

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA

Dariusz Boruszko

**PRZERÓBKA I UNIESZKODLIWIANIE
OSADÓW ŚCIEKOWYCH**

Ćwiczenia laboratoryjne

BIAŁYSTOK 2001

DZIAŁ WYDAWNICTW I POLIGRAFII

292. 21ch

wydawnictwo dydaktyczne
Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Recenzent

prof. dr hab. inż. January Bień

Opracowanie redakcyjne – Jadwiga Żukowska
Skład komputerowy – Teresa Dawidowicz
Rysunki – Autor i Joanna Ziółkowska
Korekta – Autor

ISBN 83-88229-19-2

Spis treści

	Strona
1. Podstawowe wiadomości o osadach ściekowych i sposobach ich przeróbki i unieszkodliwiania	5
1.1. Miejsce powstawania osadów ściekowych	5
1.2. Charakterystyka osadów	6
1.3. Cel i zakres badania osadów ściekowych	8
1.4. Pobieranie próbek osadów ściekowych	10
1.5. Jednostkowe procesy przeróbki osadów	10
2. Procesy technologiczne stosowane przy przeróbce i unieszkodliwianiu osadów ściekowych – ćwiczenia laboratoryjne	13
2.1. Kondycjonowanie osadów	13
2.2. Zagęszczanie osadów	18
2.2.1. Grawitacyjne zagęszczanie osadu	18
2.3. Odwadnianie osadów	23
2.3.1. Odwadnianie osadu na modelu poletka osadowego	23
2.3.2. Odwadnianie osadu na filtrze próżniowym	27
2.3.3. Odwadnianie osadu w wirówce sedymentacyjnej	31
2.3.4. Odwadnianie osadu na wirówce filtracyjnej	36
2.3.5. Filtracja ciśnieniowa osadu	39
2.3.6. Test odwadnialności osadu na sączku	44
2.4. Stabilizacja osadów	46
2.4.1. Beztlenowa stabilizacja osadu	46
2.4.2. Tlenowa stabilizacja osadu	51
2.4.3. Analiza chemiczna gazu pofermentacyjnego	56
2.5. Suszenie termiczne osadów	59
2.6. Higienizacja wapnem	62
Wzór sprawozdania z zajęć laboratoryjnych	66
Bezpieczeństwo i higiena pracy w laboratorium	67
Bibliografia	70

1. Podstawowe wiadomości o osadach ściekowych i sposobach ich przeróbki i unieszkodliwiania

Osady ściekowe są naturalnym produktem oczyszczania ścieków. Ilość generowanych osadów wynosi około 1–3% objętości przepływających ścieków, lecz nakłady ponoszone na ich przetwarzanie wynoszą około 50% kosztów całej oczyszczalni. Zagadnienia właściwej przeróbki powstających osadów ściekowych są niezwykle ważne, szczególnie w kontekście ich końcowego zagospodarowania i unieszkodliwienia. Przeróbka osadów pochodzących ze źle pracujących oczyszczalni jest bardzo trudna i często nie przynosi pożądanych rezultatów.

1.1. Miejsce powstawania osadów ściekowych

Budowane obecnie oczyszczalnie, w których stosuje się wysokoefektywne metody biologicznego oczyszczania ścieków i w których bardzo często usuwanie związków biogennych wspomaga się dodatkowo metodami chemicznymi, gromadzą bardzo duże ilości osadów ściekowych. Technologie stosowane w latach wcześniejszych wykorzystywały przeważnie procesy mechanicznego oczyszczania ścieków, w związku z tym ilości zatrzymywanych osadów były dużo mniejsze.

Gwałtowny wzrost ilości gromadzonych na terenach oczyszczalni osadów oraz brak właściwych rozwiązań gospodarki osadowej stwarza trudności w zagospodarowaniu tych osadów.

Do typowych odpadów powstających podczas oczyszczania ścieków miejskich i przemysłowych należą:

- skratki – powstające podczas cedzenia na kratach i sitach,
- piasek – usuwany w urządzeniu zwanym piaskownikiem,
- osady z osadników wstępnych w postaci łatwo opadających zawiesin wraz z częściami pływającymi,
- tłuszcze występujące w postaci kożucha, usuwane w odtłuszczaczach,

- osady związane z biologicznym oczyszczaniem w postaci kawałków błony biologicznej lub nadmiernego osadu czynnego,
- osady związane z prowadzeniem procesu strącania chemicznego [1].

W wielu oczyszczalniach ścieków miejskich oraz przemysłowych osady powstają głównie w procesach oczyszczania mechanicznego i biologicznego oraz w procesach wytrącania chemicznego (osady pokoagulacyjne, osady powstałe w procesach wytrącania chemicznego, krystalizacji i procesów elektrochemicznych).

