1			
Komora 2			

Oznaczenie tlenu rozpuszczonego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Rodzaj oznaczenia	Przebieg miareczkowania	Stężenie g O ₂ /m ³
Woda do rozcieńczeń	0	„Na bieżąco 1”-.....=.....	
		„Na bieżąco 2”-.....=.....	
		„Na bieżąco 3”-.....=.....	
		„Po inkubacji 1”-.....=.....	
		„Po inkubacji 2”-.....=.....	
Ścieki surowe		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
Ścieki oczyszczone		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	

WYNIKI:

	Rozcieńczenie	BZT ₅ ; g O ₂ /m ³
Ścieki surowe		
Ścieki oczyszczone		

Oznaczenia podawane przez prowadzącego:

Parametr	Ścieki surowe	Ścieki oczyszczone
ChZT, g O ₂ /m ³		
Azot organiczny N _{org} ; g N/m ³		
Fosfor ogólny P _{og} ; g P/m ³		

WO = d

ChZT_{osadu}, g ChZT/m³ =

Inne informacje i uwagi:

Data:

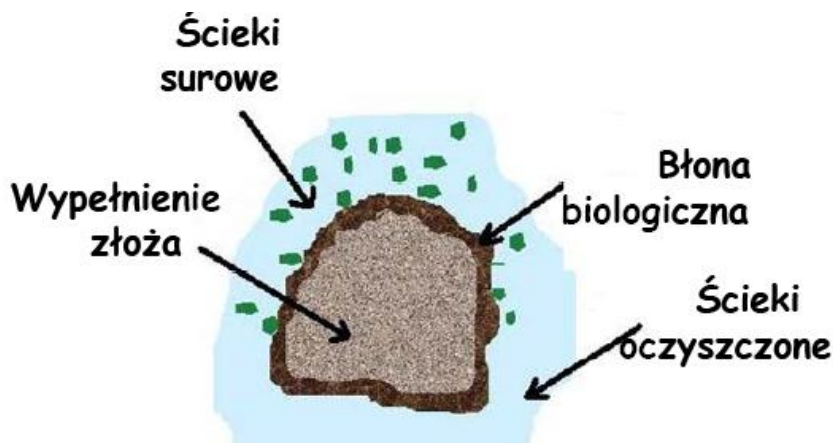
Podpis prowadzącego:.....

Ćwiczenie 2. OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW NA ZŁOŻU BIOLOGICZNYM

Cel ćwiczenia:

Zapoznanie się z procesem biologicznego oczyszczania ścieków na złożach biologicznych oraz zbadanie podstawowych parametrów technologicznych charakteryzujących pracę złoża. Na podstawie uzyskanych wyników należy porównać pracę modelowego złoża ze złożami pracującymi w warunkach rzeczywistych (dane literaturowe).

Złożami biologicznymi nazywamy rodzaj reaktorów biologicznych wykorzystywanych do oczyszczania ścieków biodegradowalnych (komunalnych i niektórych przemysłowych). Usuwanie zanieczyszczeń następuje w wyniku ich wychwytywania z przepływających ścieków i przemian biochemicznych, prowadzonych przez rozwijające się na powierzchni naturalnego bądź syntetycznego wypełnienia złoża mikroorganizmy – tzw. immobilizowaną błonę biologiczną.



Rysunek 1. Immobilizacja biomasy w złożu biologicznym

Złoża biologiczne najczęściej wykorzystywane są do oczyszczania tlenowego. Istnieją jednak także możliwości prowadzenia procesu w warunkach beztlenowych lub anoksycznych, co umożliwia zintegrowane usuwanie związków C i N. Najogólniej złoża podzielić można na dwie grupy: z wypełnieniem stałym (złoża stacjonarne) i z wypełnieniem ruchomym (np. złoża tarczowe). Bardziej rozbudowane klasyfikacje złożów biologicznych odnoszą się do ich specyficznych parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych.



Rysunek 2. Przykład złoża biologicznego z wypełnieniem stałym (złożo zraszane)

Napowietrzanie ścieków w złożu stacjonarnym następuje poprzez kontakt ścieków z powietrzem atmosferycznym, przepływającym przez wolne przestrzenie między elementami wypełnienia porośniętymi błoną biologiczną. Zwykle przepływ powietrza wywołany jest tzw. ciągiem kominowym, spowodowanym różnicą temperatur powietrza atmosferycznego i ścieków. Stosuje się także rozwiązania z przepływem powietrza wymuszonym wentylatorem. Napowietrzanie w złożach spełnia podwójną rolę:

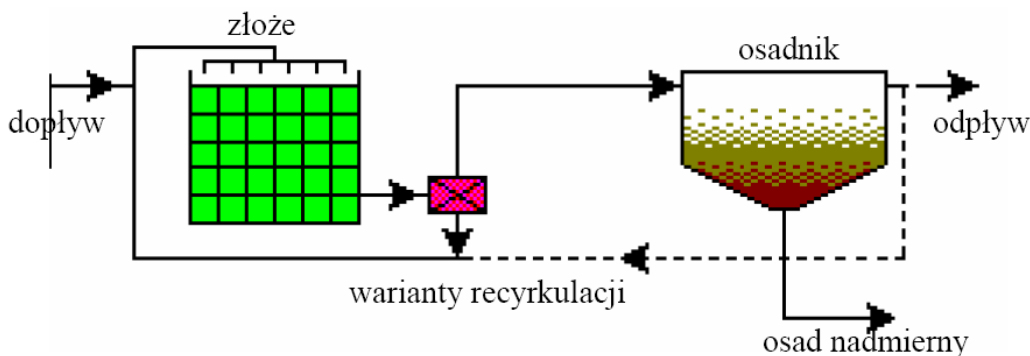
- dostarczanie tlenu niezbędnego do metabolizmu organizmów zasiedlających złożo,
- usuwanie dwutlenku węgla powstającego w procesie mineralizacji substancji organicznych.

Ważnym elementem układu oczyszczania ścieków na złożu biologicznym (szczególnie w przypadku złożów splukiwanych i wieżowych) jest recyrkulacja ścieków. Stosowana jest ona w celu:

- uzyskania wymaganego obciążenia hydraulicznego,
- obniżenia stężenia doprowadzanych ścieków,
- zwiększenia stopnia oczyszczenia ścieków,
- odświeżenia ścieków (natlenienie), korekty pH, zaszczepienia ścieków surowych,
- zapewnienia ciągłego usuwania nadmiaru błony biologicznej do osadników wtórnych.

Ścieki do recyrkulacji mogą być pobierane z dna osadnika wtórnego, z koryta odprowadzającego ścieki z osadnika wtórnego lub z odpływu ze złoża, a kierowane przed osadnik wstępny lub wprost do dopływu na złożo biologiczne.

Ćwiczenie realizowane jest na modelowym złożu biologicznym, którego schemat przedstawiono na rysunku 3.



Rysunek 3. Schemat funkcjonowania zraszanego złoża biologicznego

Sposób wykonania ćwiczenia:

W ramach ćwiczenia należy:

- ocenić skuteczność oczyszczania ścieków na złożu biologicznym,
- wyznaczyć wybrane parametry pracy złoża biologicznego (obciążenie hydrauliczne, obciążenie ładunkiem BZT₅, utlenialności),
- wyznaczyć wybrane parametry pracy osadnika wtórnego (obciążenie hydrauliczne, czas przetrzymania).

W ściekach surowych i oczyszczonych (po osadniku wtórnym) należy oznaczyć: pH, zasadowość, BZT₅, utlenialność, zawartość związków azotowych (azot amonowy, azotynowy, azotanowy). Wyniki należy zestawiać tabelarycznie i obliczyć stopień usuwania poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń.

W celu wyznaczenia parametrów pracy **złoża biologicznego** należy wyznaczyć:

- natężenia przepływu ścieków surowych Q_D ; m³/h,
- natężenie przepływu ścieków recykulowanych; Q_R ; m³/h,
- powierzchnię rzutu złoża F_Z ; m²,
- objętość złoża V_Z ; m³.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów obliczyć parametry pracy złoża biologicznego: obciążenie hydrauliczne powierzchni złoża O_{HZ}

$$O_{HZ} = \frac{Q_D + Q_R}{F_Z}; \quad m^3 / (m^2 \cdot d);$$

obciążenie złoża ładunkiem BZT₅ i utlenialności

$$O_Z^{BZT_5} = \frac{Q_D \cdot S_{BZT_5, D}}{V_Z}; \quad g O_2 / (m^3 d)$$

$$O_Z^{utl} = \frac{Q_D \cdot S_{utl, D}}{V_Z}; \quad g O_2 / (m^3 d)$$

Dodatkowo należy obliczyć **parametry pracy osadnika wtórnego**. W tym celu należy wyznaczyć:

- powierzchnię rzutu osadnika wtórnego F_O ; m²,
- objętość osadnika wtórnego V_O ; m³,

a następnie obliczyć:

obciążenie hydrauliczne powierzchni osadnika wtórnego O_{HO}

$$O_{HO} = \frac{Q_D + Q_R}{F_O}; m^3 / (m^2 d)$$

czas przetrzymania ścieków w osadniku wtórnym T_O

$$T_O = \frac{V_O}{Q_D + Q_R}; h$$

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

pH (pomiar na pH-metrze)

zasadowość (miareczkowanie HCl wobec wskaźnika: zieleń bromokrezolowa czerwień metylova)

utlenialność (w środowisku kwaśnym z kwasem szczawiowym)

BZT₅ (metoda rozcieńczeń; tlen rozpuszczony metodą Winklera)

azot amonowy (metoda bezpośredniej nessleryzacji, porównanie ze skalą wzorców)

azot azotynowy (metoda kolorymetryczna z kwasem sulfanilowym i α -naftyloaminą, porównanie ze skalą wzorców)

azot azotanowy (metoda kolorymetryczna z kwasem fenolodisulfonowym, porównanie ze skalą wzorców)

FORMULARZ WYNIKÓW ANALIZ

Oczyszczanie ścieków na złożu biologicznym

Oznaczenie odczynu pH

Nazwa próby	Odczyn pH
Ścieki surowe	
Ścieki oczyszczone	

Oznaczenie zasadowości ogólnej

Nazwa próby	Zasadowość M		
	Przebieg miareczkowania	Wartość	
		Val/m ³	g CaCO ₃ /m ³
Ścieki surowe-.....=.....		
Ścieki oczyszczone-.....=.....		

Oznaczenie utlenialności:

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Opis próby	Przebieg miareczkowania	Stężenie g O ₂ /m ³
„0”	0	-.....=.....	
Ścieki surowe				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie azotu amonowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Opis próby	Odczyt wzorca	Stężenie g N/m ³

Oznaczenie azotu azotynowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Opis próby	Odczyt wzorca	Stężenie g N/m ³

Oznaczenie azotu azotanowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Opis próby	Odczyt wzorca	Stężenie g N/m ³

Oznaczenie tlenu rozpuszczonego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Rodzaj oznaczenia	Przebieg miareczkowania	Stężenie g O ₂ /m ³
Woda do rozcieńczeń	0	„Na bieżąco 1”-.....=.....	
		„Na bieżąco 2”-.....=.....	
		„Na bieżąco 3”-.....=.....	
		„Po inkubacji 1”-.....=.....	
		„Po inkubacji 2”-.....=.....	
Ścieki surowe		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
Ścieki oczyszczone		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	

Inne informacje i uwagi:

Data:

Podpis prowadzącego:.....

Ćwiczenie 3.
PORÓWNANIE EFEKTÓW PRACY OSADU CZYNNEGO I
ZŁOŻA BIOLOGICZNEGO

W przygotowaniu

Ćwiczenie 4.

SEDYMENTACJA WSTĘPNA – BADANIA W LEJU IMHOFFA

Celem ćwiczenia jest określenie skuteczności oczyszczania ścieków miejskich w procesie sedymentacji wstępnej oraz poznanie dynamiki sedymentacji zawieszin łatwo opadających w warunkach nieprzepływowych (badania w leju Imhoffa).

Zanieczyszczenia występujące w ściekach można podzielić na zanieczyszczenia rozpuszczone w wodzie i nierozpuszczone w wodzie (ciała pływające, zawieszony i wleczony). Proces usuwania ze ścieków zanieczyszczeń nierozpuszczonych nosi nazwę oczyszczania mechanicznego i stanowi pierwszy stopień w procesie oczyszczaniu ścieków.

W oczyszczaniu mechanicznym wykorzystuje się następujące procesy:

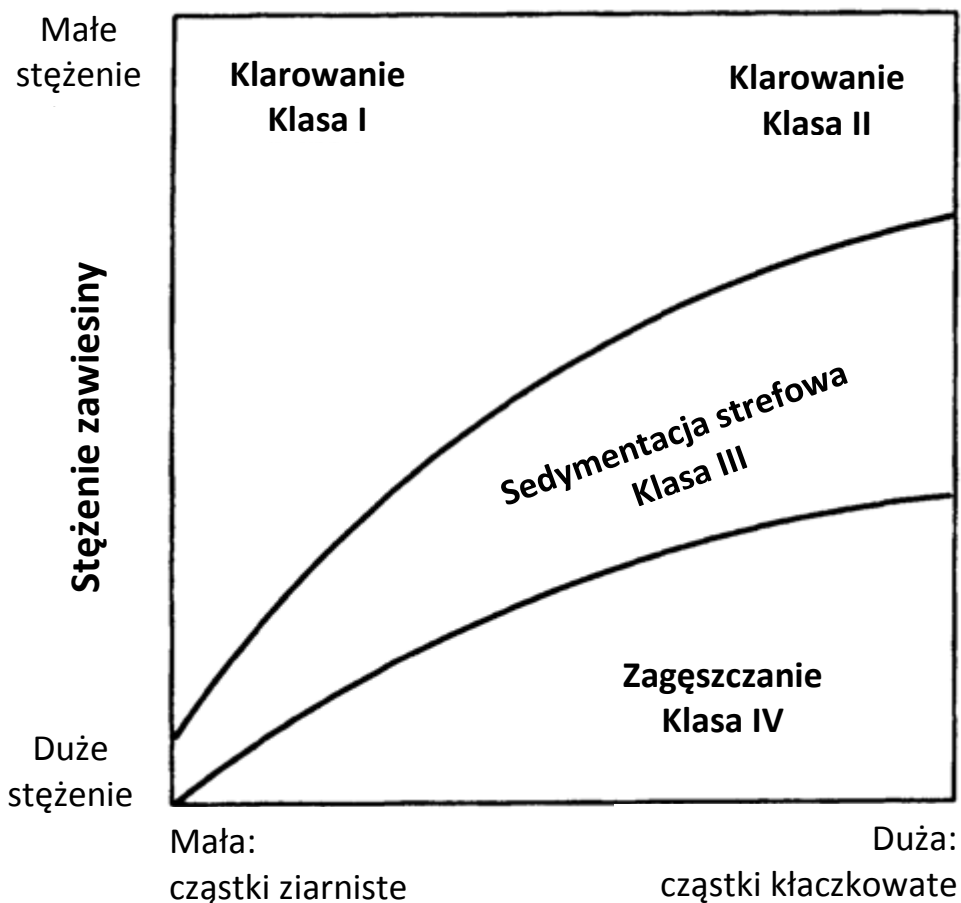
- cedzenie – usuwanie ciał pływających i wleczonych o dużych rozmiarach na kratkach i sitach,
- flotację – usuwanie zanieczyszczeń pływających (o gęstości mniejszej od gęstości wody), takich jak tłuszcze i oleje, w odtłuszczaczach i odolejaczach,
- sedymentację – usuwanie zanieczyszczeń o gęstości większej od gęstości wody i o znacznym stopniu rozdrobnienia (np. piasek i zawiesziny) w piaskownikach i osadnikach,
- filtrację – usuwanie zanieczyszczeń o tak znacznym stopniu rozdrobnienia, że sedymentacja i flokulacja są nieekonomiczne; w praktyce proces filtracji stosowany jest do oczyszczania ścieków przemysłowych i w przeróbce osadów ściekowych; w tym ostatnim przypadku celem jest odwodnienie osadu, a nie usunięcie zanieczyszczeń.

Z uwagi na różną naturę cząstek zawiesziny (np. ścieki surowe, osad czynny, osad granulowany, błona biologiczna, osad pokoagulacyjny) oraz ich stężenie (malejące w górnych, a rosnące w dolnych strefach osadnika) proces sedymentacji jest wyraźnie zróżnicowany. Cząstki zawiesziny mogą sedymentować w jednym z czterech znacząco różnych reżimów, w zależności od (a) stężenia zawiesziny i (b) tendencji cząstek do łączenia się w większe agregaty – (kłaczkę), tj. flokulacji. Zależność czterech reżimów sedymentacji od stężenia cząstek i ich tendencji do flokulacji przedstawiono jakościowo na rysunku 1.

Przebieg sedymentacji może być zakwalifikowany do czterech reżimów: sedymentacja dyskretnych (odrębnych) nie flokulujących cząstek (**klasa sedymentacji I**), sedymentacja dyskretnych cząstek flokulujących (**klasa II**), sedymentacja strefowa (**klasa III**) oraz zagęszczanie (**klasa IV**).

Przy niskich stężeniach (klasy I i II) cząstki są całkowicie rozproszone, nie ma między nimi fizycznego kontaktu i zazwyczaj stężenie jest zbyt małe, żeby strumień cieczy opływającej opadającą cząstkę wpływał (znacząco) na sedymentację innych cząstek. Każda cząstka opada z jej charakterystyczną stałą prędkością, która zależy od indywidualnych właściwości cząstki takich jak kształt, rozmiar, porowatość i gęstość materiału. Jeżeli te cząstki nie wykazują tendencji do flokulacji (jak np. piasek lub osad granulowany), to taki reżim opadania nazywany jest **sedymentacją dyskretną bez flokulacji (klasa I)**.

Niektóre rodzaje zawieszin (np. zawieszina ścieków surowych, kłaczkę osadu czynnego, błona biologiczna) mają naturalną tendencję do flokulacji nawet przy małych stężeniach. W takim przypadku zderzenia cząstek podczas sedymentacji skutkują powstawaniem większych kłaczek (agregatów łączących się cząstek), których prędkość sedymentacji rośnie z upływem czasem. Tworzące się kłaczkę nadal opadają odrębnie z charakterystyczną dla nich prędkością. Taki reżim sedymentacji nazywany jest **sedymentacją dyskretną z flokulacją (klasa II)**. Sedymentacja dyskretna (klasa I lub II) ma miejsce w strefach klarowania osadników, stąd określenie „klarowanie” na rysunku 1.



Tendencja cząstek do flokulacji (kłaczkowania)

Rysunek 1. Zmiana reżimu sedymentacji w zależności od stężenia cząstek zawiesiny i ich tendencji do flokulacji [3].

Przejście z reżimu sedymentacji dyskretniej do reżimu **sedymentacji strefowej (klasa III)** następuje gdy stężenie cząstek zawiesiny w którymś miejscu osadnika osiąga wartość progową, powyżej której cząstki już nie opadają niezależnie od siebie. Jak wynika z rysunku 1., stężenie progowe zależy od zdolności cząstek do flokulacji. Dla osadu czynnego stężenie progowe to około 600-700 g sm/m³. Powyżej stężenia progowego cząstki znajdują się tak blisko obok siebie, że strumienie wody opływającej poszczególne opadające cząstki (woda przemieszcza się z miejsca pod cząstką do miejsca nad nią) wzajemnie na siebie zachodzą. W konsekwencji mamy istotny wzajemny wpływ opadających cząstek na ich prędkość sedymentacji. Im większe stężenie cząstek tym większy strumień opływającej je wody oraz mniejsza powierzchnia między cząstkami, przez którą ta woda musi się przedostać (z odpowiednio rosnącą prędkością potęgującą opory). W konsekwencji ze wzrostem stężenia zawiesiny znacząco rośnie hamowanie opadających cząstek. Dlatego w przypadku sedymentacji strefowej (klasa III) obserwowana prędkość sedymentacji maleje w miarę wzrostu stężenia zawiesiny.

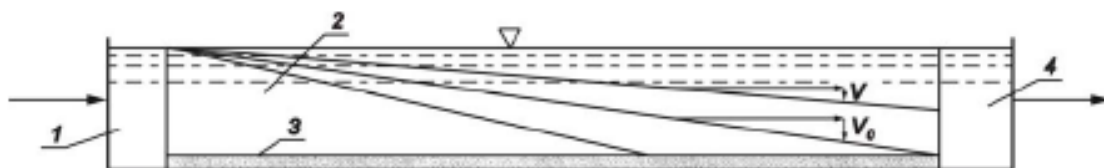
Charakterystyczną cechą sedymentacji strefowej jest gromadne opadanie cząstek z jednakową prędkością, niezależnie od zróżnicowania wielkości i gęstości cząstek. Jest to skutek bardzo intensywnego „porywania” mniejszych cząstek (wolniej opadających) przez cząstki większe (szybciej opadające), z uwagi na bardzo dużą intensywność zderzeń przy dużej liczbie cząstek w ograniczonej przestrzeni. W tym reżimie sedymentacji (klasa III) tworzy się wyraźna granica między klarowną cieczą nadosadową a opadającymi gromadnie cząstkami. Obserwacje przebiegu sedymentacji strefowej w eksperymentach laboratoryjnych (w cylindrach laboratoryjnych o odpowiednio dużej średnicy) mogą służyć do ustalenia parametrów obliczeniowych osadników wtórnych po procesie osadu czynnego lub osadników po oczyszczaniu chemicznym (strącaniu).

Gdy stężenie zawiesiny dalej rośnie (do około 5000-10000 g sm/m³), sedymentacja strefowa przechodzi w **zagęszczanie (klasa IV)**. Przy tych stężeniach cząstki spoczywają na sobie (wyższe warstwy osadu leżą na warstwach niższych, a ta w końcu na dnie osadnika) i przemieszczają się w dół w wyniku zagęszczania pod wpływem ciężaru warstw cząstek leżących powyżej. Prędkość tego przemieszczania jest znacznie mniejsza niż prędkość sedymentacji strefowej. Stężenie osadu w tej warstwie zależy od grubości warstwy osadu i czasu zalegania osadu.

W ramach niniejszego ćwiczenia - sedymentacja zawiesin ścieków komunalnych w leju Imhoffa – mamy do czynienia z klasą II i klasą IV, odpowiednio w górnej i dolnej części leja.

Sedymentacja odrębnych cząstek ziarnistych (klasa I)

Na rysunku 2. pokazano tory opadania trzech przykładowych cząstek zawiesiny ziarnistej (o różnych prędkościach opadania), znajdujących się na poziomie zwierciadła w strefie wlotowej osadnika (piaskownika) poziomego o przepływie podłużnym. Tory takich samych cząstek znajdujących się w strefie wlotowej na większych głębokościach, są odpowiednio równoległe do tych pokazanych na rysunku 1. Ten typ sedymentacji uwzględnia się przy projektowaniu piaskowników i osadników dla pewnych ścieków przemysłowych, a także dla osadników ścieków miejskich, jeżeli te ostatnie charakteryzują się małym stężeniem i przewagą zawiesin ziarnistych (co powinno być stwierdzone doświadczalnie).



