



Politechnika Wroclawska

Katedra Technologii Oczyszczania Wody i Ścieków
INSTRUKCJE DO ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH

SYSTEMY OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW

1. SEDYMENTACJA WSTĘPNA – BADANIA W LEJU IMHOFFA – STR 2
2. OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW NA ZŁOŻU BIOLOGICZNYM – STR 8
3. OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW W PROCESIE TLENOWEGO OSADU CYZNEGO Z NITRYFIKACJĄ – STR 14

WROCLAW, 2024

Ćwiczenie 1.

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 statycznych (badania w leju Imhoffa).

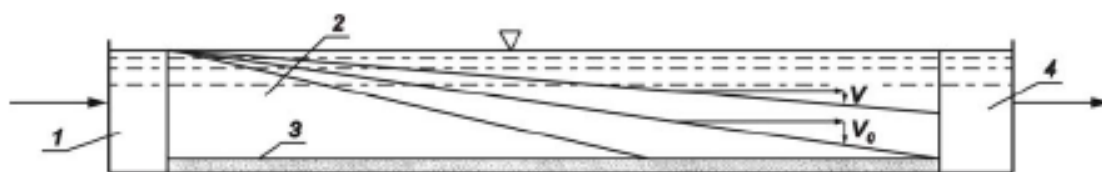
Zanieczyszczenia występujące w ściekach można podzielić na zanieczyszczenia rozpuszczone w wodzie i nierozpuszczone w wodzie (ciała pływające, zawieszony i wleczone). Proces usuwania ze ścieków zanieczyszczeń nierozpuszczonych (zwanymi mechanicznymi) nosi nazwę oczyszczania mechanicznego i stanowi pierwszy 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 zawieszin wyróżniamy następujące rodzaje sedymentacji:

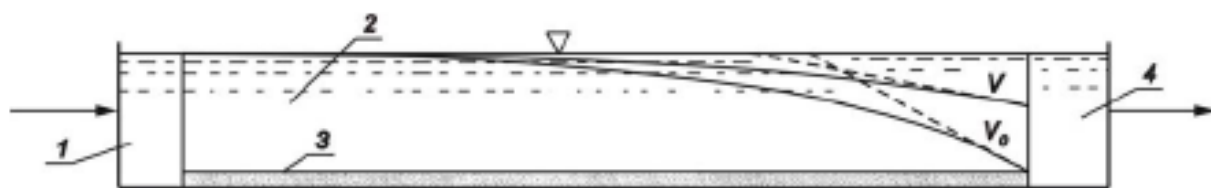
Sedymentacja odrębnych cząstek – dotyczy zawieszin ziarnistych występujących w ściekach o względnie niskich stężeniach zawieszin ($< 100 \text{ g/m}^3$). Większość zawieszin ziarnistych opada ze stałą prędkością jako odrębne cząstki (Rys.1), nie zmieniając przy tym kształtu, wielkości i gęstości. Ten 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 zawieszin ziarnistych (co powinno być stwierdzone doświadczalnie).



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

Rysunek 1. Schemat sedymentacji zawieszin ziarnistych.

Sedymentacja zawieszin kłaczkowatych – zachodzi zazwyczaj w surowych ściekach miejskich i licznych ściekach przemysłowych o stężeniu zawieszin rzędu $500-600 \text{ g/m}^3$. 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 (co będzie przedmiotem ćwiczenia „Sedymentacja zawieszin kłaczkowatych”). Ten rodzaj sedymentacji zachodzi w osadnikach wstępnych i osadnikach wtórnych po złożach biologicznych.



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

Rysunek 1. Schemat sedymencji zawieszin kłaczkowatych osadniku .

Sedymentacja strefowa – zachodzi w ściekach, w których zawartość jednorodnych zawieszin kłaczkowatych przekracza 1000 g/m^3 . Ten typ sedymencji charakteryzuje osad czynny lub pokoagulacyjny. Opadające kłaczkowate łączą się tworząc warstwę o wyraźnej granicy z cieczą sklarowaną. Proces sedymencji strefowej charakteryzuje się strefami: opadania, przejściową i zagęszczania. Strefy te można obserwować podczas sedymencji 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 sedymencji 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 sedymencję 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, wiololejowe), o przepływie pionowym, o przepływie pionowo-poziomym, podłużny wielostrumieniowy, Imhoffa.