Okolo 400 tysięcy ton suchej masy osadów produkowanych rokrocznie w polskich oczyszczalniach nie znikają. Osady ściekowe powinny być, w miarę możliwości, przetwarzane i wtórnie wykorzystywane. Powstające w procesie oczyszczania osady wymagają przeróbki, która pozwalałaby uzyskać stabilne i bezpieczne produkty.

1.2. Charakterystyka osadów

Osady ściekowe powstające w oczyszczalni w trakcie oczyszczania ścieków mogą być charakteryzowane ilościowo poprzez:

- określenie masy wydzielanego osadu w kilogramach suchej masy na dobę,
- określenie objętości wydzielanego osadu w metrach sześciennych na dobę,
- procent natężenia dopływu ścieków.

Charakteryzowanie ilości osadu przez określenie jego objętości jest mniej jednoznaczne niż przez podawanie suchej masy. Wynika to stąd, że objętość wydzielonego osadu zależna jest od masy osadu oraz jego uwodnienia, tj. zawartości wody w osadzie. Uwodnienie odprowadzanego osadu może być bardzo różne. Stąd też, aby oszacować objętość osadu, należy znać jego uwodnienie.

Tabela 1.

Charakterystyka osadów ściekowych

Rodzaj osadu	Uwodnienie [%]	Zawartość suchej masy [%]	Zawartość związków organicznych w suchej masie [% smo]	Stężenie osadu [g/m ³]
Surowy wstępny	95 – 98	2 – 5	60	60 000
Nadmierny – czynny	98,5	1,5	70	15 000
Zmieszany – przefermentowany	88 – 93	7 – 12	40	80 000
Po strącaniu glinem	60	40	–	20 000
Po strącaniu wapnem	82	18	–	200 000

Źródło: Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków ... [1]

Surowe osady organiczne wydzielane w oczyszczalniach są niebezpieczne pod względem sanitarnym, gdyż zawierają, między innymi: bakterie chorobotwórcze, grzyby, wirusy oraz pasożyty. Drobnoustroje te wydalone są z organizmów ludzi i zwierząt i wraz ze ściekami dostają się do oczyszczalni. Ich liczba w powstających w oczyszczalniach osadach uzależniona jest również od zastosowanej technologii oczyszczania ścieków. Drugim elementem wpływającym na liczebność drobnoustrojów jest zastosowany proces przeróbki osadów ściekowych. Najczęściej w oczyszczalniach ścieków wykorzystywana jest przeróbka osadów, obejmująca takie procesy jak: zagęszczanie, odwadnianie mechaniczne, biochemiczne procesy stabilizacyjne, suszenie, pasteryzacja, dezynfekcja. Zasadniczym celem tych procesów jest ograniczenie uciążliwości i szkodliwości powstających w oczyszczalniach osadów ściekowych. W czasie stabilizacji osadów dochodzi do zmiany w zawartości cieczy (wody), bowiem następuje hydroliza i rozkład ciał stałych, zmiany w zawartości i własnościach ciał stałych (cząstek osadu) oraz zmiany w ilości rozpuszczonych gazów.

Na charakter i ilość generowanych w oczyszczalniach osadów ma wpływ już projektant. Przede wszystkim zależy to jednak od eksploatatora oczyszczalni. Charakter osadów na etapie eksploatacji oczyszczalni warunkuje również właściwa współpraca z zakładami przemysłowymi (użytkownikami kanalizacji). Powinna ona doprowadzić do zmniejszenia ilości metali ciężkich, istotnie wpływających na sposób ostatecznego unieszkodliwienia osadów ściekowych [2].

Tabela 2.

Stan skupienia osadu w funkcji jego uwodnienia

Zawartość wody w osadzie [%]	Stan skupienia osadu	Postać wody	Proces przeróbki
100 – 96 96 – 92 92 – 88	bardzo ciekły ciekły trudno płynący	woda wolna, grawitacyjna, międzycząsteczkowa	zagęszczanie
88 – 80 80 – 70 70 – 60 60 – 50	papkowaty ciastowaty mokrej ziemi wilgotnej ziemi	woda fizycznie i chemicznie związana, woda kapilarna	odwadnianie
50 – 30 30 – 0	suchej ziemi pylasty	woda adsorpcyjna, higroskopijna, woda biologicznie związana	suszenie, spalanie, zgazowanie

Źródło: Laboratoryjne badania wody ścieków i osadów ... [3].

1.3. Cel i zakres badania osadów ściekowych

Skład fizyczno-chemiczny osadów jest bardzo ważny dla wyboru sposobu i oceny prawidłowości przebiegu stabilizacji, jak też i oceny możliwości jego ostatecznego unieszkodliwiania. Skład chemiczny osadów zależy od rodzaju i ilości zanieczyszczeń usuwanych ze ścieków.

Zakres analiz fizyczno-chemicznych osadów zależy od celu i potrzeb użytkownika.

Zazwyczaj wykonuje się oznaczenia fizyczne, takie jak:

- temperatura,
- barwa,
- konsystencja,
- uwodnienie,
- sucha masa,
- sucha masa organiczna.