1 – strefa wlotowa, 2 – strefa sedymentacji, 3 – strefa osadowa, 4 – strefa wylotowa

Rysunek 2. Schemat sedymentacji zawiesin ziarnistych (klasa I) w osadniku (piaskowniku) poziomym o przepływie podłużnym.

Przyjmując, że:

- cząstki dopływającej zawiesiny są równomiernie rozłożone (wymieszane) na wysokości strefy wlotowej,
- wszystkie cząstki, które przedostają się do strefy wylotowej trafiają do odpływu z osadnika,

można wydedukować odpowiedzi na poniższe pytania.

1. Jaki jest związek prędkości opadania V_0 z obciążeniem hydraulicznym osadnika ?
2. Jak mają się stopnie (sprawności) usuwania cząstek zawiesiny o różnych prędkościach opadania w relacji do sprawności usuwania cząstek o prędkości opadania V_0 ?

3. Jaki jest stopień usuwania cząstek o prędkości opadania $V = \frac{1}{2}V_0$?
4. Jaki będzie stopień usuwania cząstek o prędkości opadania V_0 w osadniku o dwukrotnie krótszym hydraulicznym czasie przetrzymania, przy niezmiennym obciążeniu hydraulicznym?
5. Jakie byłyby tory opadania cząstek ziarnistych z rysunku 1., gdyby sedymentacja była prowadzona w osadniku poziomym o przepływie radialnym, a nie podłużnym?

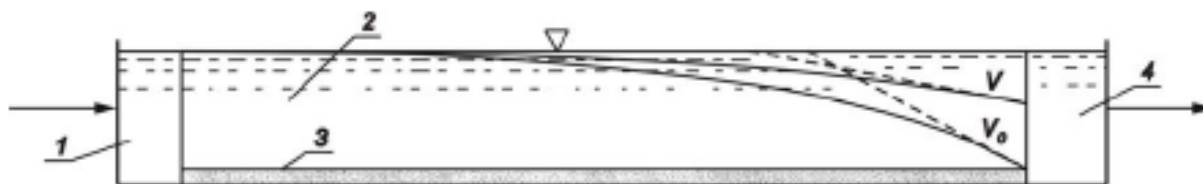
Samodzielna odpowiedź (z odpowiednim uzasadnieniem) na te pytania jest oczekiwanym elementem samodzielnego przygotowania się studenta do ćwiczeń laboratoryjnych.

Sedymentacja zawiesin kłaczkowatych (klasa II)

Na rysunku 3. pokazano tory opadania trzech przykładowych cząstek zawiesiny kłaczkowatej. Na skutek aglomeracji cząstek ich prędkość opadania zwiększa się wraz z głębokością osadnika, a trajektoria opadania jest krzywą, a nie prostą, jak w przypadku cząstek ziarnistych. W celu ustalenia niezbędnych parametrów procesu przeprowadza się laboratoryjne badania sedymentacji w kolumnach sedymentacyjnych o wysokości odpowiadającej głębokości strefy sedymentacji osadnika. Ten rodzaj sedymentacji zachodzi w osadnikach wstępnych oraz osadnikach wtórnych po złożach biologicznych.

Oczekiwanym elementem samodzielnego przygotowania się studenta do ćwiczeń laboratoryjnych jest samodzielna odpowiedź na poniższe pytanie (z odpowiednim uzasadnieniem).

1. Jaki jest związek obciążenia hydraulicznego osadnika ze średnią prędkością opadania cząstek, których końcowa prędkość sedymentacji (przy dnie osadnika) wynosi V_0 (rysunek 3.)?
2. Jaki zmieni się stopień usuwania cząstek, o których mowa w pytaniu 1. w osadniku o takiej samej szerokości, ale dwukrotnie mniejszej głębokości, przy niezmiennym obciążeniu hydraulicznym?



1 – strefa wlotowa, 2 – strefa sedymentacji, 3 – strefa osadowa, 4 – strefa wylotowa

Rysunek 3. Schemat sedymentacji zawiesin kłaczkowatych (klasa II) w osadniku poziomym o przepływie podłużnym.

Urządzenia, w których prowadzi się sedymentację noszą nazwę osadników. Ze względu na miejsce w układzie technologicznym można je podzielić na wstępne, pośrednie i wtórne, a ze względu na rozwiązania techniczne osadniki dzieli się na: o przepływie poziomym (podłużne, radialne), o przepływie pionowym, o przepływie pionowo-poziomym, wielostrumieniowe. Specjalnym typem osadnika jest osadnik Imhoffa, łączący w sobie funkcję usuwania zawiesin w procesie sedymentacji i ich stabilizacji w procesie fermentacji metanowej.

Osadniki wymiaruje się na podstawie:

- obciążenia hydraulicznego - gdy zawierają tylko zawiesinę ziarnistą, jest wyraźna przewaga zawiesiny ziarnistej lub gdy w ściekach występuje zawiesina całkowicie skłaczkowana, bądź w znacznym stopniu skłaczkowana,
- obciążenia hydraulicznego i czasu przetrzymania – gdy ścieki zawierają zawiesinę mieszaną lub zawiesinę nie w pełni skłaczkowaną, a w układzie nie ma wstępnej flokulacji.

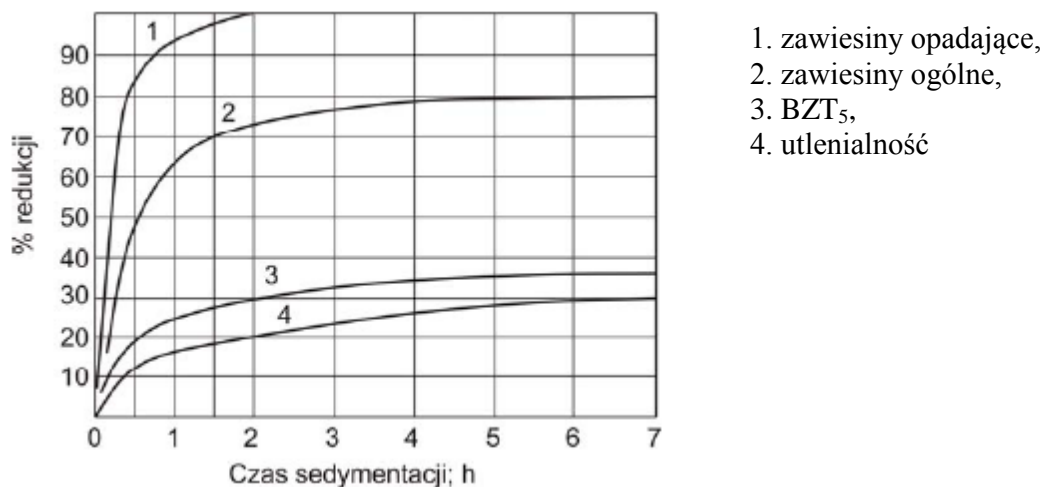
Sedymentacja wstępna prowadzona jest w osadnikach wstępnych po wstępnym oczyszczeniu ścieków z zanieczyszczeń wielkogabarytowych i piasku (na kratkach i/lub sitach oraz w piaskowniku).

Hydrauliczny czas przetrzymania w osadnikach wstępnych wynosi zazwyczaj od 1,5 do 2h.

W sedymentacji wstępnej usuwane są następujące zanieczyszczenia:

- zawiesiny ogólne: 40–70%,
- zawiesiny opadające: 90–100%,
- BZT₅: 20–30%,
- ChZT: 20–30%,
- utlenialność: 15–20%,
- N_{og}: 5–10%
- P_{og}: 5–10%

Wykres zależności skuteczności usuwania poszczególnych zanieczyszczeń w procesie sedymentacji wstępnej w zależności od czasu trwania procesu przedstawiają tzw. krzywe Sierpa (rys. 3).



Rysunek 3. Krzywe Sierpa.

Wykres Sierpa ujmuje dwa rodzaje zawiesin. Podział ten jest umowny, wprowadzony ze względów technicznych. Stężenie zawiesin ogólnych jest miarą całkowitej ilości zanieczyszczeń w postaci stałej, a zawiesiny szybko opadające są częścią zawiesiny całkowitej, która opada na dno doświadczalnego lejka Imhoffa w ciągu 2 godzin sedymentacji w warunkach nieprzepływowych. Zawiesiny pozostałe w ściekach po 2 godzinach sedymentacji określane są jako zawiesiny nieopadające. Zawartość zawiesin opadających w ściekach można wyrazić wagowo (w g sm/m³) lub objętościowo (w cm³/dm³).

Podwyższenie efektywności mechanicznego oczyszczania ścieków można uzyskać poprzez wstępne napowietrzanie (wspomaganie flokulacji) i poprzez tzw. biokoagulację (dodanie do ścieków osadu czynnego i ich wstępne napowietrzanie).

SPOSÓB WYKONANIA ĆWICZENIA

Badanie sedymentacji wstępnej prowadzone jest w warunkach nieprzepływowych w leju Imhoffa. W celu przeprowadzenia eksperymentu należy 1 litr dobrze wymieszanych ścieków wlać do leja Imhoffa i prowadzić obserwację ilości osadu gromadzącego się na dnie leja.

Należy notować przyrost zawiesiny (objętości) w czasie. Obserwację prowadzić przez 2 godziny.

W celu oceny procesu oczyszczania ścieków w procesie wstępnej sedymentacji należy w ściekach przed i po sedymentacji wykonać oznaczenie następujących zanieczyszczeń i wskaźników zanieczyszczeń: utlenialność, BZT₅, zawiesina ogólna, azot amonowy, zasadowość (według decyzji prowadzącego), pH.

Skuteczność oczyszczania należy obliczyć dla następujących zanieczyszczeń i wskaźników zanieczyszczenia: zawiesiny ogólnej, BZT₅, utlenialności, N_{og}, N-NH₄, P_{og}.

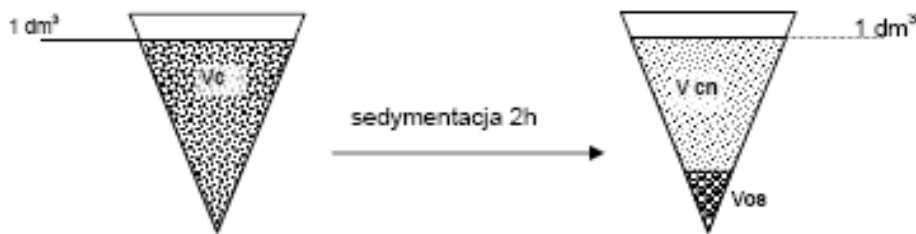
Na podstawie uzyskanych wyników należy:

- sporządzić wykres przyrostu objętości zawiesin opadających (cm³/dm³) w funkcji czasu sedymentacji;
- sporządzić wykres usuwania zawiesin opadających wyrażonych w % w funkcji czasu, przyjmując, że po 2 godzinach sedymentacji w leju Imhoffa sedymentacji uległy wszystkie zawiesiny opadające (100%);
- określić efekt oczyszczania ścieków w procesie sedymentacji wstępnej (w %);
- ocenić właściwości sedymentacyjne zawiesin w badanych ściekach.

Ponadto należy wyznaczyć stężenie osadu zgromadzonego na dnie leja Imhoffa (mg sm/dm³) oraz stężenia poszczególnych zanieczyszczeń i wartości wskaźników zanieczyszczeń w tym osadzie (w mg/mg sm). Obliczeń dokonać posługując się równaniem bilansu:

$$V_o \cdot C_o = V_{cn} \cdot C_{cn} + V_{os} \cdot C_{os}$$

indeksy: o – warunki początkowe – przed sedymentacją,
 cn – ciecz nadosadowa,
 os – osad



$$V_c = V_{cn} + V_{os}$$

Przeliczenie ilości zanieczyszczeń przypadającej na jednostkę masy osadu, np. dla N_{og} (przy założeniu, że oznaczenia wykonano w próbach niesączonych):

X_{os} = A mg sm/dm³ (w 1 dm³ znajduje się A mg sm osadu),

S_{os} = B mg N/dm³ (w 1 dm³ znajduje się B mg N_{og}),

zatem ilość zanieczyszczeń przypadająca na jednostkę masy osadu wynosi: **B/A mg N/mg sm**

Literatura:

1. Cywiński B. i in., Oczyszczanie ścieków miejskich t. II, Arkady, Warszawa 1972.
2. Łomotowski J., Szpindor A., Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków, Arkady. Warszawa 2002.
3. Ekama, G.A., Barnard, J.L., Gunthert, F.W., Krebs, P., McCorquodale, J.A., Parker, D.S., (1997). Secondary Settling Tanks: Theory, Modelling, Design and Operation. International Association on Water Quality.

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

pH (pomiar na pH-metrze)

zasadowość (miareczkowanie HCl wobec wskaźnika: zieleń bromokrezolowa czerwień metylowa)

utlenialność (w środowisku kwaśnym z kwasem szczawiowym)

azot amonowy (metoda bezpośredniej nessleryzacji, porównanie ze skalą wzorców)

stężenie zawiesin (metoda wagowa pośrednia/różnicowa)

BZT₅ (metoda rozcieńczeń; tlen rozpuszczony metodą Winklera)

FORMULARZ WYNIKÓW ANALIZ

Sedymentacja wstępna – badania w leju Imhoffa

Przebieg sedymentacji w leju Imhoffa (1 dm³ ścieków):

Czas sedymentacji; min.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	30	45	60	90	120
Objętość osadu; cm ³																

Oznaczenie odczynu pH

Nazwa próby	Odczyn pH
Ścieki surowe	
Ścieki oczyszczone	

Oznaczenie zasadowości ogólnej

Nazwa próby	Zasadowość M		
	Przebieg miareczkowania	Wartość	
		val/m ³	g CaCO ₃ /m ³
Ścieki surowe-.....=.....		
Ścieki oczyszczone-.....=.....		

Oznaczenie utlenialności:

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Opis próby	Przebieg miareczkowania	Stężenie g O ₂ /m ³
„0”	0	-.....=.....	
Ścieki surowe				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie azotu amonowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Opis próby	Odczyt wzorca	Stężenie g N/m ³
Ścieki surowe				
Ścieki surowe				
Ścieki oczyszczone				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie stężenia zawiesin

Nazwa próby	Objętość cm ³	Masy krystalizatorów, g		
		M _o (pusty)	M _s (Wysuszony)	Różnica
Ścieki surowe	„całe”	50		
	„przesącz”	50		
Ścieki oczyszczone	„całe”	50		
	„przesącz”	50		

Wyniki:

Stężenia g/m ³	Sucha pozostałość	Substancje rozpuszczone	Zawiesiny
Ścieki surowe			
Ścieki oczyszczone			

Oznaczenie tlenu rozpuszczonego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Rodzaj oznaczenia	Przebieg miareczkowania	Stężenie g O ₂ /m ³
Woda do rozcieńczeń	0	„Na bieżąco 1”-.....=.....	
		„Na bieżąco 2”-.....=.....	
		„Na bieżąco 3”-.....=.....	
		„Po inkubacji 1”-.....=.....	
		„Po inkubacji 2”-.....=.....	
Ścieki surowe		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
Ścieki oczyszczone		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
	„Po inkubacji”-.....=.....		

WYNIKI:

	Rozcieńczenie	BZT ₅ , g O ₂ /m ³
Ścieki surowe		
Ścieki oczyszczone		

Oznaczenia podawane przez prowadzącego:

	Ścieki surowe	Ścieki oczyszczone
Azot organiczny N _{org.} ; g N/m ³		
Fosfor ogólny P _{og.} ; g P/m ³		

Inne informacje i uwagi:

Data:

Podpis prowadzącego:.....

Ćwiczenie 5.

WŁAŚCIWOŚCI FILTRACYJNE OSADÓW ŚCIEKOWYCH

WSTĘP DO ĆWICZENIA - OSADY ŚCIEKOWE

Zawiesiny występujące w ściekach można podzielić na opadające i nieopadające. Zawiesiny opadające są najczęściej wydzielane ze ścieków w osadnikach wstępnych, stąd nazywamy je osadami wstępnymi. Osady wtórne (nadmierne) powstają w wyniku dalszego oczyszczania ścieków metodami biologicznymi i/lub chemicznymi i są one wydzielane w osadnikach wtórnych. Ich ilość wynika z przyrostu mikroorganizmów oraz warunkom jakie utrzymywane są w reaktorze biologicznym. Wydzielone osady surowe (zarówno wstępne jak i nadmierne) posiadają znaczące uwodnienie (tj. zawierają duże ilości wody) w związku z czym ich masa oraz objętość jest znaczna. Ponadto osady surowe nie są materiałem stabilnym, wykazują zdolność do zagniwania, co w konsekwencji prowadzi do powstawania odorów i uciążliwości zapachowej takich osadów.

Działania gospodarki osadowej współczesnych oczyszczalni ścieków koncentrują się więc głównie na dwóch zasadniczych celach:

1. Stabilizacji osadów w celu zlikwidowania ich podatności na zagniwanie,
2. Odwodnienia osadów w celu zmniejszenia ich masy i objętości.

Sposoby prowadzenia procesu stabilizacji zależą głównie od ilości produkowanych osadów, a więc pośrednio od wielkości oczyszczalni ścieków. Małe obiekty wykorzystywać mogą w tym celu stabilizację tlenową, kompostowanie bądź stabilizację chemiczną (np. wapnem). Dla obiektów większych zaleca się stosowanie fermentacji metanowej, co pozwala na odzysk energii z osadów.

Procesy usuwania wody z osadów są integralną częścią działań w systemie gospodarki osadowej każdej oczyszczalni ścieków. Poprzez usunięcie różnych rodzajów wody zawartej w osadach powodują zmniejszenie masy i objętości osadów umożliwiając tym samym zmniejszenie niezbędnej kubatury urządzeń wykorzystywanych do ich stabilizacji czy ostatecznego zagospodarowania. W wyniku odwadniania osadu zmienia się także jego struktura z płynnej do stałej, co ma znaczenie dla niektórych operacji przetwarzania osadów i ich transportu.

Wg klasyfikacji stosowanej w geologii w osadach występują następujące rodzaje wody:

Woda wolna – występuje w większych przestrzeniach międzycząsteczkowych, zależna jest od sił grawitacji i ciśnienia atmosferycznego.

Woda kapilarna – występuje w kanalikach włoskowatych i jest niezależna od sił grawitacji. Działają tu siły napięcia powierzchniowego.

Woda związana fizycznie z ciałami stałymi – jest to woda molekularna, w skład której woda błonkowa związana siłami przyciągania międzycząsteczkowego oraz woda higroskopijna.

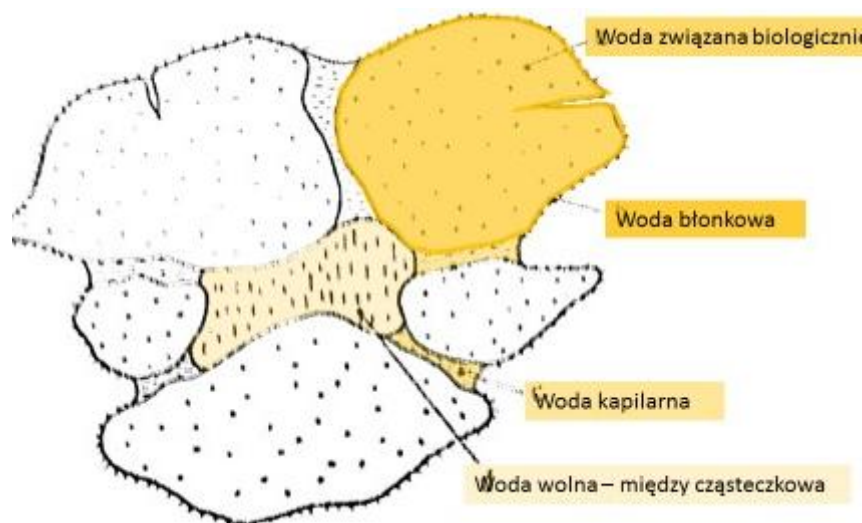
Woda związana chemicznie – wchodzi w skład siatki krystalograficznej ciał stałych. W odniesieniu do osadów ściekowych stosować można klasyfikację rodzajów wód związaną ze sposobami usuwania wody. I tak mówiąc o **wodzie wolnej** określamy część wody, jaką najłatwiej oddzielić jest od osadu metodami grawitacyjnego zagęszczania ewentualnie przez działanie

mechaniczne. Ten rodzaj wody stanowi w osadach zazwyczaj 75% ogólnej jej ilości, a jej wydzielenie umożliwia nawet 10-krotne zmniejszenie objętości wyjściowej osadów.

Woda związana w koloidach jest znacznie trudniejsza do wydzielenia, gdyż jest związana siłami napięcia powierzchniowego. Można ją usuwać poprzez działanie mechaniczne, zmiany temperatury (ściananie wymrażanie koloidów).

Wodę kapilarną, związaną siłami kohezji i adhezji, oddzielać można poprzez połączenie metod chemicznych i mechanicznych, np. koagulację a następnie wirowanie.

Wody molekularne i higroskopijne związane biologicznie lub chemicznie, są bardzo trudne do usunięcia i wymaga to znacznych nakładów energii w procesach suszenia czy spalania.



Rysunek 1. Schemat występowania wody w osadach ściekowych.

W poniższej tabeli przedstawiono orientacyjne stany skupienia osadów w zależności od ich uwodnienia i stosowanych metod odwadniania.

Uwodnienie %	Postać osadu	Metoda odwadniania
100 – 96 96 – 92 92 – 88	płynny trudno płynący	Usuwanie wody wolnej poprzez zagęszczanie grawitacyjne lub mechaniczne
88 – 80 80 – 70	papkowaty ciastowaty mokra ziemia	Usuwanie resztek wody wolnej oraz części związanej i kapilarnej poprzez działania mechaniczne
70 – 50	wilgotna ziemia	Usuwanie wody związanej i koloidalnej przez działania mechaniczne wspomagane chemicznie lub chemiczne
50 – 30	sucha ziemia	Usuwanie wody higroskopijnej przez suszenie termiczne
30 – 0	Pył	Usuwanie wody pozostałej w procesie spalania

Uwodnienie osadu determinuje jego masę i objętość. Jak sugerowano wcześniej ma to istotne znaczenie dla projektowania wymaganych kubatur urządzeń gospodarki osadami.

Uwodnienie osadu wyznaczyć można wg wzoru:

$$W = \frac{m_0 - m_s}{m_o} \cdot 100\%$$

gdzie:

W – uwodnienie osadu, %

m_0 – masa osadu uwodnionego (mokrego), kg

m_s – sucha masa osadu, kg

Tak więc, np. gdy podczas suszenia osadu strata masy próbki wyniesie 90% uwodnienie osadu wynosi 90% a zawartość substancji stałych 10%.