Osadniki wymiaruje się na podstawie:

- obciążenia hydraulicznego - gdy zawierają tylko zawiesinę ziarnistą, jest wyraźna przewaga zawiesziny 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 w osadniku wstępnym po oczyszczeniu ścieków z zanieczyszczeń wielkogabarytowych i piasku (na kratkach i sitach oraz w piaskowniku).

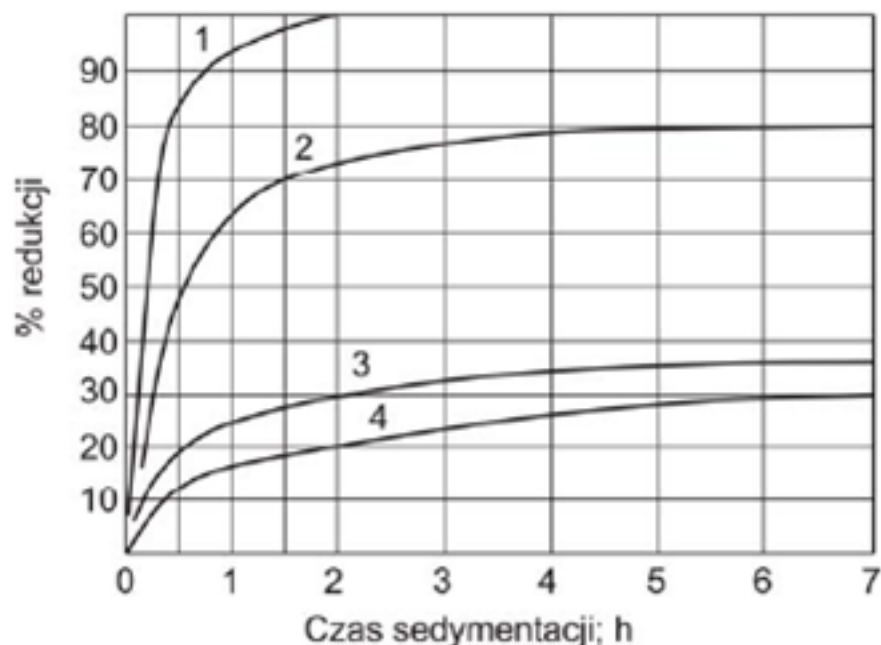
Czas przetrzymania wynosi zazwyczaj od 1,5 do 2h.

W sedymencji wstępnej usuwane są następujące zanieczyszczenia:

- zawiesziny ogólne – 60-70%,
- zawiesziny opadające 90-100%,
- BZT5 – 20-30%,

- utlenialność – 15-20%.

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



Rysunek 2. Krzywe Sierpa (1. zawiesiny opadające, 2. zawiesiny ogólne, 3.BZT, 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 (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 statycznych 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 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, Nog, N-NH₄, Pog.

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 zawartość poszczególnych zanieczyszczeń i wskaźników zanieczyszczeń w tym osadzie (w mg/mg sm). Obliczeń dokonać posługując się równaniem bilansu:

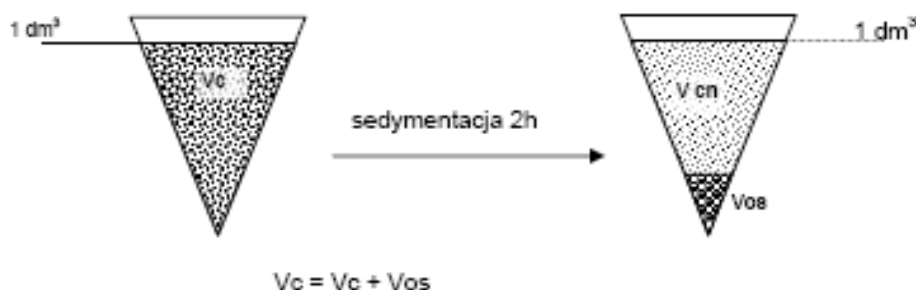
- bilans masy substancji stałych X [mg sm/dm³]:

$$V_o X_o = V_{cn} X_{cn} + V_{os} X_{os};$$

- - bilans masy substancji rozpuszczonych (wskaźników zanieczyszczeń) S_{os} [mg/dm³]

$$V_o S_o = V_{cn} S_{cn} + V_{os} S_{os};$$

(indeksy: 0 – warunki początkowe – przed sedymentacją, cn – ciecz nadosadowa, os – osad).