Zależności pomiędzy zmianami uwodnienia a zmianami objętości osadu można zapisać wzorem.

$$\frac{V_0(100 - W_0)}{100} = \frac{V_1(100 - W_1)}{100}$$

gdzie:

V_0 – objętość początkowa osadu ściekowego, m^3

V_1 – objętość osadu ściekowego po odwodnieniu, m^3

W_0 – uwodnienie początkowe osadu ściekowego, %

W_1 – uwodnienie końcowe osadu ściekowego (po odwodnieniu), %

Zależność ta jest uproszczona i może być stosowana jedynie dla uwodnienia $> 70\%$. Poniżej

$W=70\%$ istotne znaczenie odgrywa gęstość osadu i wzór przyjmuje postać:

$$\frac{V_1[100 + W_0(\rho_{zm} - 1)]}{100 - W_0} = \frac{V_0[100 + (\rho_{zm} - 1)]}{100 - W_1}$$

OPIS ĆWICZENIA

Uwaga! W ramach niniejszego ćwiczenia obowiązuje również wiedza teoretyczna zawarta we wstępie „OSADY ŚCIEKOWE”.

Właściwości filtracyjne osadów ściekowych, czyli zdolność osadu do odwadniania ocenia się ilością przesącza otrzymanego w procesie odwadniania określonej objętości osadu w przeliczeniu na jednostkę powierzchni i czasu. Do odwadniania osadu w tego typu badaniach można wykorzystywać warstwę piasku, sączek bibułowy, lejek Buchnera z przegrodą filtracyjną lub zestaw z płytą filtracyjną (w zależności od projektowanego sposobu odwadniania osadów).

W przypadku odwadniania na prasach filtracyjnych i filtrach próżniowych ruch cieczy w osrodku porowatym opisują równania Poiseuille'a i Darcy'ego. Do filtracji osadów równania te zostały przystosowane przez Rutha, Carmana i Leva. Podczas filtracji pod stałym ciśnieniem podstawowe równanie filtracji ma postać:

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \cdot r \cdot \rho}{2p \cdot A^2} \cdot V + \frac{\mu \cdot r_m}{p \cdot A}$$

gdzie:

t – czas filtracji, s

V – objętość filtratu, cm³

μ - lepkość filtratu (przyjmuje się jak dla wody 0,001 Pa·s, w temperaturze 20°C)

p – ciśnienie filtracji, Pa

A – powierzchnia filtracji, cm²

ρ – stężenie substancji stałych, g/cm³

$$\rho = \frac{1}{\frac{W_0}{100 - W_0} - \frac{W_1}{100 - W_1}}$$

r – opór właściwy osadu, s²/g

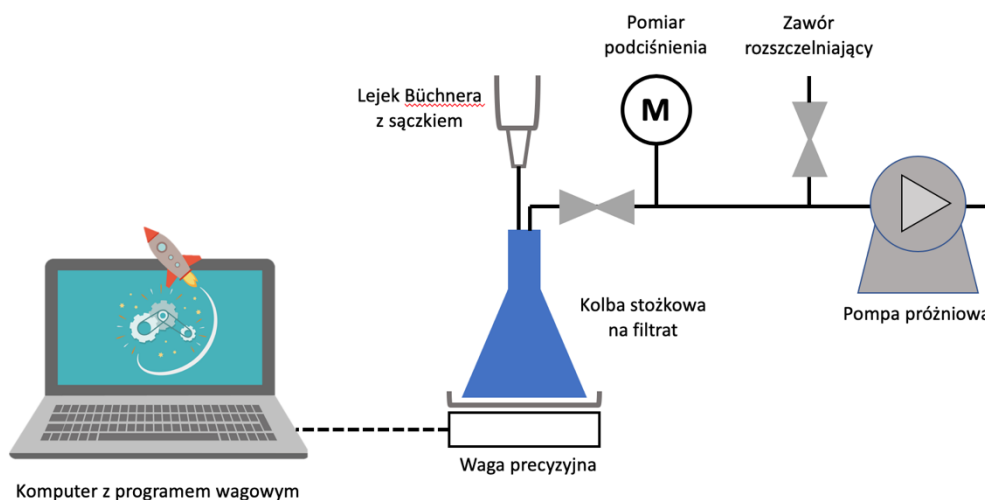
r_m – opór właściwy przegrody filtracyjnej, 1/cm

W₀ – uwodnienie początkowe (przed filtracją), %

W₁ – uwodnienie końcowe (po filtracji), %

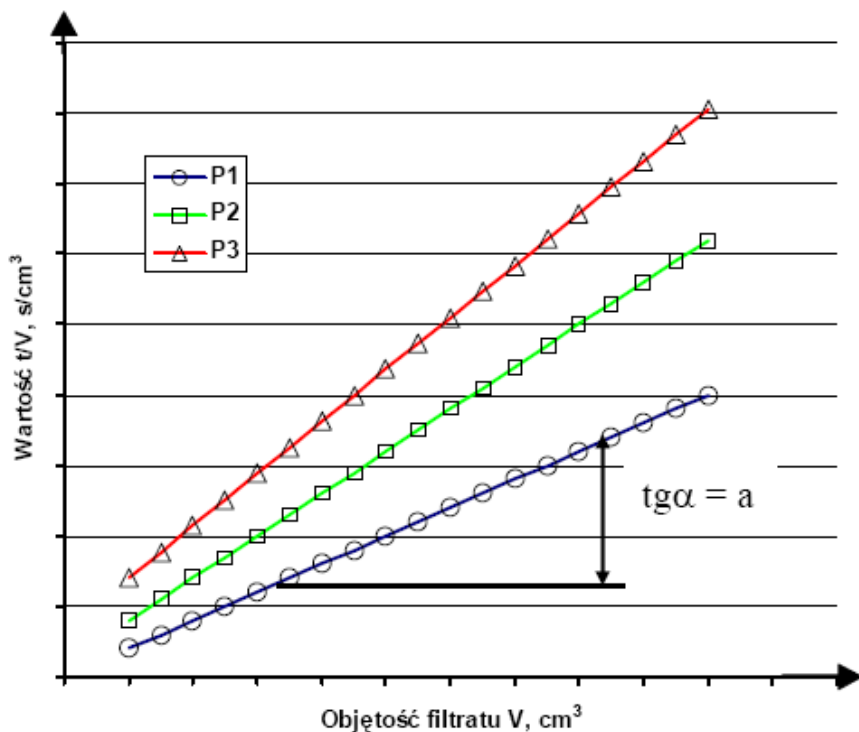
Najważniejszym miernikiem właściwości filtracyjnych osadów jest opór właściwy, który jest jednocześnie jednostką porównawczą właściwości filtracyjnych różnych osadów.

Opór właściwy osadu (r) i przegrody filtracyjnej (r_m) wyznacza się na podstawie powyższych równań metodą analityczno-graficzną. W tym celu zastosować można aparaturę badawczą przedstawioną na rysunku nr 1.



Rysunek 2. Schemat stanowiska badawczego do wyznaczania oporu właściwego osadów.

Uzyskane wyniki pomiarów przyrostu objętości filtratu (V) w funkcji czasu filtracji (t) przy stałym ciśnieniu (p) nanosi się na wykres (rysunek 2.), na którym oś rzędnych $Y=t/V$, a oś odciętych $X=V$. Dane dotyczące zmienności objętości filtratu gromadzone są przez oprogramowanie wagi. Niezbędne jest ich późniejsze sformatowanie zgodnie z przedstawioną poniżej przykładem.



Rysunek 3. Wykres zależności t/V od objętości filtratu przy różnych ciśnieniach filtracji.

Równanie to, w omawianym układzie współrzędnych jest linią prostą:

$$y = ax + b$$

Współczynnik kierunkowy prostej ($\operatorname{tg} \alpha$), jest zatem równy:

$$a = \frac{\mu \cdot r \cdot \rho}{2p \cdot A^2}$$

a wyraz wolny (b) jest równy:

$$b = \frac{\mu \cdot r_m}{p \cdot A}$$

Na podstawie powyższych równań można obliczyć opór właściwy osadu (r) i opór przegrody filtracyjnej (r_m).

$$r = \frac{2a \cdot p \cdot A^2}{\mu \cdot \rho_1}$$
$$r_m = \frac{p \cdot A}{\mu \cdot b}$$

W celu wyrażenia oporu właściwego w jednostkach s^2/g , uzyskana powyżej wartość podzielić należy przez wartość przyspieszenia ziemskiego $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$.

Wyprowadzenie jednostek:

$$r : \frac{\frac{s}{cm^3} \cdot Pa \cdot cm^4}{Pa \cdot s \cdot \frac{g}{cm^3}} = \frac{m}{g} / 9,81 m/s^2 = \frac{s^2}{g}$$

Wartości oporu właściwego osadów wyznaczone doświadczalnie na lejku Büchnera mogą służyć do obliczeń związanych z projektowaniem i doбором pras filtracyjnych. Nie mogą być natomiast wykorzystywane do wymiarowania filtrów próżniowych ze względu na znaczne różnice pomiędzy procesem rzeczywistym a procesem w warunkach laboratoryjnych.

Wartość oporu właściwego osadu zależy od ciśnienia filtracji zgodnie z empirycznym równaniem:

$$r = r_0 \left(\frac{p}{p_0} \right)^s$$

gdzie:

r_0 , r – opór właściwy osadu przy ciśnieniu filtracji, odpowiednio p_0 i p ,
 s – współczynnik ściśliwości osadu.

Wartość współczynnika ściśliwości osadu można wyznaczyć na podstawie powyższego równania wykorzystując metodę analityczno-graficzną. Przekształcając odpowiednio równanie otrzymuje się:

$$\log r = s \log \left(\frac{p}{p_0} \right) + \log r_0$$

Równanie to, w odpowiednim układzie współrzędnych, jest linią prostą o współczynniku kierunkowym $a = \operatorname{tg} \alpha = s$. Dla osadu nieściśliwego ($s=0$) i wówczas opór właściwy jest stały, niezależny od ciśnienia. Większość osadów ściekowych jest osadami ściśliwymi i opór właściwy wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia filtracji. Wartość oporu właściwego jest charakterystyczna dla danego osadu i jednocześnie określa jego podatność na odwadnianie mechaniczne. Im wartość oporu właściwego jest większa, tym mniej efektywne jest odwadnianie mechaniczne. Wprowadzono następujące kryteria podatności osadów na odwadnianie:

- Łatwe odwadnianie mechaniczne:

$$r < 40 \cdot 10^7 \text{ s}^2/\text{g}, s \approx 0,55$$

- Przeciętne odwadnianie mechaniczne:

$$40 \cdot 10^7 \text{ s}^2/\text{g} < r < 100 \cdot 10^7 \text{ s}^2/\text{g}, s \approx 0,65$$

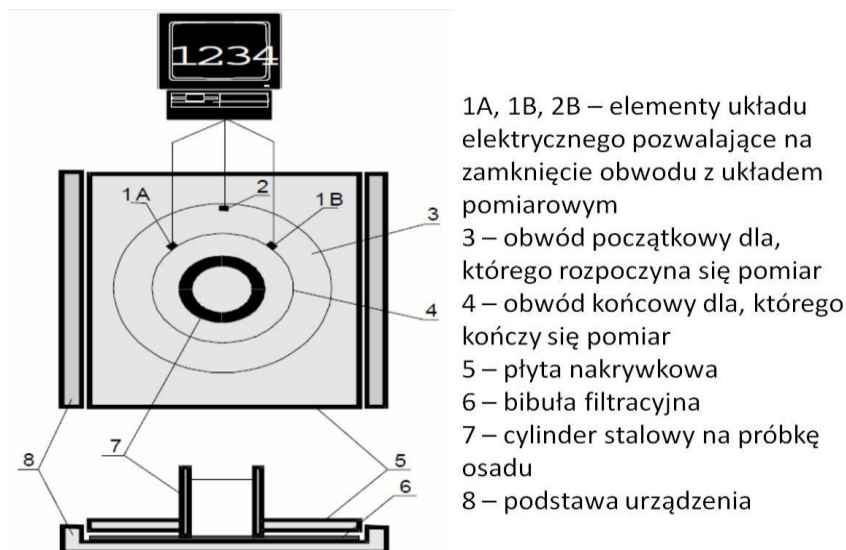
- Trudne odwadnianie mechaniczne:

$$r > 100 \cdot 10^7 \text{ s}^2/\text{g}, s > 0,75$$

W osadach trudno odwadnianych zmniejszenie oporu właściwego można uzyskać w procesie tzw. kondycjonowania osadu przez:

- wprowadzenie koagulantów mineralnych lub organicznych (polielektrolitu),
- ogrzewanie lub wymrażanie osadu,
- przemywanie ściekami oczyszczonymi,
- zmianę uziarnienia osadów przez dodatek innych frakcji (np. popiołów, trocin itp.)

W ramach ćwiczenia realizowane będzie również wyznaczenie czasu ssania kapilarnego (CSK) osadu. Schemat urządzenia przedstawiono na rysunku poniżej.



Hermanowicz W. 1999. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Wydawnictwo Arkady

Zasada pomiaru czasu ssania kapilarnego (CSK)*

Czas ssania kapilarnego (CSK) określa szybkość oddawania cieczy odpadowej przez badany osad. Im CSK jest mniejszy, tym badany osad łatwiej wydziela wchodzącą w jego skład ciecz.

Oznaczenie CSK służy przede wszystkim do określania wpływu stosowania środków kondycjonujących na osady oraz wpływu sposobów mieszania na zdolność oddawania wody. Tę zdolność określa się czasem (w sekundach), jaki jest potrzebny do zwilżenia przez ciecz odpadową warstwy bibuły filtracyjnej o określonej powierzchni przez określoną objętość próbki osadu, z której ciecz jest odciągana przez siłę ssania kapilarnego bibuły.

Przed przystąpieniem do pomiaru w prostokątnym wgłębieniu dolnej płytki (6), stanowiącej podstawę aparatu, umieszcza się arkusik bibuły (Whatman 17) o rozmiarach 7 x 9 cm i nakrywa górną płytką (5), w której otworze umieszcza się metalowy cylinderek (7). Górna płytka opiera się na bibule na pięciu metalowych podpórkach ze stali nierdzewnej. Dwie z nich (1A i 1B) umieszczone są na okręgu o średnicy 3,2 cm, jedna (2) – na okręgu o średnicy 4,5 cm. Te trzy podpórki połączone są przewodami ze skrzynką zaciskową i stanowią próbny stykowy. Następnie cylinderek napelnia się próbką osadu. Ciecz z osadu rozprzestrzenia się na bibule promieniście. W chwili dojścia do koła o mniejszej średnicy na skutek wzrostu przewodnictwa elektrycznego, następuje uruchomienie cyfrowego zegara rejestrującego. Gdy czoło rozprzestrzeniającej się wody dojdzie do styku na kole o większej średnicy, następuje wyłączenie zegara. Wartość CSK w sekundach odczytuje się ze wskaźnika zegara rejestrującego.

*Agnieszka Piotrowska-Cyplik, Zbigniew Czarnecki „Pomiar czasu ssania kapilarnego (CSK) jako metoda wyznaczania optymalnej dawki flokulantów do wspomaganego procesu odwadniania komunalnego osadu ściekowego” Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering 2005.

PRZEBIEG ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest (Etap I) określenie podatności osadu na odwadnianie poprzez wyznaczenie oporu właściwego filtracji i współczynnika ściśliwości. Dodatkowo (Etap II) wyznaczona zostanie dawka polielektrolitu pozwalająca w sposób skuteczny odvodnić osad. Dawka polielektrolitu zostanie wyznaczona na podstawie trzech niezależnych testów:

- czasu filtracji
- czasu ssania kapilarnego (CSK)
- opadalność osadu

ETAP I

Działania przygotowawcze

- Przygotować około 200-300 cm³ dobrze wymieszanego osadu.
- Przygotować sączi pasujące wymiarem do lejka Buchnera.
- Uruchomić komputer oraz program wagowy.

W celu wykonania powyższych analiz należy wyznaczyć uwodnienie początkowe odwadnianego osadu surowego. Uwodnienie wyznaczyć należy metodą wagową pośrednią z próbki 50 cm³ dobrze wymieszanego osadu surowego. Kalkulacje uwodnienia przeprowadzić wg wzoru:

$$W = \frac{m_0 - m_s}{m_0} \cdot 100$$

gdzie:

W – uwodnienie osadu, %

m₀ – masa osadu mokrego, g

m_s – masa osadu suchego, g

Następnie przeprowadzić należy filtrację takich samych objętości osadu (50 cm³) na wykorzystywanym stanowisku badawczym. W tym celu należy kolejno:

- opróżnić kolbę stożkową z resztek filtratu z mycia układu lub z poprzedniego etapu filtracji,
- szczelnie połączyć elementy stanowiska zamykając jednocześnie zawór odcinający pompę próżniową,
- precyzyjnie ułożyć sączi na lejku filtracyjnym i delikatnie zwilżyć tryskawką z wodą destylowaną,
- włączyć pompę próżniową i ustalić wymagane ciśnienia filtracji na wyświetlaczu cyfrowego manometru różnicowego,

Uwaga! – brak możliwości ustalenia stałego ciśnienia na manometrze świadczyć może o nieszczelnym połączeniu elementów układu.

- wytarować wagę oraz uruchomić rejestrację w programie wagowym,
- ostrożnie wlać odmierzoną objętość próby osadu do lejka filtracyjnego,

Uwaga! – wlewając osad najlepiej kierować strumień na środek bibułowego sącza, co zapobiega przemieszczeniom sącza, tym samym nieszczelności przegrody filtracyjnej.

- filtrację należy rozpocząć otwierając zawór odcinający pompę próżniową. Od tego momentu obserwować przyrost filtratu (zapis odbywa się automatycznie),
- filtrację zakończyć należy, gdy zaobserwowany zostanie nagły skok wskazań manometru różnicowego, świadczący o pęknięciu placka filtracyjnego lub, gdy przyrost objętości filtratu w czasie przestanie być zauważalny, lub po upływie 15 minut,
- po wyłączeniu układu należy oznaczyć uwodnienie uzyskanego placka filtracyjnego (metoda wagowa pośrednia) i przygotować układ do kolejnego etapu filtracji.

Filtrację przeprowadzić należy dla osadu surowego przy trzech różnych ciśnieniach filtracji, około 5, 15, 25, 40, 50 kPa. Skrajne wartości realizować jedynie po wyraźnym poleceniu prowadzącego.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów przedstawić na jednym wykresie zależność objętości uzyskiwanego filtratu od czasu filtracji dla rozpatrywanych ciśnień filtracji dla osadu niekondycjonowanego.

ETAP II

W celu wyznaczenia dawki polielektrolitu zostaną przeprowadzone następujące testy:

- opadalności osadu,
- czasu filtracji,
- czasu ssania kapilarnego (CSK).

Działania przygotowawcze

- Przygotować około 600–800 cm³ dobrze wymieszanego osadu takiego jak w Etapie I.
- Przebrać po 100 cm³ osadu do 6 zakręcanych pojemników.
- Pojemnik oznaczony jako „0” jest osadem bez dodatku polielektrolitu, do pozostałych dodać kolejne dawki polielektrolitu podane w trakcie zajęć.
- Wszystkie pojemniki zakręcić oraz dokładnie wymieszać.
- Przygotować sącza pasujące wymiarem do lejka Buchnera.
- Zanotować typ oraz bazowe stężenie polielektrolitu.

Opadalność osadu

- Do 6 cylindrów wlać po 100 cm³ dobrze wymieszanego osadu.
- Odczytać poziom osadu po 5, 10, 15 i 20 minutach.
- Osad wymieszać i ponownie przelać do zakręczanych pojemników.

Czas filtracji

Dla przygotowanych próbek osadu z polielektrolitem (oraz kontrolnie bez) wyznaczyć czas filtracji na stanowisku jak w Etapie I.

- Ustawić właściwe ciśnienie – podane przez prowadzącego
- Wylać 50cm³ dobrze wymieszanego osadu oraz uruchomić urządzenie zgodnie z instrukcją dla Etapu I
- Powyższe działania wykonać dla wszystkich przygotowanych prób.

Czas ssania kapilarnego (CSK)

- Na podstawie urządzenia położyć sącdek.
- Przykryć pokrywą z elektrodami upewniając się, że wszystkie trzy elektrody dotykają sączka.
- Umieścić w otworze roboczym tuleję do testów osadowych (wariant wysoki).
- Uruchomić urządzenie.
- Do tulei nalać dobrze wymieszanego osadu, w pełni ją wypełniając.
- Zanotować czas zarejestrowany przez urządzenie.
- Powyższe działania wykonać dla wszystkich przygotowanych próbek w dwóch powtórzeniach.

Dodatkowo sporządzić należy wykres zależności uwodnienia końcowego osadu od zastosowanego ciśnienia filtracji (na wspólnym wykresie dla osadu kondycjonowanego i niekondycjonowanego).

Oceń pisemnie wpływ ciśnienia filtracji i dodatku polielektrolitu na czas i skuteczność odwadniania osadu. Wyznaczyć dawkę polielektrolitu w przeliczeniu na objętość osadu oraz na kg suchej masy.

Dla każdego badanego ciśnienia filtracji należy wyznaczyć wartości oporu właściwego osadu surowego i kondycjonowanego, a następnie metodą graficzną lub analityczną wyznaczyć wartość współczynnika ściśliwości s . Na podstawie tych obliczeń ocenić rodzaj badanego osadu (ściśliwy/nieściśliwy) oraz ocenić jego podatność na odwadnianie.

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

uwodnienie osadu

Formularz wyników analiz i obliczeń do ćwiczenia „Właściwości filtracyjne osadów ściekowych”.

Oznaczenie prędkości filtracji (z 50 cm³):

Oznaczenie stężenia zawiesin (z 50 cm³) oraz zestawienie wyników wymaganych obliczeń r i s.

Lp.	Opis próby		Opis krystalizatora	Masy krystalizatorów g			Uwodnienie osadu %	Stężenie substancji stałych g/cm ³	Współczynnik kierunkowy a s/cm ⁶	Opór właściwy osadu r 10 ⁹ m/g	Współczynnik ściśliwości s -	
	Ciśnienie filtracji Pa	Kondycjonowanie		Czysty m _c	Osad mokry m ₀	Osad suchy m _s						
0	Osad surowy										-----	
1		-									X	
2		-										
3		-										
Osad kondycjonowany												
4		+										
5		+										
6		+										
7		+										
8		+										

Opadalność osadu

Lp.	Opis próby		Opadalność osadu [cm ³]					
	Próba	Kondycjonowanie	5 minut	10 minut	15 minut	20 minut	25 minut	30 minut
1	Osad surowy	-						
2	Dawka 1	+						
3	Dawka 2	+						
4	Dawka 3	+						
5	Dawka 4	+						
6	Dawka 5	+						

Czas ssania kapilarnego

Lp.	Opis próby		Czas ssania kapilarnego (CSK) [s]	
	Próba	Kondycjo- nowanie	Powtórzenie 1	Powtórzenie 2
1	Osad surowy	-		
2	Dawka 1	+		
3	Dawka 2	+		
4	Dawka 3	+		
5	Dawka 4	+		
6	Dawka 5	+		

Inne dane:

Średnica sączka: mm

Powierzchnia filtracji:cm²

Ćwiczenie 6.

GRAWITACYJNE ZAGĘSZCZANIE OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Cel ćwiczenia:

Zapoznanie się z procesem zagęszczania grawitacyjnego i określenie parametrów zagęszczacza grawitacyjnego o działaniu ciągłym.

Zagęszczanie grawitacyjne jest tanią, wstępną metodą zmniejszania objętości osadu przed kolejnymi etapami przeróbki osadu: fermentacją i odwadnianiem mechanicznym; pozwala obniżyć ich koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Jako proces jednostkowy spotyka się je w lejach osadników wstępnych i wtórnych, komorach fermentacyjnych oraz w zagęszczaczach. Umownie zagęszczanie określa się jako proces, w którym na skutek oddzielenia fazy stałej od ciekłej (usunięcia wody wolnej), osad zmniejsza swoją objętość nie tracąc konsystencji płynnej.

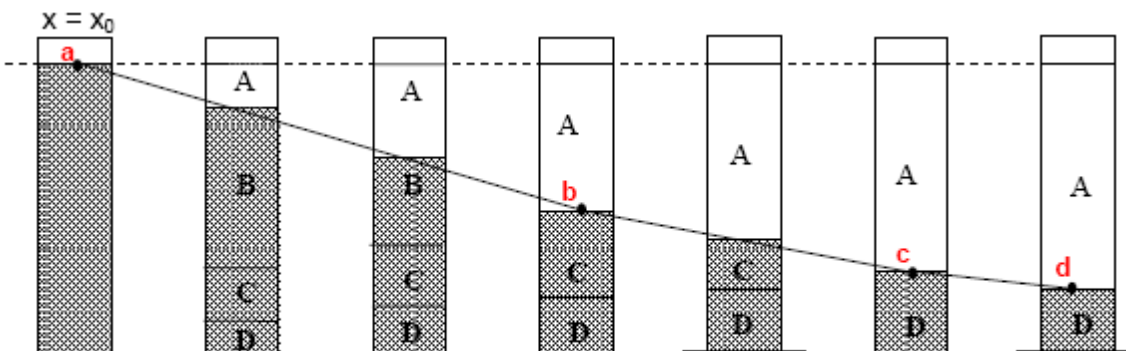
Graniczna wartość uwodnienia, przy której osad zmienia konsystencję płynną na plastyczną, zależy od:

- proporcji między wodą wolną a związaną,
- zawartości związków organicznych i mineralnych,
- wielkości i budowy cząstek,
- stężenia elektrolitów,
- odczynu pH.

Zagęszczanie grawitacyjne stosuje się do zagęszczania osadów wstępnych. Osady biologiczne zagęszcza się w zagęszczaczach mechanicznych, w których czas procesu jest znacząco krótszy. Po zagęszczeniu uwodnienie osadu wynosi ok. 92-94%. Zagęszczanie, w zależności od sposobu prowadzenia procesu, można podzielić na:

- grawitacyjne,
- flotacyjne,
- mechaniczne

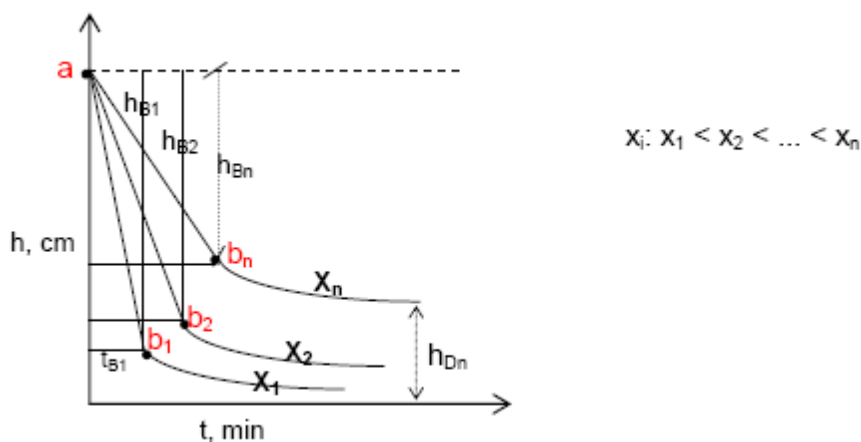
Zagęszczacze grawitacyjne mogą pracować w sposób okresowy lub ciągły. Zagęszczanie osadu następuje w wyniku sedymentacji cząstek osadu (ciężar właściwy osadu wynosi 1,1-1,3 g/cm³) oraz ich kompresji pod wpływem działania siły ciężkości. Zachodzi tu zjawisko sedymentacji strefowej (opis w instrukcji do ćwiczenia „Sedymentacja wstępna...”). Większość osadów ściekowych osiada puszystą warstwą, której górna powierzchnia stanowi powierzchnię rozdziału ciec-z-osad (Rysunek 1). W pierwszej fazie procesu powierzchnia rozdziału przemieszcza się w dół ze stałą szybkością v (odcinek A-B) przy odpowiadającej jej stałej koncentracji x_0 (strefa stałego stężenia osadu - B). Z czasem strefa stałego stężenia osadu zanika (punkt b), warstwa osadu zagęszczonego rośnie, a prędkość opadania powierzchni rozdziału maleje (odcinek b-c). W końcowej fazie procesu obserwujemy kompresję osadu zagęszczonego (odcinek c-d). Odcinek b-d krzywej przedstawia sedymentację ze zmniejszającą się szybkością - faza ta nazywana jest właściwym zagęszczaniem osadu.



A – strefa sklarowana, B – strefa stałego stężenia osadu, C – strefa zagęszczona, D - strefa osadu zagęszczonego,

Rysunek 1. Przebieg sedymentacji strefowej w procesie zagęszczania okresowego.

Zmianę położenia granicy ciec-osad w czasie dla różnych stężeń badanego osadu ($x_1 \dots x_n$) przedstawia Rysunek 2.



Rysunek 2. Zmiana położenia granicy ciec-osad w czasie dla różnych stężeń badanego osadu.

Prędkość opadania zawiesin w strefie B dla różnych stężeń osadu wynosi:

$$v_i = h/t_i, [m/h]$$

a strumień osadu sedymentującego:

$$G_s^i = v_i \cdot x_i [kgsm/hm^2]$$

gdzie:

v_i – szybkość sedymentacji zawiesin w warstwie B dla osadu o stężeniu x_i ,

h_i – zmiana położenia wysokości granicy rozdziału stref A i B (prostoliniowy odcinek krzywej: a-b),

t_i – czas zmiany położenia wysokości granicy rozdziału stref A i B.

Omówiony przebieg sedymentacji charakterystyczny jest dla zagęszczania okresowego, w którym w miarę upływu czasu cząstki opadają, a ciecz osadowa przemieszcza się w górę, przy czym całkowita ilość cieczy pozostaje ta sama.



Rysunek 3. Schemat zagęszczacza okresowego i przepływowego.

W przeciwieństwie do zagęszczania okresowego w zagęszczaniu ciągłym występuje stały dopływ osadu oraz równoczesny odpływ cieczy osadowej przez przelew górny i osadu zagęszczonego z dna zbiornika. Konstrukcja zagęszczaczy grawitacyjnych jest podobna do konstrukcji osadników pionowych lub poziomych radialnych.



Rysunek 4. Zagęszczacz grawitacyjny pracujący w sposób ciągły (Wrocławska Oczyszczalnia Ścieków)

Na przebieg procesu zagęszczania ciągłego mają wpływ:

- obciążenie hydrauliczne powierzchni zagęszczacza O_h ,
- pionowa prędkość przepływu cieczy osadowej,
- stężenie substancji stałych w strumieniu doprowadzanym do urządzenia,
- prędkość mieszania,
- ściśliwość osadu,
- natężenie odpływu osadu zagęszczonego.

Dwa pierwsze czynniki dotyczą wyłącznie procesu przepływowego. Przy zagęszczaniu osadów obowiązuje bilans masy i objętości osadów, który można zapisać następująco:

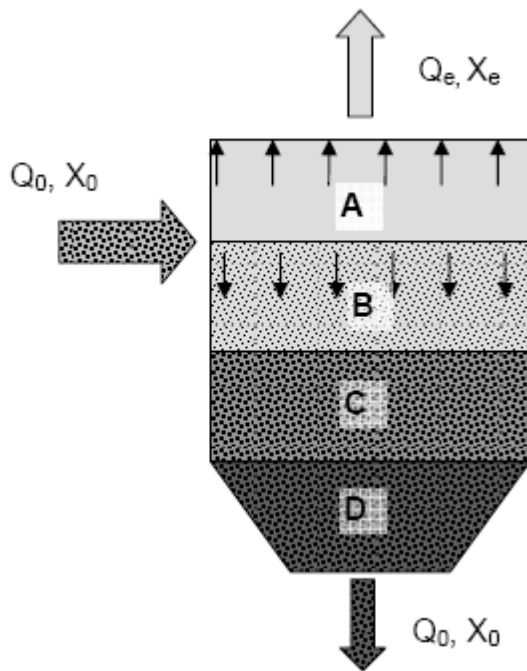
$$Q_0 \cdot X_0 = Q_u \cdot X_u + Q_e \cdot X_e$$

gdzie: Q_0 , X_0 - natężenie przepływu i stężenie substancji stałych strumienia doprowadzanego

do zagęszczacza,

Q_u, X_u - natężenie przepływu i stężenie substancji stałych strumienia osadu zagęszczonego odprowadzanego z zagęszczacza,

Q_e, X_e - natężenie przepływu i stężenie substancji stałych strumienia cieczy osadowej odprowadzanej z zagęszczacza.



Przy wyznaczeniu powierzchni zagęszczacza przyjmuje się, że w strumieniu cieczy osadowej $X_e = 0$.

Rysunek 5. Bilans ładunków w procesie zagęszczania grawitacyjnego w procesie ciągłym.

W procesie zagęszczania ciągłego oprócz strumienia sedymentacyjnego osadu, obserwuje się strumień konwekcyjny – dodatkowy strumień osadu porywanego ze strefy zagęszczonej (C) na skutek odprowadzania osadu zagęszczonego (zależność liniowa). W związku z tym z leja zagęszczacza odprowadzany jest strumień sumaryczny: sedymentacyjny i konwekcyjny) – Rysunek 5.

Projektowanie zagęszczaczy powinno być oparte na wynikach badań technologicznych okresowego lub ciągłego zagęszczania osadu. W praktyce w skali laboratoryjnej proces ciągłego zagęszczania jest rzadko stosowany, głównie ze względu na trudności utrzymania ciągłego ustalonego procesu. Najbardziej powszechną metodą badań jest przeprowadzenie serii doświadczeń zagęszczania dla możliwie szerokiego zakresu początkowej koncentracji suchej masy danego osadu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Badania grawitacyjnego zagęszczania osadu prowadzone są dla 6 różnych stężeń tego samego osadu.

1. Skalowane cylindry o objętości 1 dm^3 należy napełnić osadami o stężeniach X_1, X_2, \dots ,

X_6 wlewając do kolejnych cylindrów 1000, 800, 600, 400, 300, 200 cm^3 osadu oraz uzupełniając wodą (do litra). Po dokładnym wymieszaniu zawartości w ustalonych interwałach czasowych należy odczytywać wysokość położenia granicy podziału stref: ciecz sklarowana – osad. Odczyt prowadzić w czasie 1,5h w odstępach czasowych podanych przez prowadzącego. Dla każdego cylindra wyniki badań zestawić tabelarycznie.

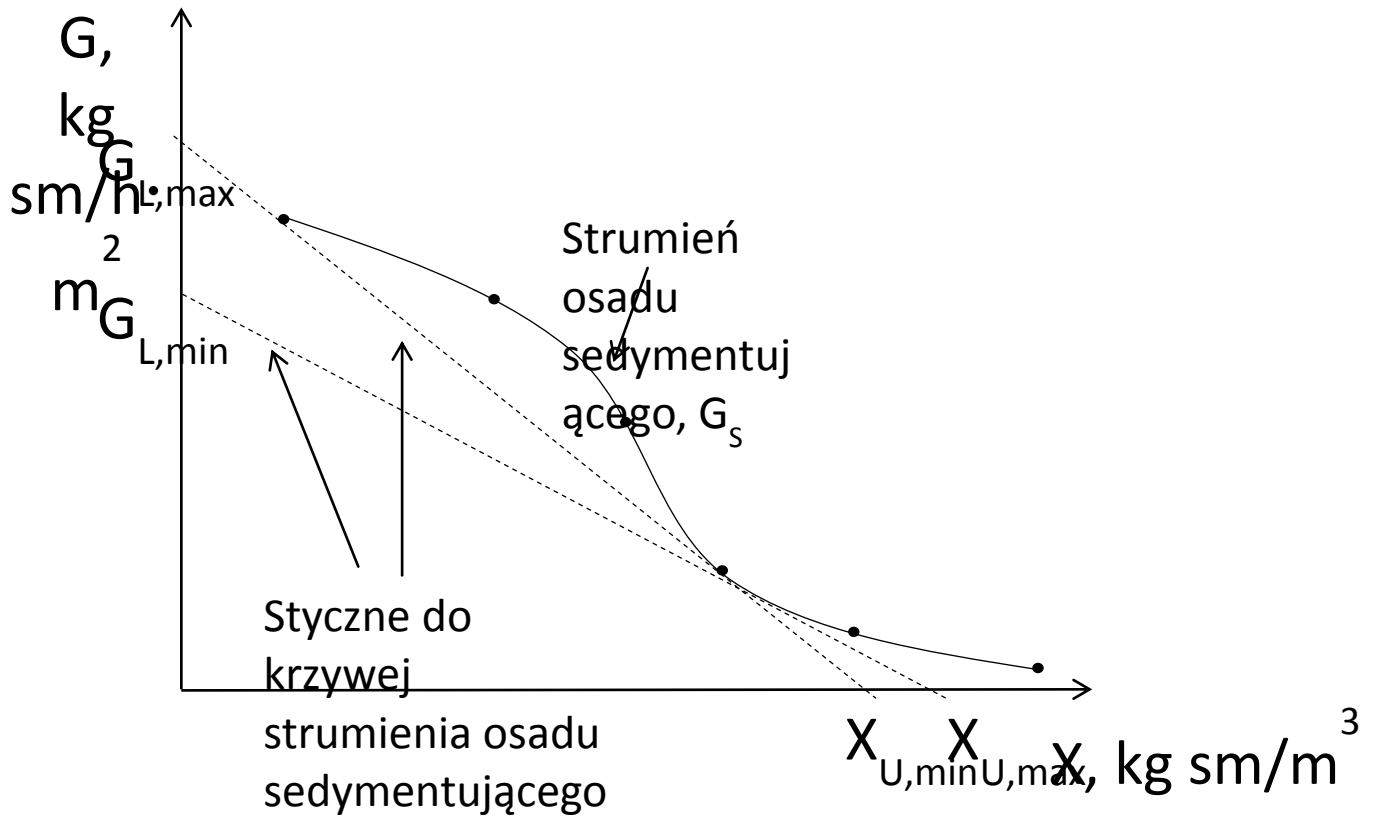
2. Dla każdego z cylindrów sporządzić wykres zależności wysokości warstwy osadu od czasu sedimentacji - $h = f(t)$ (jak Rysunek 6). Na podstawie sporządzonego wykresu należy wyznaczyć odcinek prostoliniowy (do punktu b) i obliczyć prędkość opadania zawiesin w strefie B:

$$V_i = \frac{h_{B_i}}{t_{B_i}}$$

3. Dla obliczonych prędkości opadania obliczyć strumień osadu sedimentującego:

$$G_s^i = V_i \cdot X_i$$

4. Sporządzić wykres $G_s = f(X_i)$ i na jego podstawie wyznaczyć strumień limitujący G_L (wg Rysunku 6). Strumień limitujący określa się przez wykreślenie stycznej do krzywej strumienia osadu sedimentującego z punktu na osi odciętych, odpowiadającego żądanej koncentracji osadu zagęszczonego X_U . Punkt przecięcia się stycznej z osią rzędnych daje wartość strumienia limitującego (obciążenia granicznego). Należy przyjąć dwie różne wartości żądanej koncentracji osadu zagęszczonego ($X_{U,\min}$ i $X_{U,\max}$, wartości z zakresu $\pm 30\%$ stężenia osadu w próbie nierozcieńczonej) i dla każdej z nich wyznaczyć strumień limitujący G_L .

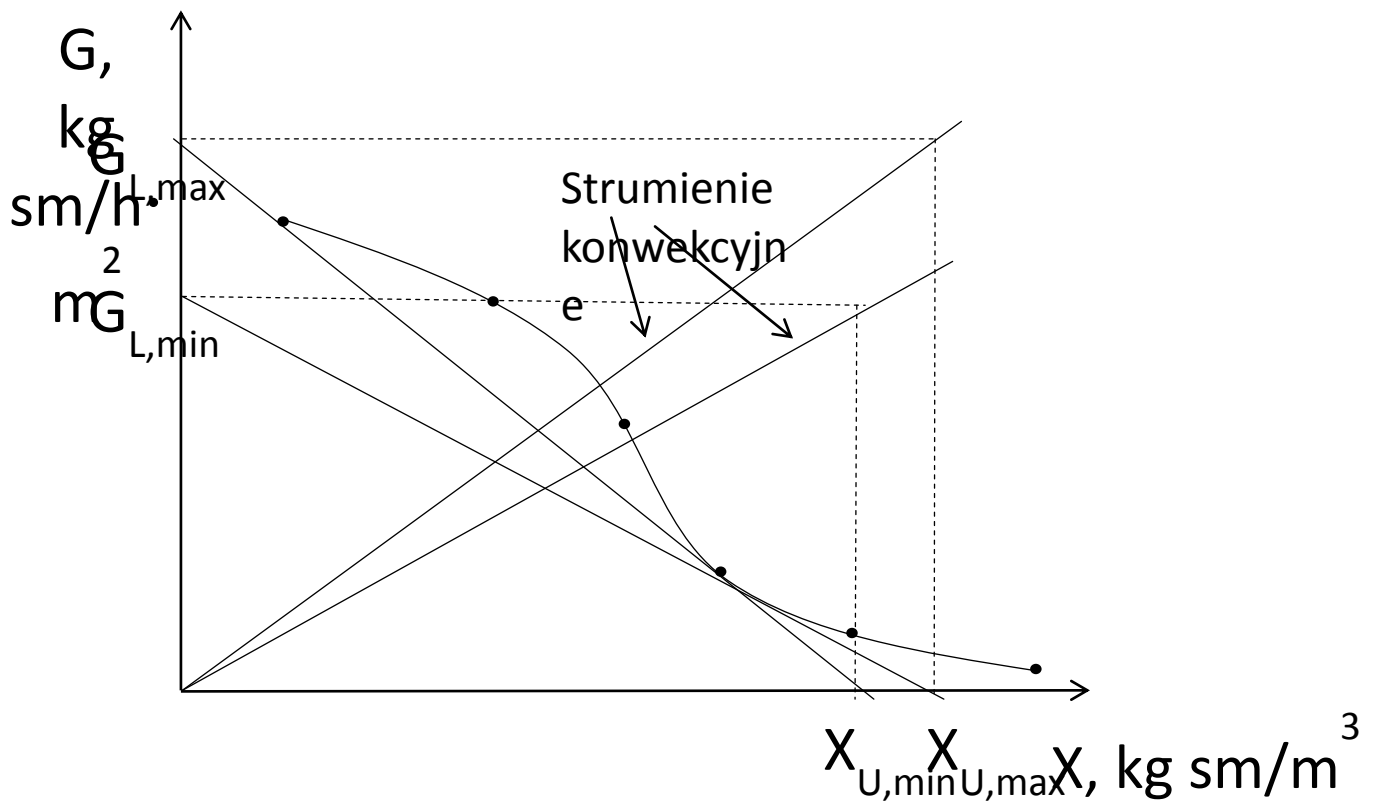


Rysunek 6. Wyznaczenie granicznego strumienia cząstek (obciążenia) dla zagęszczania ciągłego.

5. Dla przyjętego natężenia dopływu osadu Q_d (przyjąć wartość z zakresu 1000÷5000 m³/d) o stężeniu X_0 (wartość z zakresu 40-60% stężenia osadu w próbie nierozcieńczanej) obliczyć pole powierzchni zagęszczacza dla obydwu wartości strumienia limitującego korzystając z zależności

$$G_L = X_0 \frac{Q_d}{A}$$

6. Dla żądanych koncentracji osadu zagęszczonego i odpowiadających im wartości strumienia limitującego określić wymagane strumienie konwekcyjne (G_K), wykreślając proste przechodzącą przez punkt (0,0) oraz przez punkty o współrzędnych $(X_{U,max}; G_{L,min})$ i $(X_{U,min}; G_{L,max})$ (wg Rysunku 7)



Rysunek 7. Wyznaczenie strumieni konwekcyjnych.

6. Wiedząc, że $G_{K,i} = X_i \frac{Q_{zag}}{A}$ (gdzie Q_{zag} – natężenie odpływu osadu zagęszczonego, m^3/d ; A – pole powierzchni zagęszczacza, m^2), wykorzystując obliczone pole powierzchni zagęszczacza obliczyć wymagane natężenie przepływu osadu zagęszczonego. Obliczenia przeprowadzić dla obydwu przypadków.

Literatura:

1. Bień J.B., Osady ściekowe. Teoria i praktyka, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2002.
2. Szwabowska E., Projektowanie procesów odwadniania osadów ściekowych, Politechnika Śląska, Gliwice 1994.
3. Cywiński B. i in., Oczyszczanie ścieków miejskich t. II, Arkady, Warszawa 1972

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

stężenie zawiesin (sucha pozostałość, subst. rozpuszczone)

FORMULARZ WYNIKÓW ANALIZ
Grawitacyjne zagęszczanie osadów ściekowych

Przebieg zagęszczania w cylindrach (1 dm³ ścieków):

Czas zagęszczania; min.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
Nr cylindra	1																													
	2																													
	3																													
	4																													
	5																													
	6																													

Oznaczenie stężenia zawiesin:

Nazwa próby		Objętość ml	Masy krystalizatorów g		
			M ₀ (pusty)	M ₁₀₆ (wysuszony)	Różnica
Substancje rozpuszczone	„Przesącz”	50			
Sucha pozostałość dla cylindra nr	1	50			
	2	50			
	3	50			
	4	50			
	5	50			
	6	50			

Inne informacje i uwagi:

Data:

Podpis prowadzącego:.....