Rysunek 3. Bilans masy w leju Imhoffa

Przeliczenie ilości zanieczyszczeń przypadającej na jednostkę masy osadu, np. dla NH₄ (przy założeniu, że oznaczenia wykonano w próbach niesączonych):

$$X_{os} = A \text{ mg sm/dm}^3, S_{os} = B \text{ mgN/dm}^3,$$

w 1 dm³ znajduje się A mg sm osadu

w 1 dm³ znajduje się B mg N → **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.

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

pH

zasadowość

azot amonowy

stężenie zawiesin

BZT₅

FORMULARZ WYNIKÓW ANALIZ
Oczyszczanie ścieków w leju Imhoffa

Oznaczenie odczynu

Nazwa próby	pH
Ścieki surowe	
Ścieki oczyszczone	

Oznaczenie zasadowości ogólnej - przesącz

Nazwa próby	Zasadowość M	
	Obj. HCl zużyta na zmiareczkowanie próby, cm ³	Wartość, val/m ³
Ścieki surowe		
Ścieki oczyszczone		

Oznaczenie utlenialności

Nazwa próby	Utlenialność		
	Rozcieńczenie	Obj. KMnO ₄ zużyta na zmiareczkowanie próby, cm ³	Wartość, gO ₂ /m ³
Ścieki surowe			
Ścieki oczyszczone			

Oznaczenie azotu amonowego - przesącz

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Odczyt ze spektrofotometru, gN/m ³	Stężenie, gN/m ³
Ścieki surowe			
Ścieki oczyszczone			

Oznaczenie stężenia zawiesin

Nazwa próby		Nazwa krystalizatora	Masa krystalizatora pustego, g	Masa krystalizatora po wysuszeniu, g
Ścieki surowe	„cale”			
	„przesącz”			
Ścieki oczyszczone	„cale”			
	„przesącz”			

Oznaczenie tlenu rozpuszczonego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Rodzaj oznaczenia	Obj. tiosiarczanu zużyta na zmiareczkowanie próby, cm ³	Stężenie gO ₂ /m ³
Woda do rozcieńczeń	-	„Na bieżąco 1”		
		„Na bieżąco 2”		
		„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 gO ₂ /m ³
<i>Ścieki surowe</i>		
<i>Ścieki oczyszczone</i>		

Oznaczenia podawane przez prowadzącego:

	Ścieki surowe	Ścieki oczyszczone
Azot ogólny, g/m ³		
Fosfor ogólny, g/m ³		

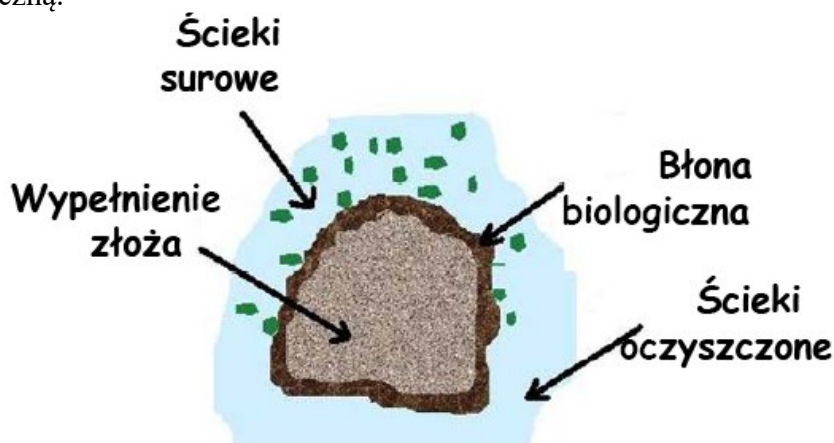
Ćwiczenie 2.

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 w oczyszczaniu ścieków biodegradowalnych (komunalnych i niektórych przemysłowych).