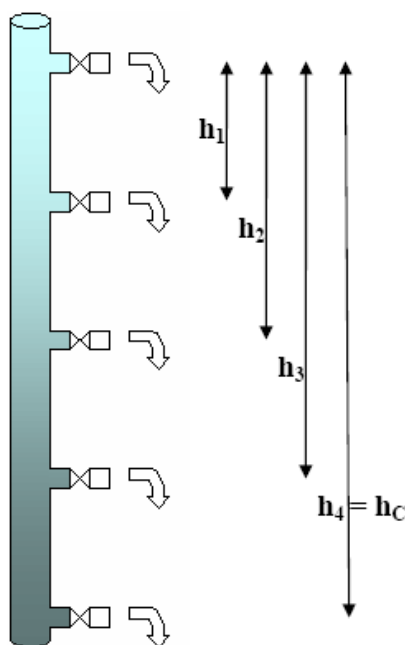
Ćwiczenie 7

KINETYKA SEDYMENTACJI ZAWIESIN KŁACZKOWATYCH

Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest analiza zmian stężenia zawiesin kłaczkowatych w czasie, na różnych głębokościach osadnika charakteryzująca kinetykę sedymentacji w osadniku wstępnym.

Metodykę badań procesu zawiesiny kłaczkowatej opisał Eckenfelder. Badania kinetyki sedymentacji zawiesiny kłaczkowatej prowadzone są w 4 kolumnach sedymentacyjnych zaopatrzonych w umieszczone na różnych wysokościach kurki do poboru prób. Schemat wykorzystywanego na ćwiczeniach układu badawczego przedstawiono na rysunku nr 1.



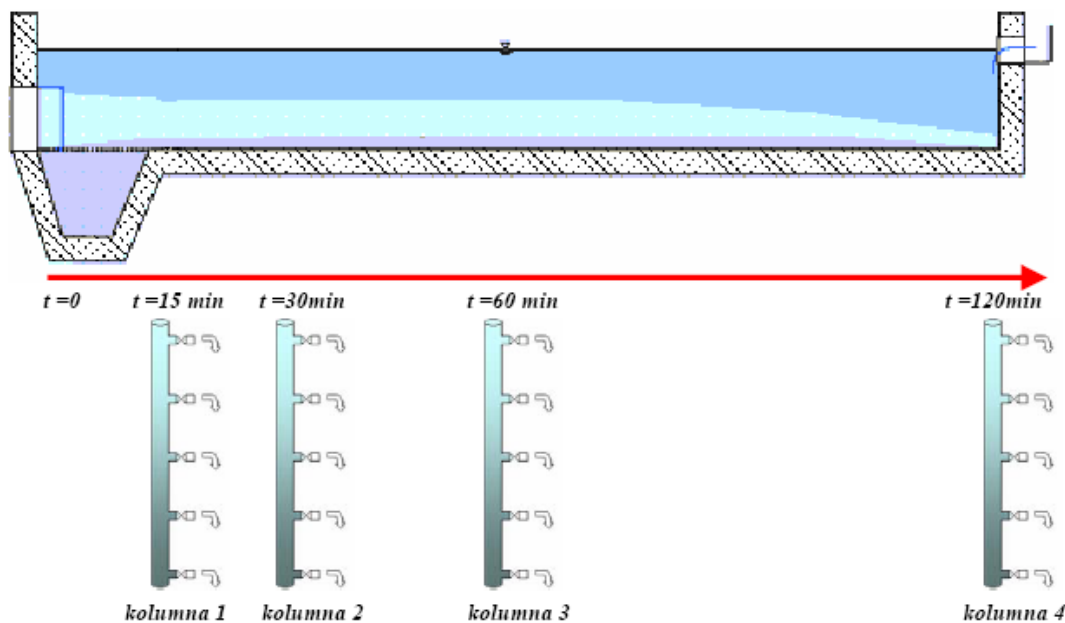
Rysunek 1. Schemat układu do badania kinetyki sedymentacji zawiesin kłaczkowatych

Sposób wykonania ćwiczenia:

Do 4 rur wlać dobrze wymieszane ścieki do wysokości górnego przelewu. Po upływie 15 minut od momentu napełnienia pobrać kolejno próby z rury nr 1 rozpoczynając od górnego poziomu. Próby należy pobierać spuszczać do zlewki całą objętość danego poziomu. Tak samo postępować kolejno z rurami nr 2, 3 i 4 po czasach odpowiednio: 30, 60 i 120 minut.

W pobranych próbach oznaczyć stężenie zawiesiny ogólnej metoda różnicową (sucha pozostałość – substancje rozpuszczone). Substancje rozpuszczone oznaczyć można dla jednej, dowolnie wybranej próby, gdyż sedymentacja nie wpływa na zmiany stężenia związków rozpuszczonych w ściekach. Dla oceny skuteczności sedymentacji, należy oczywiście oznaczyć również stężenie zawiesin w ściekach surowych (przed sedymentacją). Rury od 1 do 4 symulują

zjawiska zachodzące podczas przepływu ścieków przez osadnik poziomy, zgodnie z rysunkiem nr 2. Oddalenie porcji ścieków od wlotu do osadnika uzależnione jest tu od czasu przepływu. Zgodnie z kinetyką sedymentacji zawieszin kłaczkowatych (flokulujących) w trakcie przepływu przez osadnik cząstki podlegają aglomeracji, tworzą większe i cięższe skupiska, dzięki czemu ich prędkość opadania rośnie, co skutkuje wzrostem efektywności eliminacji zawiesziny na drodze przepływu ścieków przez osadnik. Wytrącona na dnie zawieszina zgarniana jest najczęściej mechanicznie do leja osadnika, skąd okresowo odprowadzana jest do bloku przeróbki osadów.



Rysunek 2. Zasada interpretacji wyników eksperymentu.

Uzyskane wyniki zawartości zawiesziny ogólnej dla poszczególnych rur i stref sedymentacji zestawień tabelarycznie zgodnie z załączonym formularzem wyników ćwiczenia. Na podstawie uzyskanych wyników obliczyć stopień usunięcia zawiesziny ogólnej w poszczególnych strefach sedymentacji w zależności od czasu prowadzenia procesu $\eta=f(t)$. Obliczenia wykonać należy wg wzorów:

$$\eta_c^{H_i} = \frac{c_0 - c_1}{c_0} = 1 - \frac{c}{c_0}$$

$$\eta_c^{H_w} = 1 - \frac{c_1 V_1 + c_2 V_2}{c_0 (V_1 + V_2)}$$

$$\eta_c^{H_3} = 1 - \frac{c_1 V_1 + c_2 V_2 + c_3 V_3}{c_0 (V_1 + V_2 + V_3)}$$

$$\eta_c^{H_3} = 1 - \frac{c_1 V_1 + c_2 V_2 + c_3 V_3 + c_4 V_4}{c_0 (V_1 + V_2 + V_3 + V_4)}$$

gdzie:

C_0 – stężenie początkowe zawiesiny ogólnej w ściekach, g/m^3

C_i – stężenie zawiesiny ogólnej w poszczególnych strefach sedimentacji ($i=1...4$), g/m^3

V_i – objętość poszczególnych stref sedimentacji ($i=1...4$), m^3

Na podstawie obliczonych wartości stopnia usunięcia zawiesiny ogólnej w poszczególnych strefach sedimentacji należy sporządzić wykres $\eta=f(t)$.

Zakładając określony stopień usunięcia zawiesiny ogólnej, z wykresu odczytać należy niezbędny czas sedimentacji, jakiej należy poddać ścieki w osadniku o głębokości $H_C=H_4$. Przyjmując określone natężenie dopływu ścieków obliczyć:

1. objętość osadnika V , m^3

2. powierzchnię osadnika A , m^2

3. obciążenie hydrauliczne powierzchni osadnika O_h , $m^3/m^2 \cdot h$.

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

stężenie zawiesin (sucha pozostałość, subst. rozpuszczone)

FORMULARZ WYNIKÓW ANALIZ
Kinetyka sedymentacji zawiesin kłaczkowatych

Kolumna nr:		1				2				3				4				Ścieki surowe	Przesącz
Czas sedymentacji; min		15				30				60				120					
Poziom nr:		h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄		
Opis krystalizatorów																			
Masy krystalizatorów, g	A. „czystego”																		
	B. „po wysuszeniu”																		
Różnica B-A, g																			
Sucha pozostałość, g/m ³																			
Zawiesina, g/ m ³																		-----	
Objętość strefy sedymentacji, m ³																		-----	
Skuteczność usuwania zawiesiny η, %																		-----	

Inne informacje i uwagi:

Data: **Podpis prowadzącego:**.....

Ćwiczenie 8

CHEMICZNE STRĄCANIE FOSFORU

Celem ćwiczenia jest określenie i porównanie skuteczności oczyszczania ścieków miejskich w procesie sedymentacji wstępnej wspomaganą chemicznym strącaniem w stosunku do klasycznej sedymentacji wstępnej, poznanie dynamiki sedymentacji zawiesin łatwo opadających w warunkach statycznych (badania w leju Imhoffa) oraz określenie skuteczności usuwania fosforanów ze ścieków w procesie wstępnego chemicznego strącania.

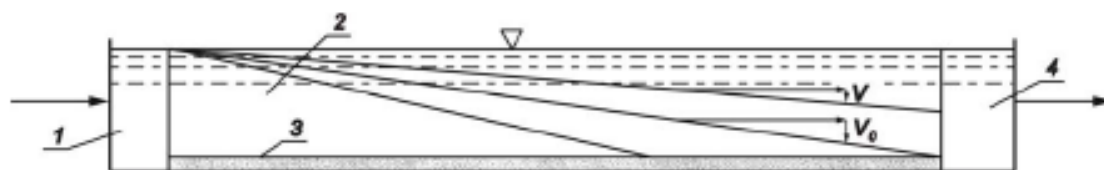
Zanieczyszczenia występujące w ściekach można podzielić na zanieczyszczenia rozpuszczone i nierozpuszczone w wodzie (ciała pływające, zawieszony i wlezione). Proces usuwania ze ścieków zanieczyszczeń nierozpuszczonych (zwanymi mechanicznymi) nosi nazwę oczyszczania mechanicznego i stanowi pierwszy stopień w procesie oczyszczaniu ścieków.

W oczyszczaniu mechanicznym wykorzystuje się następujące procesy:

- cedzenie – usuwanie ciał pływających i wleczonych o dużych rozmiarach na kratkach i sitach,
- flotację – usuwanie zanieczyszczeń pływających po powierzchni ścieków, takich jak tłuszcze i oleje w urządzeniach takich jak odtłuszczacze i odolejacze,
- sedymentację – usuwanie zanieczyszczeń o ciężarze właściwym większym od ciężaru właściwego wody i o znacznym stopniu rozdrobnienia (np. piasek i zawiesiny) w piaskownikach i osadnikach,
- filtrację – usuwanie zanieczyszczeń o tak znacznym stopniu rozdrobnienia, że sedymentacja i flokulacja są nieekonomiczne; w praktyce proces filtracji stosowany jest do oczyszczania ścieków przemysłowych i w przeróbce osadów ściekowych.

W zależności od charakteru i stężenia zawiesin wyróżniamy następujące rodzaje sedymentacji:

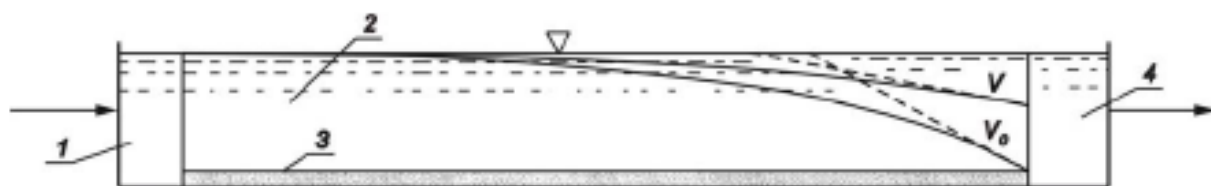
Sedymentacja odrębnych cząstek – dotyczy zawiesin ziarnistych występujących w ściekach o względnie niskich stężeniach zawiesin ($<100 \text{ g/m}^3$). Większość zawiesin ziarnistych opada ze stałą prędkością jako odrębne cząstki (rys.1.), nie zmieniając przy tym kształtu, wielkości i gęstości. Ten typ sedymentacji uwzględnia się przy projektowaniu piaskowników i osadników dla pewnych ścieków przemysłowych, a także dla osadników ścieków miejskich, jeżeli te ostatnie charakteryzują się małym stężeniem i przewagą zawiesin ziarnistych (co powinno być stwierdzone doświadczalnie).



1 – strefa wlotowa, 2 – strefa sedymentacji, 3 – strefa osadowa, 4 – strefa wylotowa

Rysunek 1. Schemat sedymentacji zawiesin ziarnistych.

Sedymentacja zawiesin kłaczkowatych – zachodzi zazwyczaj w surowych ściekach miejskich i licznych ściekach przemysłowych o stężeniu zawiesin rzędu $500\text{-}600 \text{ g/m}^3$. Na skutek aglomeracji cząstek ich prędkość opadania zwiększa się wraz z głębokością osadnika, a trajektoria opadania jest krzywą (rys. 2.), a nie prostą, jak w przypadku opadania cząstek ziarnistych. W celu ustalenia niezbędnych parametrów procesu przeprowadza się laboratoryjne badania sedymentacji. Ten rodzaj sedymentacji zachodzi w osadnikach wstępnych i osadnikach wtórnych po złożach biologicznych.



1 – strefa wlotowa, 2 – strefa sedymentacji, 3 – strefa osadowa, 4 – strefa wylotowa

Rysunek 2. Schemat sedymentacji zawieszin kłaczkowatych osadniku .

Sedymentacja strefowa – zachodzi w ściekach, w których zawartość jednorodnych zawieszin kłaczkowatych przekracza 1000 g/m^3 . Ten typ sedymentacji charakteryzuje osad czynny lub pokoagulacyjny. Opadające kłaczkowate łączą się tworząc warstwę o wyraźnej granicy z cieczą sklarowaną. Proces sedymentacji strefowej charakteryzuje się strefami: opadania, przejściową i zagęszczania. Strefy te można obserwować podczas sedymentacji prowadzonej w cylindrze w warunkach statycznych. W początkowym okresie cząstki opadają z jednakową prędkością zależną od wyjściowego stężenia zawieszin (strefa opadania). W miarę postępu procesu cząstki łączą się (lepkość i gęstość cieczy rośnie), a prędkość ich opadania maleje (strefa przejściowa). W strefie zagęszczania cząstki opadające są mechanicznie podtrzymywane przez cząstki, które opadły wcześniej. Stężenie osadu w tej warstwie zależy od grubości warstwy osadu i czasu zalegania osadu. Obserwacje sedymentacji strefowej w warunkach laboratoryjnych mogą służyć do ustalenia parametrów obliczeniowych osadników wtórnych po procesie osadu czynnego lub osadników po oczyszczaniu chemicznym (strącaniu).

Urządzenia, w których prowadzi się sedymentację noszą nazwę osadników. Ze względu na miejsce w układzie można je podzielić na wstępne, pośrednie i wtórne, a ze względu na rozwiązania techniczne osadniki dzielimy na: o przepływie poziomym (podłużne, promieniste, wielolejowe), o przepływie pionowym, o przepływie pionowo-poziomym, podłużny wielostrumieniowy, Imhoffa.

Osadniki wymiaruje się na podstawie:

- obciążenia hydraulicznego - gdy zawierają tylko zawieszinę ziarnistą, jest wyraźna przewaga zawiesziny ziarnistej lub gdy w ściekach występuje zawieszina całkowicie skłaczkowana bądź w znacznym stopniu skłaczkowana,
- obciążenia hydraulicznego i czasu przetrzymania – gdy ścieki zawierają zawieszinę mieszaną lub zawieszinę nie w pełni skłaczkowaną, a w układzie nie ma wstępnej flokulacji.

Sedymentacja wstępna prowadzona jest w osadniku wstępnym po oczyszczeniu ścieków z zanieczyszczeń wielkogabarytowych i piasku (na kratkach i sitach oraz w piaskowniku), a czas przetrzymania w osadnikach wstępnych wynosi zazwyczaj od 1,5 do 2 godzin.

Strącanie chemiczne polega na dawkowaniu do ścieków reagentów umożliwiających przeprowadzenie rozpuszczonych form fosforu do osadu (form nierozpuszczonych). Rozpuszczone fosforany przechodzą w formę stałą, wytrącając się w postaci trudno rozpuszczalnych soli.

Podstawową metodą stosowaną w procesie chemicznego strącania fosforanów jest dodawanie roztworu soli metali do strumienia ścieków zawierających fosfor w celu wytrącenia trudno rozpuszczalnych soli fosforu. Powstały osad zostaje oddzielony podczas sedymentacji, filtracji, flotacji lub innych procesów oddzielania cząstek stałych od cieczy. Najczęściej stosowanymi reagentami są sole glinu ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 , NaAlO_2) i żelaza (FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeClSO_4) oraz wapno (CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Proces strącania można podzielić na 4 etapy:

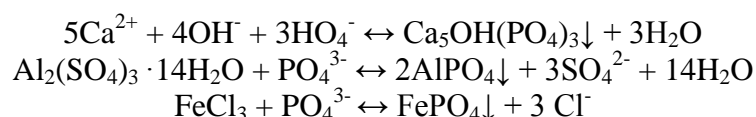
1. Dozowanie czynnika strącającego do ścieków.
2. Szybkie i intensywne wymieszanie czynnika ze ściekami, przez co powstają nierozpuszczalne połączenia kationów metali i anionów fosforanowych (1-3 minuty).
3. Agregacja kłaczków, przy wolnych obrotach mieszadła (20-30minut),
4. Oddzielenie fazy stałej (powstałego osadu) od fazy ciekłej.

Defosfatacja chemiczna może być realizowana jako samodzielny proces strącania fosforanów lub jako proces wspomagający wzmożoną biologiczną defosfatację.

Proces chemicznego strącania może być prowadzony jako:

- strącanie wstępne, gdy reagent jest dodawany przed osadnikiem wstępnym,
- strącanie symultaniczne, gdy reagent jest dodawany do komory osadu czynnego w trakcie procesu oczyszczania biologicznego,
- strącanie końcowe, gdy do usuwania fosforu na drodze chemicznego strącania wykorzystywany jest dodatkowy stopień oczyszczania, obejmujący koagulację, flokulację oraz oddzielenie cząstek stałych.

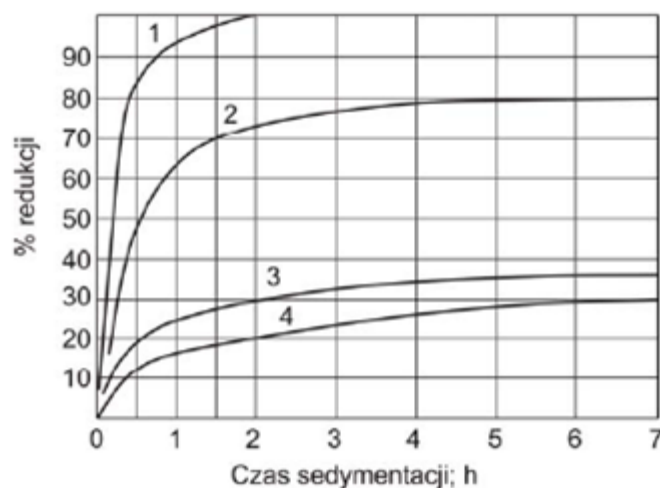
Poniżej przedstawiono równania chemiczne strącania fosforu z roztworów z użyciem wapna, siarczanu glinu oraz chlorku żelaza:



Strącanie solami żelaza najlepiej zachodzi w zakresie pH od 5,0 do 5,5, a solami glinu w zakresie od 6,0 do 7,0. Dawki reagentów dla strącania związków fosforu ze ścieków zależą od stężenia i wymaganego stopnia usuwania fosforu oraz od zasadowości i własności fizyczno-chemicznych substancji koloidalnych i rozpuszczonych.

Procesowi chemicznego strącania towarzyszy proces koagulacji. W procesie koagulacji usuwane są koloidy oraz drobno zdyspergowane zawiesiny. Proces koagulacji przebiega w dwóch etapach: destabilizacji i flokulacji. Destabilizacja cząstek koloidalnych przebiega w procesie szybkiego mieszania. Koagulant dodany do wody ulegając hydrolizie neutralizuje ładunek stabilnych koloidów. W reakcji hydrolizy powstają wodorotlenki, na powierzchni których sorbują się zdestabilizowane koloidy. Flokulacja zachodzi pod wpływem sił zewnętrznych oraz wewnętrznych, które powodują skuteczne zderzanie zdestabilizowanych cząstek, prowadząc do powstania kłaczków. Proces flokulacji zachodzi podczas wolnego mieszania. Koagulacja usuwa polifosforany oraz organiczne związki fosforu, które nie tworzą trudno rozpuszczalnych połączeń w wyniku dodawania czynników strącających. Związki te są usuwane przez adsorpcję na kłaczkach powstałych wodorotlenków.

Wykres zależności skuteczności usuwania poszczególnych zanieczyszczeń w procesie sedymentacji wstępnej w zależności od czasu trwania procesu przedstawiają tzw. krzywe Sierpa (rys. 3).



Rysunek 3. Krzywe Sierpa (1. zawiesiny opadające, 2. zawiesiny ogólne, 3. BZT₅, ChZT, 4. utlenialność)

Wykres Sierpa ujmuje dwa rodzaje zawiesin. Podział ten jest umowny, wprowadzony ze względów technicznych. Stężenie zawiesin ogólnych jest miarą całkowitej ilości zanieczyszczeń w postaci stałej, a zawiesiny szybko opadające są częścią zawiesiny całkowitej, która opada na dno doświadczalnego leja Imhoffa w ciągu 2 godzin sedymentacji w warunkach statycznych. Pozostałe w ściekach zawiesiny po 2 godzinach sedymentacji określane są jako zawiesiny nieopadające. Zawiesiny opadające można wyrazić wagowo (w g sm/m³) lub objętościowo (w cm³/dm³).

Podwyższenie efektywności mechanicznego oczyszczania ścieków można uzyskać poprzez wstępne napowietrzanie ścieków (wspomaganie flokulacji), wstępne chemiczne strącanie lub poprzez tzw. biokoagulację (dodanie do ścieków osadu czynnego i ich wstępne napowietrzanie).

W procesie klasycznej sedymentacji wstępnej uzyskuje się następujące skuteczności usuwania zanieczyszczeń:

- zawiesiny ogólne: 60–70%,
- zawiesiny opadające: 90–100%,
- BZT₅, ChZT: 20–30%,
- utlenialność: 15–20%,
- azot ogólny N_{og}: 5–10%,
- fosfor ogólny P_{og}: 5–10%.

W procesie sedymentacji wstępnej wspomaganiej chemicznym strącaniem uzyskuje się następujące skuteczności usuwania zanieczyszczeń:

- zawiesiny ogólne: do 90%,
- zawiesiny opadające: do 100%,
- BZT₅, ChZT: do 75%,
- azot ogólny N_{og}: do 25%.
- fosfor ogólny P_{og}: do 90%,

SPOSÓB WYKONANIA ĆWICZENIA

Badanie procesu strącania wstępnego prowadzone jest na koagulatorze laboratoryjnym. W celu przeprowadzenia eksperymentu należy wlać 1 dm³ ścieków do zlewki. Podczas szybkiego mieszania ($t = 2$ min, $n = 2000$ obr/min) dawkuje się określoną ilość środka strącającego, a następnie zmniejsza się prędkość obrotową mieszadeł do 10 obr/min i prowadzi proces wolnego mieszania przez 20 min. Po zakończeniu procesu ścieki przenosi się do leja Imhoffa, gdzie następuje proces sedymentacji.

Badanie sedymentacji wstępnej prowadzone jest w warunkach statycznych w dwóch lejach Imhoffa:

- w pierwszym leju dla ścieków surowych,
- w drugim leju dla ścieków surowych po wstępnym chemicznym strącaniu.

W celu przeprowadzenia eksperymentu należy 1 litr dobrze wymieszanych ścieków wlać do leja Imhoffa i prowadzić obserwację ilości osadu gromadzącego się na dnie leja. Należy notować przyrost zawiesiny (objętości) w czasie. Obserwację prowadzić 1,5 godziny.

W celu oceny procesu oczyszczania ścieków w procesie wstępnej sedymentacji należy w ściekach przed i po sedymentacji wykonać oznaczenie następujących zanieczyszczeń i wskaźników zanieczyszczeń: utlenialność, BZT₅, zawiesiny ogólne, azot amonowy, fosforany, zasadowość (według decyzji prowadzącego), pH.

Skuteczność oczyszczania należy obliczyć dla następujących zanieczyszczeń i wskaźników zanieczyszczenia: zawiesin ogólnych, utlenialności, BZT₅, N_{og}, N-NH₄, P_{og}, P-PO₄.

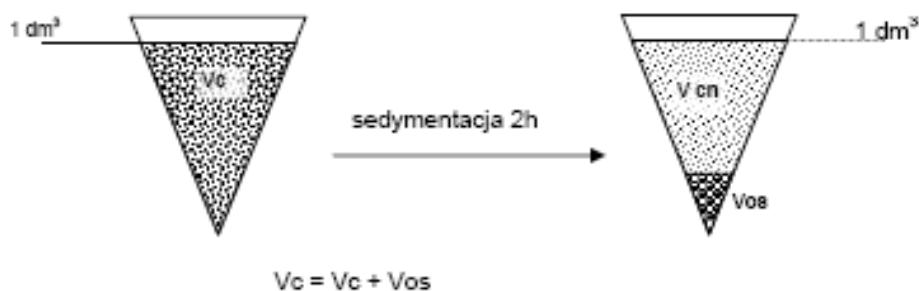
Na podstawie uzyskanych wyników należy:

- sporządzić wykres przyrostu objętości zawiesin opadających (cm³/dm³) w funkcji czasu sedymentacji;
- sporządzić wykres usuwania zawiesin opadających wyrażonych w % w funkcji czasu, przyjmując, że po 1,5 godziny sedymentacji w leju Imhoffa sedymentacji uległy wszystkie zawiesiny opadające (100%);
- określić efekt oczyszczania ścieków w procesie sedymentacji wstępnej (w %);
- ocenić właściwości sedymentacyjne zawiesin w badanych ściekach.
- porównać proces sedymentacji wstępnej i proces sedymentacji wstępnej wspomaganą chemicznym strącaniem.

Ponadto należy wyznaczyć stężenie osadu zgromadzonego na dnie leja Imhoffa (mg sm/dm³) oraz zawartość poszczególnych zanieczyszczeń i wskaźników zanieczyszczeń w tym osadzie (w mg/mg sm). Obliczeń dokonać posługując się równaniem bilansu:

$$V_o \cdot C_o = V_{cn} \cdot C_{cn} + V_{os} \cdot C_{os}$$

indeksy: o – warunki początkowe – przed sedymentacją,
cn – ciecz nadosadowa,
os – osad



Rysunek 4. Bilans masy leja Imhoffa

Przeliczenie ilości zanieczyszczeń przypadającej na jednostkę masy osadu, np. dla N_{og} (przy założeniu, że oznaczenia wykonano w próbach niesączonech):

stężenie osadu: $X_{os} = A \text{ mg sm/dm}^3$ (w 1 dm^3 znajduje się $A \text{ mg sm}$ osadu),

stężenie N_{og} w osadzie: $S_{os} = B \text{ mg N/dm}^3$ (w 1 dm^3 znajduje się $B \text{ mg } N_{og}$),

zatem ilość zanieczyszczeń przypadająca na jednostkę masy osadu wynosi: **$B/A \text{ mg N/mg sm}$**

Literatura:

1. Mańczak M., Balbierz M., Instrukcje do przedmiotu oczyszczanie ścieków, Instrukcja nr 23 „Usuwanie fosforu ze ścieków”, Wrocław 2003 r.
2. Łomotowski J., Szpindor A., „Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków”, Arkady. Warszawa 2002 r.
3. Cywiński B. i in., Oczyszczanie ścieków miejskich t. II, Arkady, Warszawa 1972 r.
4. Zdybek I., Wpływ jonów chlorkowych i siarczanowych na wzmożone biologiczne usuwanie fosforu ze ścieków”, praca doktorska PWr, Wrocław 2004 r.
5. Pantal K., „Usuwanie związków fosforu ze ścieków komunalnych aglomeracji wrocławskiej w procesie chemicznego strącania”, praca magisterska PWr, Wrocław 2007r.

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

pH

zasadowość

azot amonowy

fosforany

stężenie zawiesin

utlenialność

BZT₅

FORMULARZ WYNIKÓW ANALIZ
Chemiczne strącanie fosforu
Sedymentacja wstępna – badania w leju Imhoffa

Przebieg sedymentacji w leju Imhoffa (1 dm³ ścieków)

Czas sedymentacji; min.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	30	45	60	90
Objętość osadu; cm ³ Lej 1															
Objętość osadu; cm ³ Lej 2															

Oznaczenie utlenialności

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Opis próby	Przebieg miareczkowania	Stężenie gO ₂ /m ³
„0”	0	-.....=.....	
Ścieki surowe				
Ścieki oczyszczone 1				
Ścieki oczyszczone 2				

Oznaczenie zasadowości ogólnej i pH

Nazwa próby	Odczyn pH	Zasadowość M		
		Przebieg miareczkowania	Wartość	
			val/m ³	g CaCO ₃ /m ³
Ścieki surowe	-.....=.....		
Ścieki oczyszczone 1	-.....=.....		
Ścieki oczyszczone 2	-.....=.....		

Oznaczenie azotu amonowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Nr próbki	Odczyt wzorca, mgN/100 cm ³	Stężenie, g N/m ³
Ścieki surowe				
Ścieki surowe				
Ścieki oczyszczone 1				
Ścieki oczyszczone 1				
Ścieki oczyszczone 2				
Ścieki oczyszczone 2				

Oznaczenie fosforanów

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Nr próbki	Odczyt	Stężenie g PO ₄ /m ³	Stężenie g P/m ³ (*0,326)
Ścieki surowe					
Ścieki surowe					
Ścieki oczyszczone 1					
Ścieki oczyszczone 1					
Ścieki oczyszczone 2					
Ścieki oczyszczone 2					

Oznaczenie stężenia zawiesin

Nazwa próby	Objętość	Masy krystalizatorów, g		
		MO (pusty)	M ₁₀₆ (Wysuszony)	Różnica
Ścieki surowe	„całe”	50		
	„przesącz”	50		
Ścieki oczyszczone 1	„całe”	50		
	„przesącz”	50		
Ścieki oczyszczone 2	„całe”	50		
	„przesącz”	50		

Wyniki:

Stężenia g/m ³	Sucha pozostałość	Substancje rozpuszczone	Zawiesiny
Ścieki surowe			
Ścieki oczyszczone 1			
Ścieki oczyszczone 2			

Oznaczenie tlenu rozpuszczonego

Nazwa Próby	Rozcieńczenie	Rodzaj oznaczenia	Przebieg miareczkowania	Stężenie g O ₂ /m ³
Woda do rozcieńczeń	0	„Na bieżąco 1”-.....=.....	
		„Na bieżąco 2”-.....=.....	
		„Na bieżąco 3”-.....=.....	
		„Po inkubacji 1”-.....=.....	
		„Po inkubacji 2”-.....=.....	
Ścieki surowe		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
Ścieki oczyszczone 1		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
Ścieki oczyszczone 2		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	

WYNIKI:

	Rozcieńczenie	BZT ₅ , g O ₂ /m ³
Ścieki surowe		
Ścieki oczyszczone 1		
Ścieki oczyszczone 2		

Oznaczenia podawane przez prowadzącego:

	Ścieki surowe	Ścieki oczyszczone 1	Ścieki oczyszczone 2
Azot organiczny N _{org} , gN/m ³			
Fosfor ogólny P _{og} , gP/m ³	P-PO ₄ /0,8	P-PO ₄ /0,8	P-PO ₄ /0,8

Ćwiczenie 9. UNIESZKODLIWIANIE ŚCIEKÓW CHROMOWYCH

Grupę ścieków chromowych tworzą wody popłuczne po elektrochemicznym chromowaniu, trawieniu w kąpielach zawierających kwas chromowy, chromianowej pasywacji i ewentualnie innych procesach, w których stosowane są związki chromu (garbarnie oraz zakłady chemiczne produkujące chromiany, dwuchromiany i aluny).

Chrom powstaje w ściekach przeważnie w postaci jonów CrO_4^{2-} , który nadaje im lekko żółte zabarwienie. Stężenie Cr^{+6} w ściekach waha się pomiędzy 5-200 g/m³.

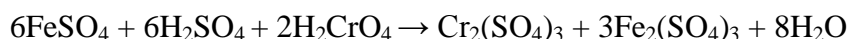
Ścieki zawierające związki chromu Cr^{+6} należą do bardzo trujących i bez oczyszczania nie mogą być odprowadzane do kanalizacji miejskiej lub wód powierzchniowych

Metody unieszkodliwiania ścieków chromowych;

- a) metody fizykochemiczne- oparte na wymianie jonowej, gdy związki chromu występują w postaci CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
- b) metody chemiczne z zastosowaniem reduktorów

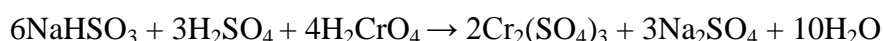
Stosowane reduktory oraz przebieg reakcji redukcji przedstawiają poniższe równania:

1. siarczan żelazawy

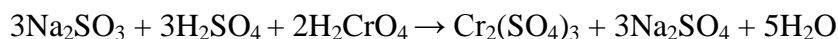


Jest rzadko stosowany ponieważ łatwo ulega utlenieniu i konieczne jest stosowanie jego znacznego nadmiaru.

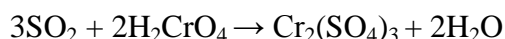
2. kwaśny siarczyn sodowy



3. siarczyn sodowy



4. gazowy dwutlenek siarki



Kinetyka tych reakcji w silnym stopniu uzależniona jest od odczynu środowiska reakcyjnego. Reakcja redukcji chromu zachodzi z zadawalającą prędkością w środowisku silnie kwaśnym ($\text{pH} < 2$).

Badania nad wpływem stężenia substancji redukujących na prędkość przebiegu reakcji wykazały, że w środowisku kwaśnym (pH = 2-2,5) praktycznie wszystkie jony Cr^{+6} zostają zredukowane do Cr^{+3} w ciągu kilku minut, gdy stosuje się 200-250 procentowy nadmiar reduktora.

Celem wydzielenia wodorotlenku chromu w postaci niebieskiego osadu ścieki zobojętnia się do pH = 8,5-9,5.

I. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przebiegiem redukcji siarczynem sodowym oraz neutralizacji ścieków chromowych ługiem sodowym.

Oznaczenie zawartości chromu

Do Erlenmajerki o obj. 250 ml z doszlifowanym korkiem odmierzyć 20 ml ścieków, dodać 30 ml wody destylowanej i 10 ml KJ (10%) i 1 ml kwasu siarkowego (1+1), zamknąć butelkę korkiem, odstawić na 5 minut do ciemnego miejsca, a następnie miareczkować roztworem $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Zawartość chromu wyznaczyć z zależności:

$$\text{Cr}^{+6} = \frac{0,433 \cdot a \cdot 1000}{V}, \text{g/m}^3$$

Oznaczenie siarczynu sodowego

Do dwóch Erlenmajerek o obj. 250 ml z doszlifowanym korkiem odmierzyć po 50 ml roztworu J_2 (1/40n). Dodać po 5 ml lodowatego kwasu octowego i wymieszać. Następnie odmierzyć 2 i 3 ml siarczynu sodowego, ponownie zamieszać i po 2 minutach odmiareczkować nadmiar jodu $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ wobec skrobi (do odbarwienia).

Zawartość reduktora wyznaczyć z zależności:

$$\text{Na}_2\text{SO}_3 = \frac{(50 - a) \cdot 1,575 \cdot 1000}{V}$$

II. Przebieg ćwiczenia

Oznaczyć miano reduktora oraz zawartość chromu w ściekach. Na podstawie miana siarczynu sodowego oraz zawartości chromu w ściekach wyznaczyć wymaganą objętość reduktora konieczną do redukcji chromu (D_t) i objętości odpowiadające 0,6 i 1,4 D_t .

Nalać do 3 zlewek po 0,5 dm³ ścieków i kolejno przeprowadzać redukcję chromu. W tym celu umieścić zlewkę na mieszadle magnetycznym i dawkować kwas siarkowy do uzyskania pH < 2,0. Następnie zadatkować odpowiednią objętość reduktora. Po wymieszaniu zneutralizować ścieki ługiem sodowym do pH około 8,5.

Zlewkę odstawić na 20 minut (sedymentacja). Po sedymentacji przesączyć ciecz nadosadową i wykonać oznaczenia: chromu i pozostałego siarczynu sodowego oraz opisać osad.

III. Opracowanie wyników

Uzyskane wyniki zestawień tabelarycznie, omówić przebieg obserwowanych zmian.

	0	0,6D	1,0D	1,4D
Cr ⁺⁶				
NaSO ₃				
Opis osadu				

Ćwiczenie 10. WZMOŻONA BIOLOGICZNA DEFOSFATACJA

Badania procesu wzmożonej biologicznej defosfatacji w ramach ćwiczeń laboratoryjnych z oczyszczania ścieków realizowane są w sekwencyjnych reaktorach wsadowych tzw. reaktorach SBR (z ang. sequencing batch reactor). Reaktory SBR różnią się od reaktorów przepływowych tym, że w jednym zbiorniku prowadzone są kolejno wszystkie procesy jednostkowe oczyszczania ścieków.

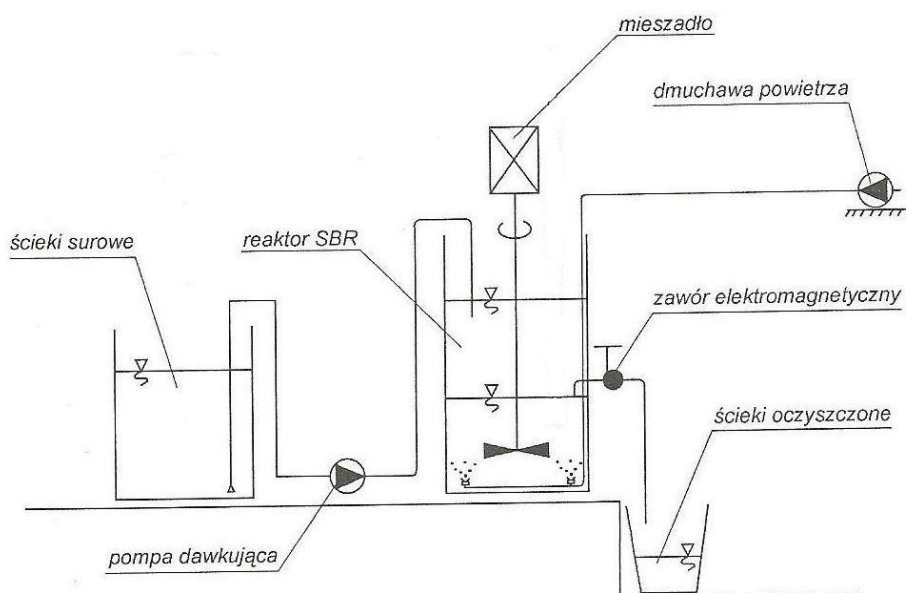
Zalety reaktorów SBR to:

- możliwość prostej zmiany warunków tlenowych na anoksydacyjne lub beztlenowe,
- brak osadników, pomp do recyrkulacji wewnętrznej i zewnętrznej osadu czynnego,
- prosta automatyka i łatwa obsługa,
- usuwanie biogenów w jednym zbiorniku.

Badania prowadzone są w laboratoryjnym reaktorze SBR. Układ badawczy składa się z następujących elementów:

- reaktora
- zbiornika ścieków surowych,
- pompy dozującej ścieki surowe,
- mieszadła,
- dmuchawy powietrza i dyfuzora,
- sterownika,

Schemat laboratoryjnego reaktora SBR pokazano na rysunku 1.



Rysunek 1. Reaktor SBR

Całkowita pojemność reaktora SBR (V_C) jest sumą objętości mieszaniny ścieków i osadu czynnego w reaktorze po spuszczeniu ścieków oczyszczonych (V_m) i objętości ścieków surowych doprowadzanych na początku cyklu ($V_{sc.sur}$)

$$V_C = V_m + V_{sc.sur}$$

Dobowy przepływ ścieków oczyszczonych ($Q_{sc.ocz.}$) jest równy dobowemu przepływowi ścieków surowych pomniejszonemu o dobową objętość odprowadzanego osadu nadmiernego:

$$Q_{sc.ocz.} = Q_{sc.sur} - Q_{os.nadm}$$

Hydrauliczny czas przetrzymania jest wyrażony wzorem:

$$T = \frac{V_C}{Q_{sc.sur}}, d$$

gdzie:

V_C – całkowita pojemność reaktora SBR, dm^3

$Q_{sc.sur}$ – dobowy przepływ ścieków surowych, dm^3/d

Hydrauliczny czas przetrzymania dla danej fazy (np. tlenowej) jest wyrażony wzorem:

$$T_{fazy} = \frac{t_{fazy}}{t_{cyklu}} \cdot \frac{V_C}{Q_{sc.sur}}, d$$

gdzie:

t_{fazy} – czas trwania danej fazy w cyklu, h

t_{cyklu} – całkowity czas trwania cyklu, h

Wiek osadu (WO)

Jest to najważniejszy parametr decydujący o efektach pracy osadu czynnego.

Określa on średni czas przebywania kłaczków osadu czynnego w układzie, liczony jako stosunek masy osadu w układzie do dobowego przyrostu masy osadu w wyniku procesów oczyszczania.

$$WO = \frac{M_x}{\Delta X} = \frac{V_C \cdot X}{\Delta X}; d$$

gdzie:

$M_x = V_C \cdot X$ – masa osadu czynnego w układzie; kg

V_C – objętość komory osadu czynnego; m^3

ΔX – przyrost osadu w wyniku procesów oczyszczania; kg/d

W przypadku laboratoryjnego reaktora SBR osad nadmierny odprowadzany jest pod koniec fazy tlenowej, zatem stężenie osadu nadmiernego jest równe stężeniu osadu czynnego w reaktorze, zatem wiek osadu jest wyrażony wzorem:

$$WO = \frac{V_C \cdot X}{Q_{os.nadm} \cdot X} = \frac{V_C}{Q_{os.nadm}}, d$$

gdzie:

V_C – całkowita pojemność reaktora SBR, dm^3

$Q_{os.nadm}$ – dobowa objętość osadu nadmiernego, dm^3/d

X – stężenie osadu czynnego, g/dm^3

Indeks osadu czynnego (Mohlmanna) IO

Charakteryzuje zdolność zawiesin osadu czynnego do sedymentacji w osadniku

wtórnym. Jest to stosunek objętości osadu czynnego po 30 minutach zagęszczania w cylindrze $1dm^3$ do stężenia osadu w cylindrze przed zagęszczaniem

$$IO = \frac{V_{os}}{V \cdot X}; cm^3 / g sm$$

gdzie:

V_{os} – objętość osadu po 30 minutach zagęszczania w cylindrze; cm^3

X – stężenie osadu w cylindrze przed zagęszczaniem; $g sm/cm^3$

V – początkowa objętość osadu w cylindrze; cm^3

Im mniejsza wartość indeksu osadu, tym korzystniejsze są jego właściwości sedymentacyjne. Dobre właściwości sedymentacyjne ma osad o IO w granicach $50\text{--}100 \text{ cm}^3/\text{g sm}$. Wyższe wartości IO wskazują na pęcznienie osadu, wywołane najczęściej przez bakterie nitkowate.

Obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń O_L

Obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń określa ilość zanieczyszczeń organicznych (najczęściej wyrażanych jako BZT_5) doprowadzanych do komory osadu czynnego w jednostce czasu na jednostkę masy osadu w komorze:

$$O_L = \frac{Q_D \cdot S_{BZT_5}}{M_X} = \frac{L_{BZT_5}}{M_X} = \frac{L_{BZT_5}}{WO \cdot \Delta X}; \quad \text{g BZT}_5 / \text{g sm} \cdot \text{d}$$

gdzie:

S_{BZT_5} – BZT_5 ścieków doprowadzanych do komory osadu czynnego; $\text{g BZT}_5/\text{m}^3$

L_{BZT_5} – ładunek BZT_5 ścieków doprowadzanych do KOCz; $\text{g BZT}_5/\text{d}$

M_X – masa osadu czynnego w układzie, g sm

Jest to parametr, którego wartość jest wynikiem przyjęcia określonego wieku osadu WO .

Konwencjonalna defosfatacja biologiczna wynika z procesów wzrostu mikroorganizmów, do których niezbędna jest podaż fosforu. Fosfor usuwany jest ze ścieków poprzez asymilację w przyrastającej biomase bakterii i usuwany z układu wraz z osadem nadmiernym. Proces konwencjonalnej biologicznej defosfatacji przebiega w każdym układzie technologicznym oczyszczalni ze złożami biologicznymi lub osadem czynnym.