Usuwanie zanieczyszczeń następuje tu w wyniku ich wychwytywania z przepływających ścieków oraz 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 tlenowego oczyszczania. Istnieją jednak także możliwości prowadzenia procesu w warunkach beztlenowych lub anoksycznych, co umożliwia zintegrowane usuwanie związków C, N i P. Najogólniej złoża podzielić można na dwie grupy: ze stałym i z ruchomym wypełnieniem. Spotykane, bardziej szczegółowe podziały i klasyfikacje złożów dotyczą ich parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych.



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



Rysunek 3. Przykład złoża biologicznego z wypełnieniem ruchomym (złożo tarczowe)

Napowietrzanie złoża następuje w sposób naturalny poprzez kontakt ścieków z powietrzem atmosferycznym. Złoża stacjonarne wykorzystują ciąg kominowy spowodowany różnicą temperatur powietrza i ścieków. Napowietrzanie w złożach spełnia podwójną rolę:

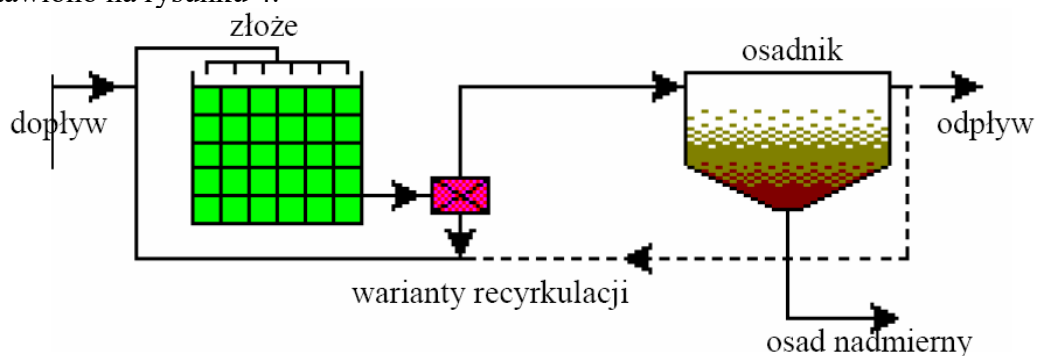
- dostarcza tlen niezbędny do metabolizmu organizmów zasiedlających złożo,
- usuwa CO_2 powstający w procesie mineralizacji substancji organicznych.

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

- uzyskania wymaganego obciążenia hydraulicznego,
- obniżenia stężenia doprowadzanych ścieków,
- osiągnięcia wymaganego stopnia oczyszczenia ścieków,
- odświeżenia ścieków (natlenienie), korekty pH, zaszczepienia ścieków surowych,
- zapewnienia ciągłego usuwania osadów z osadników wtórnych.

Ścieki do recyrkulacji mogą być pobierane z dna osadnika wtórnego, z koryta odprowadzającego ścieki z osadnika wtórnego lub z odpływu ze złoża i są kierowane przed osadnik wstępny lub do odpływu z osadnika wstępnego.

Ćwiczenie realizowane jest na modelowym złożu biologicznym, którego schemat przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. 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 zestawić tabelarycznie i obliczyć stopień obniżenia poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń.

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

- natężenia przepływu ścieków surowych Q_D ; m³/h,
- natężenie przepływu ścieków recyrkulowanych; 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}

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

obciążenie złoża ładunkiem BZT₅ i utlenialności

$$O_Z^{BZT_5} = \frac{Q_D \cdot S_{BZT_5,D}}{V_Z}; gO_2 / (m^3 d)$$

$$O_Z^{utl} = \frac{Q_D \cdot S_{utl,D}}{V_Z}; gO_2 / (m^3 d)$$

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

azot amonowy (met. bezpośr. nessleryzacji)

azot azotynowy (met. kolorymetryczna)

azot azotanowy (met. kolorymetryczna)

BZT₅ (met. rozcieńczeń, O₂ met. Winklera)

Zasadowość, pH

FORMULARZ WYNIKÓW ANALIZ
Oczyszczanie ścieków na złożu biologicznym

Oznaczenie odczynu

Nazwa próby	pH
<i>Ścieki surowe</i>	
<i>Ścieki oczyszczone</i>	

Oznaczenie zasadowości ogólnej

Nazwa próby	Zasadowość M	
	Obj. HCl zużyta na zmiareczkowanie próby, cm ³	Wartość, val/m ³
<i>Ścieki surowe</i>		
<i>Ścieki oczyszczone</i>		

Oznaczenie azotu amonowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Odczyt ze spektrofotometru, gN/m ³	Stężenie, gN/m ³
<i>Ścieki surowe</i>			
<i>Ścieki oczyszczone</i>			

Oznaczenie azotu azotynowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Odczyt ze spektrofotometru, gN/m ³	Stężenie, gN/m ³
<i>Ścieki surowe</i>			
<i>Ścieki oczyszczone</i>			

Oznaczenie azotu azotanowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Odczyt ze spektrofotometru, gN/m ³	Stężenie, gN/m ³
<i>Ścieki surowe</i>			
<i>Ścieki oczyszczone</i>			

Oznaczenie tlenu rozpuszczonego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Rodzaj oznaczenia	Obj. Tiosiarczynu sodu zużyta na zmiareczkowanie próby, cm ³	Stężenie mgO ₂ /dm ³
Woda do rozcieńczeń	-	„Na bieżąco 1”		
		„Na bieżąco 2”		
		„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 gO ₂ /m ³
<i>Ścieki surowe</i>		
<i>Ścieki oczyszczone</i>		

Parametry złoża biologicznego:

Parametr	Wartość
Średnica, m	
Pole powierzchni rzutu złoża, m ²	
Wysokość, m	
Objętość, m ³	
Natężenie dopływu ścieków surowych, cm ³ /min	
Natężenie dopływu ścieków surowych, m ³ /d	
Natężenie dopływu ścieków recykulowanych cm ³ /min	
Natężenie dopływu ścieków recykulowanych m ³ /d	

Parametry osadnika wtórnego:

Parametr	Wartość
Średnica, m	
Pole powierzchni rzutu osadnika, m ²	
Wysokość, m	
Objętość, m ³	

Ćwiczenie 3.

OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW W PROCESIE TLEWEGO 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, naśladownictwem 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 azoty do azotanów, tzw. proces nitrifikacji.

Mechanizm procesu biologicznego oczyszczania polega na:

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

Związki organiczne + tlen + substancje 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 recyrkulacji osadu
- właściwej eksploatacji całego układu.

Do podstawowych parametrów technologicznych osadu czynnego należą:

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

$$X = X_B + X_I + X_{MIN}$$

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**

Jest to najważniejszy parametr decydujący o efektach pracy osadu czynnego.

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

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

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

$$\Delta X = Q_N \cdot X_R + (Q_D - Q_N) X_O; gSM / d$$

gdzie:

Q_N – natężenie przepływu osadu nadmiernego; m³/d

X_R – stężenie osadu recyrkulowanego (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 może wynosić od 1 do 100 d (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 (Mohlmann) IO**

Charakteryzuje zdolność zawiesin osadu czynnego do sedymentacji w osadniku

wtórny. Jest to stosunek objętości osadu czynnego po 30 minutach zagęszczania w cylindrze 1dm³ do stężenia osadu w cylindrze przed zagęszczaniem

$$IO = \frac{V_{OS}}{V \cdot X}; cm^3 / gSM$$

gdzie:

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

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

V – objętość osadu na początku; cm^3

Im mniejsza wartość indeksu osadu, tym korzystniejsze są jego właściwości sedymentacyjne. Dobre właściwości sedymentacyjne ma osad o IO w granicach 50-100 $\text{cm}^3/\text{g SM}$. 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 BZT₅) doprowadzanych do komory osadu czynnego w jednostce czasu na jednostkę masy osadu w komorze:

$$O_l = \frac{Q_D \cdot S_{BZT_5}}{M_X} = \frac{L_{BZT_5}}{M_X} = \frac{L_{BZT_5}}{WO \cdot \Delta X}; \text{gBZT}_5 / \text{gSM} / d$$

gdzie:

S_{BZT_5} – stężenie zanieczyszczeń organicznych w ściekach doprowadzanych do komory; $\text{g BZT}_5/\text{m}^3$

L_{BZT_5} – ładunek zanieczyszczeń w ściekach; $\text{g BZT}_5/d$

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

Dla osadu niskoobciążonego $O_l = 0,2 - 0,6 \text{ g BZT}_5/\text{g SM}/d$.