Wzmoczone biologiczne usuwanie fosforu (EBPR - Enhanced Biological Phosphorus Removal) prowadzone jest przez wyspecjalizowane bakterie PAO (Phosphate Accumulating Organisms). Organizmy te są heterotrofami i bezwzględnie tlenowcami. Jako źródło węgla wykorzystują niskocząsteczkowe związki organiczne, głównie krótkołańcuchowe kwasy organiczne (tzw. lotne kwasy tłuszczowe LKT). Występowanie naprzemiennych warunków beztlenowo-tlenowych, które są niekorzystne dla szybkorosnących heterotrofów, promuje rozwój organizmów PAO.

W konwencjonalnym układzie oczyszczania ścieków ilość wbudowanego w biomasę fosforu wynosi $1,5\text{--}2,3\%$ suchej masy organicznej. Zmiana reżimu oczyszczania ścieków na beztlenowo-tlenowy powoduje występowanie wzmoczonej biologicznej defosfatacji. Zawartość fosforu w suchej masie organicznej może sięgnąć $5\text{--}8\%$ lub więcej. Fosfor jest usuwany z układu poprzez odprowadzanie osadu nadmiernego zawierającego podwyższone ilości fosforu wbudowanego w biomasę. Fosfor zmagazynowany jest w mikroorganizmach PAO w postaci złożeń polifosforanowych. Polifosforany stanowią rezerwę energetyczną komórek. Dzięki umiejętności pozyskiwania energii z rozszczepiania polifosforanów w fazie beztlenowej, możliwe staje się pozyskiwanie substratów odżywczych przez PAO w fazie beztlenowej i w ten sposób wygrywanie konkurencji z innymi mikroorganizmami heterotroficznymi. Substratem odżywczym organizmów PAO są lotne kwasy tłuszczowe obecne w ściekach lub tworzone w wyniku fermentacji łatworozkładalnego ChZT.

Organizmy PAO nie posiadają zdolności utleniania substancji organicznych w warunkach beztlenowych. Mimo dużej podaży związków organicznych nie są w stanie prowadzić normalnego metabolizmu tlenowego. Mogą jednak pobierać i gromadzić niektóre substancje organiczne, a energię potrzebną na ich transport i magazynowanie uzyskują z rozpadu wysokoenergetycznych wiązań polifosforanowych, uwalniając ortofosforany z komórki do roztworu. Powoduje to usunięcie z roztworu substancji organicznych i wzrost zawartości fosforanów w roztworze. W warunkach tlenowych organizmy te utleniają zgromadzone w komórkach substancje organiczne, które nie są już dostępne dla innych grup

organizmów. Uzyskaną energię wykorzystują do swojego rozwoju, a jej nadmiar jest powtórnie wiązany w polifosforanach, powodując usuwanie ortofosforanów z roztworu.

Mechanizm procesu biologicznej defosfatacji polega na tym, że w warunkach beztlenowych PAO hydrolizują zmagazynowane polifosforany uwalniając energię niezbędną do poboru LKT, a powstające ortofosforany wydzielane są do ścieków. Przystawiane w fazie beztlenowej LKT są gromadzone wewnątrz komórek w postaci polihydroksyalkanianów (PHA), a zwłaszcza w postaci poli- β -hydroksymaślanu (PHB). W warunkach tlenowych lub anoksydacyjnych (w obecności azotanów) zmagazynowane polimery PHA są rozkładane z wydzieleniem energii, a tlen lub azotany są wykorzystywane jako ostateczny akceptor elektronów. Rozkład PHA w fazie tlenowej (anoksydacyjnej) dostarcza energii na potrzeby metabolizmu mikroorganizmów oraz do uzupełniania wewnętrznego poziomu polifosforanów z fosforanów obecnych w roztworze otaczającym komórki.

Warunki umożliwiające skuteczną wzmoczoną biologiczną defosfatację:

- występowanie naprzemiennych warunków beztlenowo-tlenowych,
- utrzymywanie w strefie beztlenowej stężenia tlenu poniżej $0,1 \text{ g O}_2/\text{m}^3$,
- utrzymywanie w strefie tlenowej stężenia tlenu powyżej $1,5 \text{ g O}_2/\text{m}^3$,
- zapewnienie na dopływie do strefy beztlenowej odpowiedniej ilości łatwo biodegradowalnych związków organicznych (a szczególnie LKT),
- zapewnienie mieszania w komorze beztlenowej (mieszanie mechaniczne, a nie sprężonym powietrzem).

Modele biochemiczne opisujące istotę procesu EBPR:

- model Comeau – Wentzel'a,
- model Mino,

Opracowano na podstawie Instrukcji do przedmiotu oczyszczanie ścieków nr 23 "Usuwanie fosforu ze ścieków", M.Mańczak, M. Balbierz, Wrocław 2003.

PRZEBIEG ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z procesem wzmoczonej biologicznej defosfatacji. Realizowany w warunkach laboratoryjnych proces prowadzony jest w reaktorze SBR.

Cykl pracy reaktora:

- faza beztlenowa,
- faza tlenowa,
- faza sedymentacji,
- napełnianie, spust, postój,

W ściekach surowych i oczyszczonych oraz w ściekach pobranych z reaktora na przełomie fazy beztlenowej i tlenowej należy oznaczyć:

pH, zasadowość, BZT₅, fosfor fosforanowy, azot amonowy.

Oznaczenia podawane przez prowadzącego:

ChZT, Azot ogólny, Fosfor ogólny

Ponadto należy oznaczyć:

- stężenie osadu w reaktorze, X, $\text{g sm}/\text{m}^3$

- objętość osadu po 30 minutach sedymentacji w cylindrze, cm^3/dm^3

Na podstawie posiadanych informacji należy obliczyć:

- ilość osadu nadmiernego, dm^3/d

- indeks osadu IO, $\text{cm}^3/\text{g sm}$

- wskaźniki i stężenia zanieczyszczeń na początku fazy beztlenowej

$$C_{AN} = \frac{C_{sc.sur} \cdot V_{sc.sur} + C_{sc.ocz} \cdot V_m}{V_{sc.sur} + V_m}$$

- obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń O_1 , $\text{g BZT}_5/\text{g sm d}$,

- stosunek pobranego w fazie beztlenowej BZT_5 do uwolnionego fosforu fosforanowego $\text{g BZT}_5/\text{g P}$

Na podstawie uzyskanych wyników analiz należy sporządzić wykres zmienności wskaźników i stężeń zanieczyszczeń podczas cyklu pracy reaktora.

Na podstawie uzyskanych wyników należy obliczyć skuteczność usuwania zanieczyszczeń oraz sporządzić bilans związków organicznych, azotu i fosforu:

Bilans związków organicznych:

$$S_{ChZT,D} \cdot V_D - S_{ChZT,O} \cdot V_O - S_{ChZT,N} \cdot V_N = Z_{O_2}^C; \text{gO}_2 / \text{d}$$

Bilans związków azotowych:

$$S_{NoG,D} \cdot V_D - S_{NoG,O} \cdot V_O - S_{NoG,N} \cdot V_N = 0$$

Bilans związków fosforu:

$$S_{Pog,D} \cdot V_D - S_{Pog,O} \cdot V_O - S_{Pog,N} \cdot V_N = 0$$

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

pH

zasadowość

azot amonowy

fosfor fosforanowy

utlenialność

BZT_5

stężenie zawiesin

FORMULARZ WYNIKÓW ANALIZ

Wzmożona biologiczna defosfatacja

Parametry pracy reaktora:

- ilość cykli w dobie i długość cyklu:cykli/d godz.
- objętość dozowanych ścieków: dm³/cykldm³/d
- objętość martwa reaktora: dm³
- całkowita pojemność reaktora:dm³
- wiek osadu:d

Cykl pracy reaktora:

- faza beztlenowa:
- faza tlenowa:
- faza sedimentacji:
- napelnianie, spust, postój:

Oznaczenie zasadowości ogólnej i pH

Nazwa próby	Odczyn pH	Zasadowość M		
		Przebieg miareczkowania	Wartość	
			val/m ³	g CaCO ₃ /m ³
Ścieki surowe	-.....=.....		
Ścieki AN/OX	-.....=.....		
Ścieki oczyszczone	-.....=.....		

Oznaczenie utlenialności

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Opis próby	Przebieg miareczkowania	Stężenie gO ₂ /m ³
„0”	0	-.....=.....	
Ścieki surowe				
Ścieki AN/OX				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie azotu amonowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Nr próbki	Odczyt wzorca, mgN/100 cm ³	Stężenie, g N/m ³
Ścieki surowe				
Ścieki surowe				
Ścieki AN/OX				
Ścieki AN/OX				
Ścieki oczyszczone				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie tlenu rozpuszczonego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Rodzaj oznaczenia	Przebieg miareczkowania	Stężenie g O ₂ /m ³
<i>Woda do rozcieńczeń</i>	0	„Na bieżąco 1”-.....=.....	
		„Na bieżąco 2”-.....=.....	
		„Na bieżąco 3”-.....=.....	
		„Po inkubacji 1”-.....=.....	
		„Po inkubacji 2”-.....=.....	
<i>Ścieki surowe</i>		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
<i>Ścieki AN/OX</i>		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
<i>Ścieki oczyszczone</i>		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	

WYNIKI:

	Rozcieńczenie	BZT ₅ , g O ₂ /m ³
<i>Ścieki surowe</i>		
<i>Ścieki AN/OX</i>		
<i>Ścieki oczyszczone</i>		

Oznaczenie stężenia osadu

Nazwa próby	Objętość	Masy krystalizatorów, g		
		MO (pusty)	M ₁₀₆ (Wysuszony)	Różnica
<i>Reaktor SBR</i> „cale”	50			
„przesącz”	50			

Wyniki:

Stężenia g/m ³	Sucha pozostałość	Substancje rozpuszczone	Zawiesiny
<i>Reaktor SBR</i>			

Oznaczenie indeksu osadu (indeks Mohlmana)

Osad	Początkowa objętość osadu; cm ³	Końcowa objętość osadu (po 30 min); cm ³	Wartość IO cm ³ /g sm
<i>Z reaktora</i>	100		

Oznaczenie fosforu fosforanowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Nr próbki	Odczyt	Stężenie g PO ₄ /m ³	Stężenie g P/m ³
Ścieki surowe					
Ścieki surowe					
Ścieki AN/OX					
Ścieki AN/OX					
Ścieki oczyszczone					
Ścieki oczyszczone					

Oznaczenia podawane przez prowadzącego:

	Ścieki surowe	Ścieki AN/OX	Ścieki oczyszczone
ChZT, g O ₂ /m ³	BZT ₅ /0,58	BZT ₅ /0,58	BZT ₅ /0,58
Azot org. N _{org.} ; g N/m ³			
Fosfor og. P _{og.} ; g P/m ³	P-PO ₄ /0,8	P-PO ₄ /0,8	P-PO ₄ /0,8

$ChZT_{osadu}, g O_2/m^3 = 0,7 \cdot 1,42 \cdot \text{zawiesina}$

Inne informacje i uwagi:

Ćwiczenie 11. BIOLOGICZNE USUWANIE AZOTU - Reaktor SBR

Badania procesu biologicznego usuwania azotu w ramach ćwiczeń laboratoryjnych z oczyszczania ścieków realizowane są w sekwencyjnych reaktorach wsadowych tzw. reaktorach SBR (z ang. sequencing batch reactor). Reaktory SBR różnią się od reaktorów przepływowych tym, że w jednym zbiorniku prowadzone są kolejno wszystkie procesy jednostkowe oczyszczania ścieków.

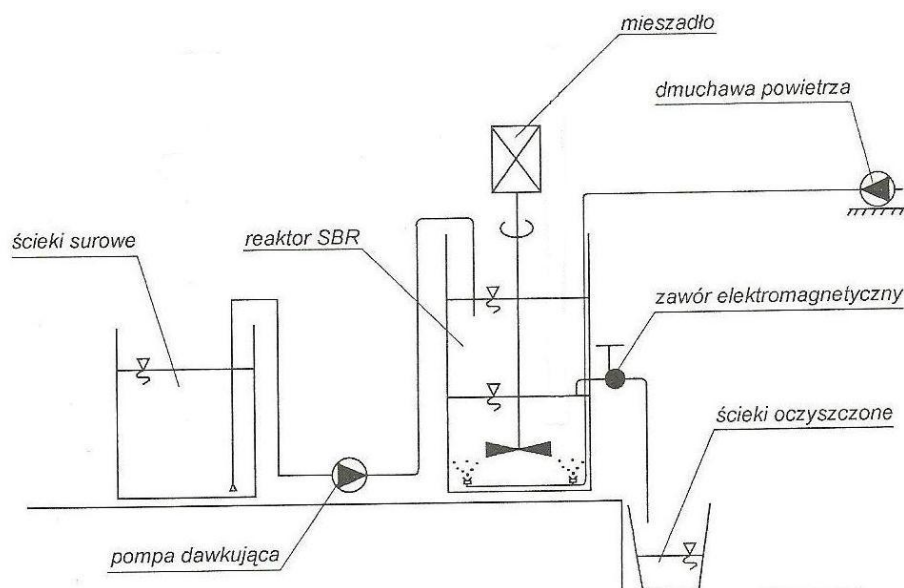
Zalety reaktorów SBR to:

- możliwość prostej zmiany warunków tlenowych na anoksydacyjne lub beztlenowe,
- brak osadników, pomp do recyrkulacji wewnętrznej i zewnętrznej osadu czynnego,
- prosta automatyka i łatwa obsługa,
- usuwanie biogenów w jednym zbiorniku.

Badania prowadzone są w laboratoryjnym reaktorze SBR. Układ badawczy składa się z następujących elementów:

- reaktora
- zbiornika ścieków surowych,
- pompy dozującej ścieki surowe,
- mieszadła,
- dmuchawy powietrza i dyfuzora,
- sterownika,

Schemat laboratoryjnego reaktora SBR pokazano na rysunku 1



Rysunek 1. Reaktor SBR

Całkowita pojemność reaktora SBR (V_C) jest sumą objętości mieszaniny ścieków i osadu czynnego w reaktorze po spuszczeniu ścieków oczyszczających (V_m) i objętości ścieków surowych doprowadzanych na początku cyklu ($V_{sc.sur}$)

$$V_C = V_m + V_{sc.sur}$$

Dobowy przepływ ścieków oczyszczonych ($Q_{sc.ocz}$) jest równy dobowemu przepływowi ścieków surowych pomniejszonemu o dobową objętość odprowadzanego osadu nadmiernego:

$$Q_{sc.ocz} = Q_{sc.sur} - Q_{os.nadm}$$

Hydrauliczny czas przetrzymania jest wyrażony wzorem:

$$T = \frac{V_C}{Q_{sc.sur}}, d$$

gdzie:

V_C – całkowita pojemność reaktora SBR, dm^3

$Q_{sc.sur}$ – dobowy przepływ ścieków surowych, dm^3/d

Hydrauliczny czas przetrzymania dla danej fazy (np. tlenowej) jest wyrażony wzorem:

$$T_{fazy} = \frac{t_{fazy}}{t_{cyklu}} \cdot \frac{V_C}{Q_{sc.sur}}, d$$

gdzie:

t_{fazy} – czas trwania danej fazy w cyklu, h

t_{cyklu} – całkowity czas trwania cyklu, h

Wiek osadu (WO)

Jest to najważniejszy parametr decydujący o efektach pracy osadu czynnego.

Określa on średni czas przebywania kłaczków osadu czynnego w układzie, liczony jako stosunek masy osadu w układzie do dobowego przyrostu masy osadu w wyniku procesów oczyszczania.

$$WO = \frac{M_x}{\Delta X} = \frac{V_C \cdot X}{\Delta X}, d$$

gdzie:

$M_x = V_C \cdot X$ – masa osadu czynnego w układzie; kg

V_C – objętość komory osadu czynnego; m^3

ΔX – przyrost osadu w wyniku procesów oczyszczania; kg/d

W przypadku laboratoryjnego reaktora SBR osad nadmierny odprowadzany jest pod koniec fazy tlenowej, zatem stężenie osadu nadmiernego jest równe stężeniu osadu czynnego w reaktorze, zatem wiek osadu jest wyrażony wzorem:

$$WO = \frac{V_C \cdot X}{Q_{os.nadm} \cdot X} = \frac{V_C}{Q_{os.nadm}}, d$$

gdzie:

V_C – całkowita pojemność reaktora SBR, dm^3

$Q_{os.nadm}$ – dobową objętość osadu nadmiernego, dm^3/d

X – stężenie osadu czynnego, g/dm^3

Indeks osadu czynnego (Mohlmanna) IO

Charakteryzuje zdolność zawiesin osadu czynnego do sedymentacji w osadniku

wtórny. Jest to stosunek objętości osadu czynnego po 30 minutach zagęszczania w cylindrze $1dm^3$ do stężenia osadu w cylindrze przed zagęszczaniem

$$IO = \frac{V_{os}}{V \cdot X}; \quad cm^3 / g \cdot sm$$

gdzie:

V_{os} – objętość osadu po 30 minutach zagęszczania w cylindrze; cm^3

X – stężenie osadu w cylindrze przed zagęszczaniem; g sm/cm³
 V – początkowa objętość osadu w cylindrze; cm³

Im mniejsza wartość indeksu osadu, tym korzystniejsze są jego właściwości sedymentacyjne. Dobre właściwości sedymentacyjne ma osad o IO w granicach 50-100 cm³/g sm. Wyższe wartości IO wskazują na pęcznienie osadu, wywołane najczęściej przez bakterie nitkowate.

Obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń O_L

Obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń określa ilość zanieczyszczeń organicznych (najczęściej wyrażanych jako BZT₅) doprowadzanych do komory osadu czynnego w jednostce czasu na jednostkę masy osadu w komorze:

$$O_L = \frac{Q_D \cdot S_{BZT_5}}{M_X} = \frac{L_{BZT_5}}{M_X} = \frac{L_{BZT_5}}{WO \cdot \Delta X}; \quad \text{g BZT}_5 / \text{g sm} \cdot \text{d}$$

gdzie:

S_{BZT_5} – BZT₅ ścieków doprowadzanych do komory osadu czynnego; g BZT₅/m³

L_{BZT_5} – ładunek BZT₅ ścieków doprowadzanych do KOCz; g BZT₅/d

M_X – masa osadu czynnego w układzie, g sm

Jest to parametr, którego wartość jest wynikiem przyjęcia określonego wieku osadu WO .

Proces biologicznego usuwania azotu ze ścieków realizowany w oczyszczalniach ścieków wykorzystuje przemiany azotu, które zachodzą w środowisku naturalnym, jednak zintensyfikowane dzięki zapewnieniu odpowiednich warunków w urządzeniach technicznych. Podczas oczyszczania ścieków występujące w ściekach związki azotu przechodzą szereg przemian biochemicznych. Azot dopływający ze ściekami do biologicznej oczyszczalni może zostać przekształcony w inną formę lub być z nich całkowicie usunięty. Przemiany form azotu zachodzą w wyniku amonifikacji, asymilacji, nityfikacji oraz denityfikacji. Amonifikacja dotyczy azotu związanego w związkach organicznych (azot organiczny) i prowadzi do powstania azotu amonowego. W wyniku nityfikacji azot amonowy jest utleniany do azotynów i azotanów (są to utlenione formy azotu). Natomiast usuwanie azotu ze ścieków zachodzi w wyniku redukcji azotanów do azotu gazowego w procesie denityfikacji lub przyswojenia azotu amonowego przez komórki osadu czynnego (asymilacja), który następnie oddziela się od ścieków.

Najważniejsze czynniki wpływające na proces biologicznego usuwania azotu to: stężenie tlenu rozpuszczonego, pH, zasadowość ścieków, stężenie azotu w dopływie, obciążenie osadu, wiek osadu oraz występowanie substancji toksycznych.

Amonifikacja

Azot w ściekach pochodzi głównie ze źródeł organicznych. Amonifikacja polega na przemianie azotu organicznego do azotu amonowego. W procesie tym biorą udział organizmy heterotroficzne. Amonifikacja zachodzi już podczas przepływu ścieków w kanalizacji. Nie wymaga udziału tlenu i może przebiegać zarówno w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych.

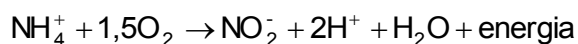
Asymilacja

Azot jest istotnym składnikiem biomasy organizmów. Jego zawartość w suchej masie bakterii wynosi około 10-12%. Mikroorganizmy osadu czynnego mogą wykorzystywać do syntezy nowych komórek wszystkie związki azotu. Jednak najłatwiej przyswajalną dla bakterii formą azotu jest azot amonowy. Asymilacja amoniaku przyczynia się do obniżenia stężenia azotu amonowego w ściekach i jednocześnie zmniejsza ilość substratu w procesie nityfikacji. W konwencjonalnej metodzie osadu czynnego efektywność usuwania azotu na drodze asymilacji

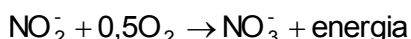
wynosi 8-30%. Znaczna część asymilowanego azotu powraca do ciągu oczyszczania ścieków po obróbce osadu nadmiernego.

Nitryfikacja

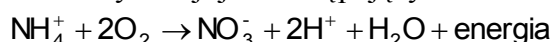
Nitryfikacja to dwustopniowy proces utleniania azotu amonowego do azotanów. W pierwszym etapie bakterie Nitrosomonas utleniają azot amonowy do azotynów według reakcji:



W drugim etapie bakterie Nitrobacter utleniają azotyny do azotanów zgodnie z reakcją:



Sumaryczny przebieg procesu nitryfikacji jest następujący:

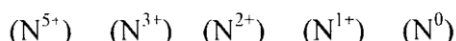
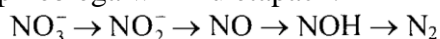


Energia wytwarzana podczas utleniania azotu amonowego jest zużywana przez nitryfikanty przede wszystkim do syntezy nowej biomasy (przyrost bakterii).

Proces nitryfikacji charakteryzuje się dużym zużyciem tlenu – 4,6 g O₂/g N_{NH4} oraz istotnie wpływa na zasadowość – powstają 2 mole H⁺/mol N_{NH4}. Stężenie tlenu rozpuszczonego w komorze napowietrzania powinno wynosić nie mniej niż 2 g O₂/m³. Przy spadku stężenia tlenu poniżej 1 g O₂/m³ nitryfikacja przebiega znacznie wolniej, natomiast zwiększenie stężenia tlenu powyżej 2 g O₂/m³ nie daje zwiększenia wydajności procesu. Nadmiar tlenu wiąże się ze wzrostem kosztów eksploatacyjnych, jak również może powodować przenoszenie tlenu do strefy anoksydacyjnej wraz z recyrkulowanymi ściekami i w wyniku pogorszenie procesu denitryfikacji. Jednocześnie stwierdzono, że kilkugodzinne warunki beztlenowe nie wywołują istotnego zmniejszenia aktywności nitryfikantów. Dotyczy to także cyklicznego przebywania nitryfikantów na przemian w warunkach tlenowych i beztlenowych.