Dla osadu wysokoobciążonego

– układ wysokosprawny: $O_l = 0,4 - 1,5 \text{ g BZT}_5 / \text{g SM}/d$

– częściowego oczyszczania: $O_l = 1,5 - 5,0 \text{ g BZT}_5 / \text{g SM}/d$

• **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. Obliczać go można z zależności natężenia przepływu i objętości komór osadu czynnego.

$$T = \frac{V}{Q_D}$$

• **obciążenie objętości komory ładunkiem zanieczyszczeń O_k**

Określa ilość zanieczyszczeń doprowadzanych do komory osadu czynnego w jednostce czasu w przeliczeniu na 1 dm^3 objętości komory.

$$O_k = \frac{Q_D \cdot S_{BZT_5}}{V} = \frac{L_{BZT_5}}{V}; \text{gBZT}_5 / \text{m}^3 \cdot d$$

gdzie:

S_{BZT_5} – stężenie zanieczyszczeń organicznych w ściekach doprowadzanych do komory; $\text{g BZT}_5/\text{m}^3$

L_{BZT_5} – ładunek zanieczyszczeń w ściekach; $\text{g BZT}_5/d$

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 ($V = WO \cdot \Delta X / X$).

$$O_k = \frac{L_{BZT_5}}{WO \cdot \Delta X} X; \text{gBZT}_5 / \text{m}^3 \cdot d$$

$$O_k = O_l \cdot X; \text{gBZT}_5 / \text{m}^3 \cdot d$$

• **stopień recyrkulacji osadu α**

Stopień recyrkulacji osadu α określa wielkość strumienia osadu powrotnego z osadnika wtórnego QR do dopływu ścieków surowych do bloku biologicznego QD .

$$\alpha = \frac{Q_R}{Q_D}$$

W celu zachowania równowagi pomiędzy podażą substratów 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:

$$\frac{Q_R}{Q_D} = \frac{V}{1000 - V_S}$$

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:

$$Q_R = \frac{X \cdot Q_D - X_R \cdot Q_N}{X_R - X}; \text{m}^3 / d$$

gdzie:

X_R - stężenie biomasy w osadzie recyrkulowanym; $\text{g SM}/\text{m}^3$,

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. Jest on 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 $\text{g O}_2/\text{m}^3$.

$$Z_{O_2} = Z_{O_2}^C + Z_{O_2}^{nit}; gO_2 / d(kgO_2 / d)$$

gdzie:

$Z_{O_2}^C$ - zużycie tlenu na utlenianie związków organicznych w KOCz; $g O_2/m^3$,

$Z_{O_2}^{nit}$ - zużycie tlenu na nityfikację azotu amonowego w KOCz (gdy z uwagi na przyjęty wiek osadu nityfikacja ma miejsce); $g O_2/m^3$,

Jeżeli podstawą bilansu masy jest BZT to:

$$Z_{O_2}^C = 1,47 \cdot Q_D (S_{BZT_5} - S_{BZT_5,O}^S) - 1,42 \cdot \Delta X_{org}; gO_2 / m^3$$

gdzie:

$S_{BZT_5,D}$ - BZT₅ w dopływie do KOCz; $g BZT_5/m^3$,

$S_{BZT_5,O}^S$ - BZT₅ w próbie sączonej z odpływu z osadnika wtórnego; $g BZT_5/m^3$,

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

Jeżeli podstawą bilansu masy jest ChZT to:

$$Z_{O_2}^C = Q_D (S_{ChZT,D} - S_{ChZT,O}^S) - \Delta X_{org}; gO_2 / m^3$$

gdzie:

ΔX_{org} wyrażone jest w $g ChZT/d$

Zużycie tlenu w procesie nityfikacji wynosi:

$$Z_{O_2}^{nit} = 4,6 \cdot Q_D \cdot S_{N-NO_3^-,O}$$

gdzie:

$S_{NO_3^-,O}$ - Stężenie azotu azotanowego w odpływie

• 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:

$$BZT_5 : N : P = 100 : 5 : 1$$

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

$$Z_N = 0,123 \cdot \Delta X + 1,0 \cdot O_D; gN / d$$

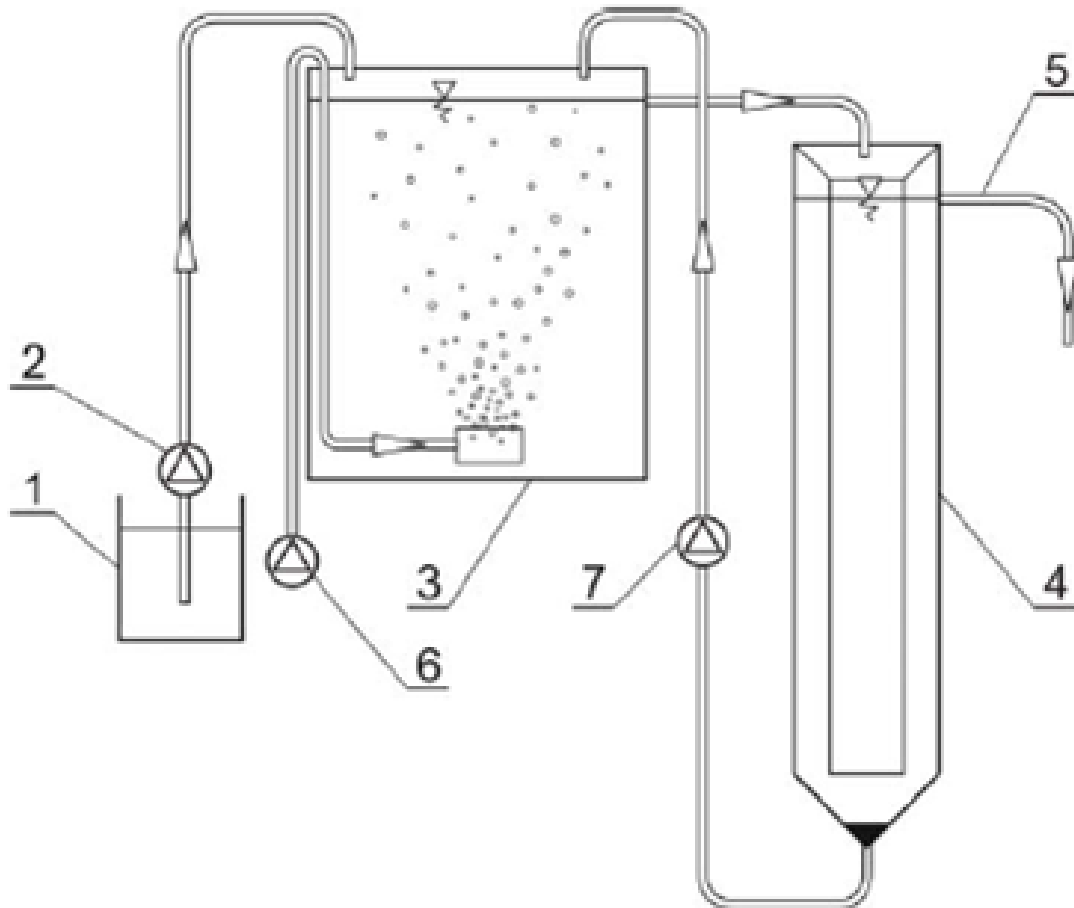
$$Z_P = 0,026 \cdot \Delta X + 0,05 \cdot O_D; gP / d$$

Współczynniki 1,0 i 0,05 są wyrażone w g/m^3 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. ($V_1 \approx 2V_2$). Układ pierwszy podlega szczegółowej analizie. W drugim układzie badane jest tylko stężenie osadu (decyzja prowadzącego).



Rysunek 4. Schemat układu laboratoryjnego (1. zbiornik ścieków surowych, 2. pompa dawkująca ścieki, 3. komora napowietrzania, 4. osadnik wtórny, 5. odpływ ścieków oczyszczonych, 6. dmuchawa, 7. pompa recyrkulacji)

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_t ; $g\ BZT_5/g\ SM/d$,
- obciążenie objętości KOCz ładunkiem zanieczyszczeń O_k ; $BZT_5/m^3/d$,
- obciążenie hydrauliczne objętości KOCz O_{hk} ; $m^3/m^3/d$,
- czas przetrzymania ścieków w KOCz T ; h .