Denitryfikacja

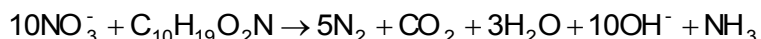
Proces denitryfikacji polega na biochemicznej redukcji utlenionych związków azotu (azotanów, azotynów) do azotu gazowego z jednoczesnym utlenianiem związków organicznych, które są źródłem węgla i energii dla bakterii heterotroficznych, prowadzących proces. Proces denitryfikacji przebiega w kilku etapach:



Azot gazowy jest słabo rozpuszczalny w ściekach, więc jego nadmiar, powstający podczas denitryfikacji, zostaje odpędzony do atmosfery.

W przeciwieństwie do nitryfikacji, dość dużo bakterii jest zdolnych do denitryfikacji. Są to bakterie fakultatywne, które w warunkach tlenowych wykorzystują tlen jako ostateczny akceptor elektronów, a w przypadku braku tlenu posiadają zdolność wykorzystywania azotanów lub azotynów.

Denitryfikację azotanów można przedstawić równaniem:



Warunki umożliwiające skuteczną biologiczną denitryfikację:

- występowanie naprzemiennych warunków anoksydacyjno-tlenowych,
- utrzymywanie w strefie anoksydacyjnej stężenia tlenu poniżej 0,5 g O₂/m³,
- utrzymywanie w strefie tlenowej stężenia tlenu powyżej 1,5 g O₂/m³,
- zapewnienie na dopływie do strefy anoksydacyjnej odpowiedniej ilości łatwo biodegradowalnych związków organicznych,

- zapewnienie mieszania w komorze anoksydacyjnej (mieszanie mechaniczne, a nie sprężonym powietrzem).

PRZEBIEG ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z procesem biologicznego usuwania azotu w układzie z nitrifikacją i denitryfikacją. Realizowany w warunkach laboratoryjnych proces prowadzony jest w reaktorze SBR.

Cykl pracy reaktora:

- faza anoksydacyjna,
- faza tlenowa,
- faza sedymentacji,
- napełnianie, spust, postój,

W ściekach surowych i oczyszczonych oraz w ściekach pobranych z reaktora na przełomie fazy anoksydacyjnej i tlenowej należy oznaczyć:

pH, zasadowość, BZT₅, azot amonowy, azot azotynowy, azot azotanowy.

Ponadto należy oznaczyć:

- stężenie osadu w reaktorze, X, g sm/m³
- objętość osadu po 30 minutach sedymentacji w cylindrze, cm³/dm³

Na podstawie posiadanych informacji należy obliczyć:

- ilość osadu nadmiernego, dm³/d
- indeks osadu IO, cm³/g sm
- wskaźniki i stężenia zanieczyszczeń na początku fazy anoksydacyjnej:

$$C_{AX} = \frac{C_{sc.sur} \cdot V_{sc.sur} + C_{sc.ocz.} \cdot V_m}{V_{sc.sur} + V_m}$$

- obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń O_i, g BZT₅/g sm d,
- stosunek pobranego w fazie anoksydacyjnej BZT₅ do zdenitryfikowanego azotu azotanowego g BZT₅/g N

Na podstawie uzyskanych wyników analiz należy sporządzić wykres zmienności wskaźników i stężeń zanieczyszczeń podczas cyklu pracy reaktora.

Na podstawie uzyskanych wyników należy obliczyć skuteczność usuwania zanieczyszczeń oraz omówić obserwowane przemiany form azotu.

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

pH

zasadowość

azot amonowy

azot azotynowy

azot azotanowy

utlenialność

BZT₅

stężenie zawiesin

FORMULARZ WYNIKÓW ANALIZ

Biologiczne usuwanie azotu

Parametry pracy reaktora:

- ilość cykli w dobie i długość cyklu:cykli/d godz.
- objętość dozowanych ścieków: dm³/cykldm³/d
- objętość martwa reaktora: dm³
- całkowita pojemność reaktora:dm³
- wiek osadu:d

Cykl pracy reaktora:

- faza anoksydacyjna:
- faza tlenowa:
- faza sedimentacji:
- napełnianie, spust, postój:

Oznaczenie odczynu pH

Nazwa próby	Odczyn pH
Ścieki surowe	
Ścieki AX/OX	
Ścieki oczyszczone	

Oznaczenie zasadowości ogólnej

Nazwa próby	Zasadowość M		
	Przebieg miareczkowania	Wartość	
		val/m ³	g CaCO ₃ /m ³
Ścieki surowe-.....=.....		
Ścieki AX/OX-.....=.....		
Ścieki oczyszczone-.....=.....		

Oznaczenie utlenialności

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Nr próbki	Przebieg miareczkowania	Stężenie gO ₂ /m ³
„0”	0	-.....=.....	
Ścieki surowe				
Ścieki AX/OX				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie azotu amonowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Nr próbki	Odczyt wzorca, mgN/100 cm ³	Stężenie, g N/m ³
Ścieki surowe				
Ścieki surowe				
Ścieki AX/OX				
Ścieki AX/OX				
Ścieki oczyszczone				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie azotu azotynowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Nr próbki	Odczyt wzorca, mgN/100 cm ³	Stężenie, g N/m ³
Ścieki surowe				
Ścieki surowe				
Ścieki AX/OX				
Ścieki AX/OX				
Ścieki oczyszczone				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie azotu azotanowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Nr próbki	Odczyt wzorca, mgN/100 cm ³	Stężenie, g N/m ³
Ścieki surowe				
Ścieki surowe				
Ścieki AX/OX				
Ścieki AX/OX				
Ścieki oczyszczone				
Ścieki oczyszczone				

Oznaczenie tlenu rozpuszczonego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Rodzaj oznaczenia	Przebieg miareczkowania	Stężenie g O ₂ /m ³
Woda do rozcieńczeń	0	„Na bieżąco 1”-.....=.....	
		„Na bieżąco 2”-.....=.....	
		„Na bieżąco 3”-.....=.....	
		„Po inkubacji 1”-.....=.....	
		„Po inkubacji 2”-.....=.....	
Ścieki surowe		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
Ścieki AX/OX		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
Ścieki oczyszczone		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	
		„Na bieżąco”-.....=.....	
		„Po inkubacji”-.....=.....	

WYNIKI:

	Rozcieńczenie	BZT₅, g O₂/m³
<i>Ścieki surowe</i>		
<i>Ścieki AX/OX</i>		
<i>Ścieki oczyszczone</i>		

Oznaczenie stężenia osadu

Nazwa próby		Objętość	Masy krystalizatorów, g		
			MO (pusty)	M₁₀₆ (Wysuszony)	Różnica
<i>Reaktor</i>	<i>„całe”</i>	50			
<i>SBR</i>	<i>„przesącz”</i>	50			

Wyniki:

Stężenia g/m³	Sucha pozostałość	Substancje rozpuszczone	Zawiesiny
<i>Reaktor SBR</i>			

Oznaczenie indeksu osadu (indeks Mohlmana)

Osad	Początkowa objętość osadu; cm³	Końcowa objętość osadu (po 30 min); cm³	Wartość IO cm³/g sm
<i>Z reaktora</i>	100		

Inne informacje i uwagi:

Ćwiczenie 12. BADANIA SZYBKOŚCI POBORU TLENU PRZEZ OSAD CZYNNY

Cel ćwiczenia:

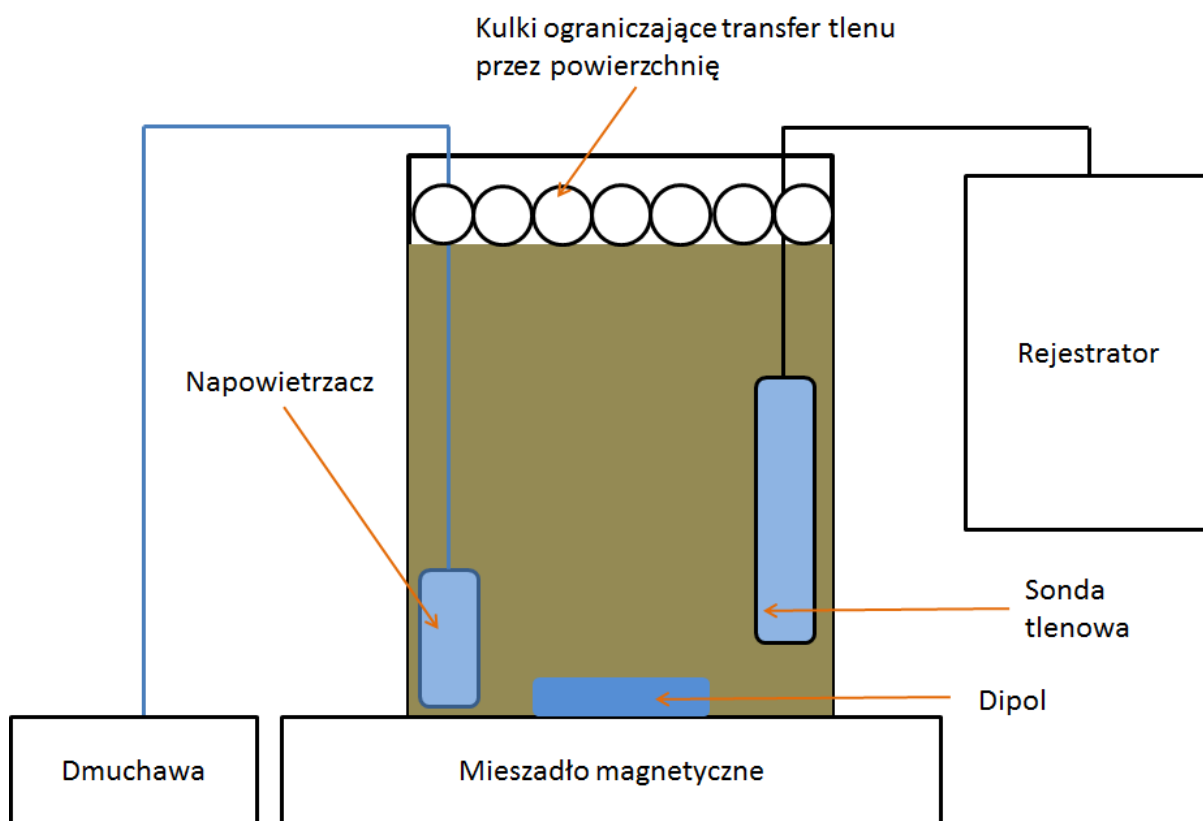
Zbadanie szybkości poboru tlenu przez osad czynny w warunkach endogennych (oddychanie endogenne), przy dostępie azotu amonowego (nityfikacja) oraz dostępie łatwobiodegradowalnego węgla organicznego (utlenianie związków organicznych przez heterotrofy).

Podstawy teoretyczne:

Szybkość poboru tlenu jest jednym z kluczowych parametrów procesu osadu czynnego. Im szybszy pobór tlenu przez osad tym większa szybkość

Stanowisko badawcze:

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1.

Wyposażenie stanowiska:

1. mieszadło magnetyczne z dipolem
2. zlewka na 1 litr osadu czynnego
3. litr osadu czynnego w fazie endogennej
4. kulki ograniczające transfer tlenu
5. napowietrzacz wraz z przewodami
6. dmuchawa napowietrzająca
7. sonda tlenowa

8. statyw do montażu sondy
9. rejestrator stężenia tlenu
10. pendrive do zczytywania danych
11. pipeta do poboru próbek

Przebieg ćwiczenia:

1. zlewkę ustawić na mieszadle magnetycznym i włożyć dipol
2. do zlewki wlać litr osadu czynnego
3. włączyć mieszadło magnetyczne i sprawdzić czy dipol wiruje prawidłowo
4. włączyć napowietrzanie
5. na statywie zamontować sondę tlenową
6. sondę podłączyć pod rejestrator
7. włączyć rejestrator i ustawić datę, godzinę oraz interwał zapisu danych na 1 minutę
8. kontynuować napowietrzanie aż stężenie tlenu przekroczy $6 \text{ gO}_2/\text{m}^3$
9. wyłączyć napowietrzanie na okres 10 minut – pomiar szybkości przez osad w warunkach endogennych
10. włączyć napowietrzanie i czekać aż stężenie tlenu przekroczy $6 \text{ gO}_2/\text{m}^3$
11. wyłączyć napowietrzanie na okres 10 minut – pomiar szybkości przez osad w warunkach endogennych
12. włączyć napowietrzanie i czekać aż stężenie tlenu przekroczy $6 \text{ gO}_2/\text{m}^3$
13. do zlewki dodać 0.064 g octanu sodu
14. minutę po dodaniu octanu sodu pobrać próbkę na BZT₅ rozpuszczone (szacowane stężenie to $50 \text{ g O}_2/\text{m}^3$. Oznaczyć od razu
15. wyłączyć napowietrzanie na okres 10 minut lub do momentu gdy stężenie tlenu spadnie poniżej $2 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ – pomiar szybkości przez heterotrofy
16. włączyć napowietrzanie i czekać aż stężenie tlenu przekroczy $6 \text{ gO}_2/\text{m}^3$
17. od razu po włączeniu napowietrzania pobrać próbkę na BZT₅ rozpuszczone. Oznaczyć od razu
18. wyłączyć napowietrzanie na okres 10 minut lub do momentu gdy stężenie tlenu spadnie poniżej $2 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ – pomiar szybkości przez heterotrofy
19. włączyć napowietrzanie. Czekać 20 minut na wyczerpanie octanu sodu. W tym czasie zgrać dane z sondy tlenowej i obliczyć endogenną szybkość poboru tlenu oraz szybkość poboru tlenu przez heterotrofy.
20. od razu po włączeniu napowietrzania pobrać próbkę na BZT₅ rozpuszczone. Oznaczyć od razu.
21. do zlewki dodać 0.076 g NH₄Cl
22. minutę po dodaniu NH₄Cl pobrać próbkę na azot amonowy (szacowane stężenie to $20 \text{ g N-NH}_4/\text{m}^3$. Oznaczyć od razu
23. wyłączyć napowietrzanie na okres 10 minut lub do momentu gdy stężenie tlenu spadnie poniżej $2 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ – pomiar szybkości przez nitryfikanty
24. włączyć napowietrzanie i czekać aż stężenie tlenu przekroczy $6 \text{ gO}_2/\text{m}^3$
25. od razu po włączeniu napowietrzania pobrać próbkę na azot amonowy. Oznaczyć od razu
26. wyłączyć napowietrzanie na okres 10 minut lub do momentu gdy stężenie tlenu spadnie poniżej $2 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ – pomiar szybkości przez nitryfikanty
27. włączyć napowietrzanie i czekać aż stężenie tlenu przekroczy $6 \text{ gO}_2/\text{m}^3$
28. od razu po włączeniu napowietrzania pobrać próbkę na azot amonowy. Oznaczyć od razu.

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

azot amonowy (met. bezpośr. nessleryzacji)
BZT5 rozpuszczone (met. rozcieńczeń, O₂ met. Winklera)
Stężenie osadu

FORMULARZ WYNIKÓW ANALIZ
Badania szybkości poboru tlenu przez osad czynny

Ćwiczenie 13
Brakujące ćwiczenie z denitryfikacji

Ćwiczenie 14

WYKORZYSTANIE PROCESU KOAGULACJI W SYSTEMACH OCZYSZCZANIA WODY I ŚCIEKÓW

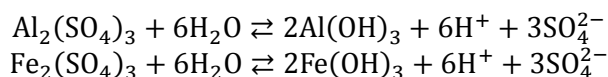
WSTĘP TEORETYCZNY

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 sedimentacji/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:



Koagulacja może podwyższyć efektywność mechanicznego oczyszczania ścieków. Dawkowanie koagulantów przed osadnikiem wstępnym wpływa na poprawę właściwości sedymentacyjnych osadów. Porównanie skuteczności obniżania wybranych wskaźników zanieczyszczenia ścieków miejskich w osadniku wstępnym w procesie klasycznej sedymentacji oraz w sedymentacji wspomaganiej koagulantem przedstawiono w poniższej tabeli.

Zanieczyszczenie/wskaźnik zanieczyszczenia	Sedymentacja klasyczna	Sedymentacja wspomaganą koagulantem
zawiesiny ogólne	60-70%	do 90%
BZT ₅	20-30%	do 75%
azot ogólny	5-10%	do 25%
fosfor ogólny	5-10%	do 90%

CEL ĆWICZENIA:

- zapoznanie się z procesem koagulacji,
- określenie wpływu koagulacji jako jednostkowego procesu na zmianę parametrów oczyszczanej wody i ścieków oraz na przebieg mechanicznego oczyszczania ścieków w procesie sedymentacji,
- ocena wpływu dawki koagulantu na parametry oczyszczanej wody i ścieków.

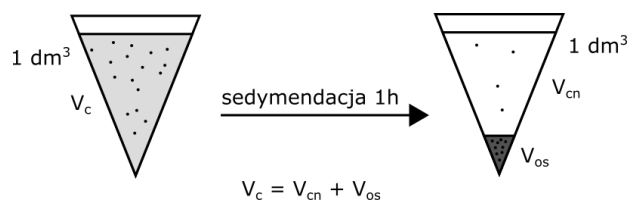
SPOSÓB WYKONANIA ĆWICZENIA

3 zlewki napelnić po 1 dm³ dobrze wymieszanych ścieków komunalnych; kolejne 3 zlewki napelnić po 1 dm³ wody powierzchniowej. Umieścić zlewki na koagulatorze, uruchomić mieszadła (ok. 150 obr/min). Następnie dawkować pipetą do zlewek koagulant glinowy (PAX XL3 o zawartości 5,23% Al, rozcieńczenie 1:50), w dawkach podanych przez prowadzącego (dawki podane będą po przeliczeniu w cm³). Proces szybkiego mieszania realizować przez 2-3 min, następnie zmniejszyć obroty mieszadeł do 20 obr/min; wolne mieszanie prowadzić przez 20 min. Wyłączyć mieszadła.

3 zlewki z wodą pozostawić na 60 min sedymentacji. Następnie z każdej z nich pobrać próbki wody oczyszczonej i wykonać oznaczenia jej jakości. Analizy wykonać także dla wody surowej. Zawartość zlewek ze ściekami przelać do trzech lei Imhoffa, gdzie przez 60 min należy prowadzić obserwację przyrostu objętości zawiesiny w czasie (Rysunek 5). W trakcie obserwacji, notować objętość osadu gromadzącego się w na dnie leja w interwałach czasowych podanych przez prowadzącego.

W celach porównawczych należy także 1 dm³ dobrze wymieszanych ścieków bez dodatku koagulantu przelać do kolejnego leja i prowadzić obserwacje, jak w pozostałych przypadkach. Następnie z każdego leja (także z leja po sedymentacji ścieków bez dodatku koagulantu) pobrać ciecz nadosadową i wykonać oznaczenia jej jakości. Analizy wykonać także dla wymieszanych ścieków surowych.

- w wodzie surowej i oczyszczonej: pH, zasadowość, barwę, mętność, utlenialność,
- w ściekach surowych i oczyszczonych: pH, zasadowość, utlenialność, BZT₅, mętność.



Rysunek 5. Ideowy schemat przebiegu sedymentacji osadów ściekowych w leju Imhoffa

OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Tabele pomiarowe

Przebieg sedymentacji w leju Imhoffa (1 dm³ ścieków):

Czas sedymentacji; min.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	45	60
Objętość osadu, cm ³ ścieki oczyszczone 0															
Objętość osadu, cm ³ ścieki oczyszczone 1															
Objętość osadu, cm ³ ścieki oczyszczone 2															
Objętość osadu, cm ³ ścieki oczyszczone 3															

Analizy ścieków

Nazwa próby	pH	Zasadowość M, mol/m ³	Mętność, NTU	Utlenialność, g O ₂ /m ³	BZT ₅ , g O ₂ /m ³
Ścieki surowe					
Ścieki oczyszczone 0					
Ścieki oczyszczone 1					
Ścieki oczyszczone 2					
Ścieki oczyszczone 3					

Analizy wody

Nazwa próby	pH	Zasadowość M, mol/m ³	Mętność, NTU	Barwa, g Pt/m ³
Woda surowa				
Woda oczyszczona 1				
Woda oczyszczona 2				
Woda oczyszczona 3				

Wiedząc, że w testach stosowano koagulant PAX XL3 o stężeniu glinu 5,23%, gęstości 1222 kg/m³ i rozcieńczeniu 1:50, obliczyć rzeczywiste dawki koagulantu w g Al/m³.

Wyniki analiz oraz obliczone stopnie zmniejszenia barwy, mętności, utlenialności BZT₅ oraz zmianę wartości zestawień tabelarycznie oraz przedstawić na wykresach. Stopnie zmniejszania obliczyć według wzoru:

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

gdzie:

- x_s - wartość wskaźnika zanieczyszczenia wody surowej, ścieków surowych,
- x_o - wartość wskaźnika zanieczyszczenia wody oczyszczonej, ścieków oczyszczonych.

Ponadto, przeanalizować zmiany pH i zasadowości: przedyskutować uzyskane wartości tych wskaźników pod kątem dalszych procesów technologicznych (dla wody pH, dla ścieków – zasadowość).

Obliczyć jednostkowe efekty oczyszczania dla poszczególnych dawek i na tej podstawie wybrać najlepszy wariant procesu. W tym celu należy obliczyć, ile w poszczególnych wariantach 1 g Al obniża (lub podnosi) wartość poszczególnych wskaźników:

- ścieki: zasadowość, utlenialność, BZT₅;
- woda: barwa, mętność, pH.

Obliczenia prowadzić według wzoru:

$$\eta = \frac{\Delta C}{D}$$

gdzie:

- D - dawka koagulantu (g/m³)
- ΔC - zmiana wartości wskaźnika

Sporządzić wykres przyrostu objętości zawiesin opadających (cm³/dm³) w funkcji czasu sedymentacji i ocenić wpływ dawki koagulantu na właściwości sedymentacyjne zawiesin w badanych ściekach.

LITERATURA:

- [1] B. Cywiński i in., Oczyszczanie ścieków miejskich t. II, Arkady, Warszawa 1972
- [2] J. Łomotowski, A. Szpindor, Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków, Arkady, Warszawa 2002
- [3] A.L.Kowal, M.Świdorska-Bróz; Oczyszczanie wody, Wyd. PWN, Warszawa 1996
- [4] B.G.Gomółkowie, Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody, Oficyna Wyd.PWr., Wrocław, 1996
- [5] Oczyszczanie ścieków. Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych. ZWUŚiZO I stopień IV rok, Politechnika Wrocławska
- [6] Oczyszczanie wody i wybrane zagadnienia z oczyszczania wody. Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych. ZWUŚiO III rok, TWS IV rok, Politechnika Wrocławska