W celu obliczenia parametrów pracy osadnika wtórnego należy wyznaczyć objętość osadnika wtórnego (V_o ; m^3) i powierzchnię rzutu pionowego osadnika (F_o ; m^2) (należy zwrócić uwagę na specyfikę osadnika wtórnego).

Na tej podstawie można obliczyć:

- obciążenie hydrauliczne powierzchni osadnika wtórnego O_{ho} ($=Q_D/F_o$); $m^3/m^2/d$
- 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:

$$S_{ChZT,D} \cdot Q_D - S_{ChZT,O} \cdot Q_O - S_{ChZT,N} \cdot Q_N = Z_{O_2}^C; gO_2 / d$$

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

$$Z_{O_2} = Z_{O_2}^C + Z_{O_2}^{nit}; gO_2 / d (kgO_2 / d)$$

$$Z_{O_2}^C = S_{ChZT,D} \cdot Q_D - S_{ChZT,N} \cdot Q_N; gO_2 / d$$

$$Z_{O_2}^{nit} = 4,6 \cdot Q_O \cdot S_{N-NO_3^-,O}; gO_2 / d$$

UWAGA: w obliczeniach można przyjąć $Q_D=Q_O$.

OZNACZENIA WYKONYWANE NA ĆWICZENIACH

azot amonowy (met. bezpośr. nessleryzacji)

azot azotynowy (met. kolorymetryczna)

azot azotanowy (met. kolorymetryczna)

BZT5 (met. rozcieńczeń, O_2 met. Winklera)

zasadowość

pH

indeks osadu

stężenie osadu (sucha pozostałość, subst. rozpuszczone)

oznaczenia podane na zajęciach: ChZT , Pog, Norg, ChZTosadu, utlenialność.

FORMULARZ WYNIKÓW ANALIZ**Oczyszczanie ścieków w procesie tlenowego osadu czynnego z nityfikacją****Oznaczenie odczynu**

Nazwa próby	pH
Ścieki surowe	
Ścieki oczyszczone	

Oznaczenie zasadowości ogólnej

Nazwa próby	Zasadowość M	
	Obj. HCl zużyta na zmiareczkowanie próby, cm ³	Wartość, val/m ³
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 s.m.
osad czynny	100		

Oznaczenie azotu amonowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Odczyt ze spektrofotometru, gN/m ³	Stężenie, gN/m ³
Ścieki surowe			
Ścieki oczyszczone			

Oznaczenie azotu azotanowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Odczyt ze spektrofotometru, gN/m ³	Stężenie, gN/m ³
Ścieki surowe			
Ścieki oczyszczone			

Oznaczenie azotu azotanowego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Odczyt ze spektrofotometru, gN/m ³	Stężenie, gN/m ³
Ścieki surowe			
Ścieki oczyszczone			

Oznaczenie stężenia zawiesin

Nazwa próby		Nazwa	Objętość	Masy katalizatorów g		
				Mo (pusty)	M ₁₀₆ (Wysuszony)	Różnica
Osad czynny	„całe”		50			
	„przesącz”		50			

Wyniki:

Stężenia g/m ³	Sucha pozostałość	Substancje rozpuszczone	Zawiesina
Osad czynny			

Oznaczenie tlenu rozpuszczonego

Nazwa próby	Rozcieńczenie	Rodzaj oznaczenia	Obj. Tiosarczanu sodu zużyta na zmiareczkowanie próby, cm ³	Stężenie gO ₂ /m ³
Woda do rozcieńczeń	0	„Na bieżąco 1”		
		„Na bieżąco 2”		
		„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 gO ₂ /m ³
Ścieki surowe		
Ścieki oczyszczone		

Oznaczenia podawane przez prowadzącego:

	Ścieki surowe	Ścieki oczyszczone
Utlenialność, gO ₂ /m ³		
ChZT, gO ₂ /m ³	BZT ₅ /0,58	BZT ₅ /0,58
Azot organiczny Norg.; gN/m ³		
Fosfor ogólny Pog.; gP/m ³		

ChZT_{osadu} ,gChZT/m³ = 0,7 · 1,42 · Stężenie zawiesin

Data:

Podpis prowadzącego:.....