Najczęściej wykonywane oznaczenia chemiczne to:

- odczyn,
- zawartość N, P, K,
- węgiel organiczny lub ChZT,
- zawartość metali ciężkich oraz ich sumy,
- związki specjalne, np. ropopochodne, AOX,
- kwasy lotne.

Ponadto wykonuje się badania sanitarne w zakresie określenia:

- zawartości bakterii chorobotwórczych,
- zawartości bakterii Salmonella,
- liczby pasożytów i liczby jaj pasożytów.

Zgodnie z rozporządzeniem MOŚ, ZNiL z dnia 11 sierpnia 1999 roku (Dz. U. Nr 72 poz. 813), określającym warunki jakie powinny spełniać osady ściekowe przeznaczone do wykorzystania nieprzemysłowego, badania osadów obejmują oznaczenie [4]:

- odczynu pH,
- zawartości suchej masy – w %,
- zawartości substancji organicznej – w % suchej masy,
- zawartości azotu ogólnego, w tym azotu amonowego – w % suchej masy,
- zawartości fosforu ogólnego – w % suchej masy,
- zawartości wapnia i magnezu – w % suchej masy,
- zawartości metali ciężkich: ołowiu, kadmu, chromu, miedzi, niklu, rtęci i cynku w reprezentatywnej próbce osadu ściekowego, metodą spektrometrii absorpcji atomowej po mineralizacji mocnymi kwasami – w mg/kg suchej masy,

- obecności bakterii chorobotwórczych z rodzaju Salmonella, które wykrywa się prowadząc hodowlę na podłożach namnażających i różnicująco-selektywnych oraz potwierdzając wyniki badaniem biochemicznym,
- liczby żywych jaj pasożytów jelitowych Ascaris, Trichuris, Toxocara w kg suchej masy, które określa się izolując je z reprezentatywnej próbki osadu przez wstrząsanie lub mieszanie, płukanie z zastosowaniem wirowania oraz flotację, a następnie wykonując badanie mikroskopowe.

Powyższe badania osadów ściekowych przeprowadza się z częstotliwością zależną od obciążenia oczyszczalni, wyrażonego liczbą równoważnych mieszkańców (LRM – liczba wyrażająca krotność dobowego obciążenia oczyszczalni ścieków substancjami pochodzącymi od jednego mieszkańca):

- raz na dwanaście miesięcy – przy LRM do 5 000,
- raz na sześć miesięcy – przy LRM powyżej 5 000 do 10 000,
- raz na cztery miesiące – przy LRM powyżej 10 000 do 100 000,
- raz na dwa miesiące – przy LRM ponad 100 000.

Badaniom podlegają również grunty, na których mają być stosowane osady ściekowe. Ich zakres obejmuje badania:

- odczynu pH,
- zawartości metali ciężkich: ołowiu, kadmu, chromu, miedzi, niklu, rtęci i cynku w reprezentatywnej próbce gruntu metodą spektrometrii absorpcji atomowej po mineralizacji mocnymi kwasami – w mg/kg suchej masy,
- zawartości fosforu przyswajalnego w przeliczeniu na P₂O₅ (pięciotlenek fosforu), jeżeli osad będzie stosowany w rolnictwie – w % suchej masy.

Badania gruntów, na których osady ściekowe są stosowane w rolnictwie, wykonuje się co 5 lat.

Skład fizyczno-chemiczny osadów ściekowych zależy od rodzaju i ilości ścieków wprowadzanych do kanalizacji oraz od metod ich oczyszczania. W ostatnich latach maleje np. zawartość metali ciężkich w osadach, które muszą być usuwane ze ścieków przemysłowych przed ich wprowadzeniem do kanalizacji miejskiej. Skład chemiczny osadów jest zmienny w bardzo szerokim zakresie, zarówno w poszczególnych oczyszczalniach, jak i też w czasie eksploatacji.

Własności technologiczne decydują o podatności osadów do stabilizacji lub ostatecznego unieszkodliwiania. Do własności technologicznych osadu należy:

- charakterystyka postaci wody występującej w osadzie,
- opór właściwy osadu na odwadnianie,
- ciepło spalania i wartość opałowa,
- lepkość i charakterystyka płynięcia osadu.

1.4. Pobieranie próbek osadów ściekowych

Zasadniczą i pierwszą czynnością w badaniach osadów jest pobranie odpowiedniej próby, będącej przedmiotem badań. Jest to czynność niezwykle ważna, gdyż od właściwego poboru zależy wynik i sens przeprowadzanych badań. Najważniejszą zasadą jest zachowanie reprezentatywności próby, tzn. całkowitej zgodności składu i własności próbki osadu ze składem i własnościami partii osadu, z którego ta próbka została pobrana. Jest to możliwe do osiągnięcia przez właściwe ustalenie miejsca i sposobu poboru próbek oraz sposobu przygotowania próbki laboratoryjnej, a także właściwe pobieranie, przechowywanie i transport.

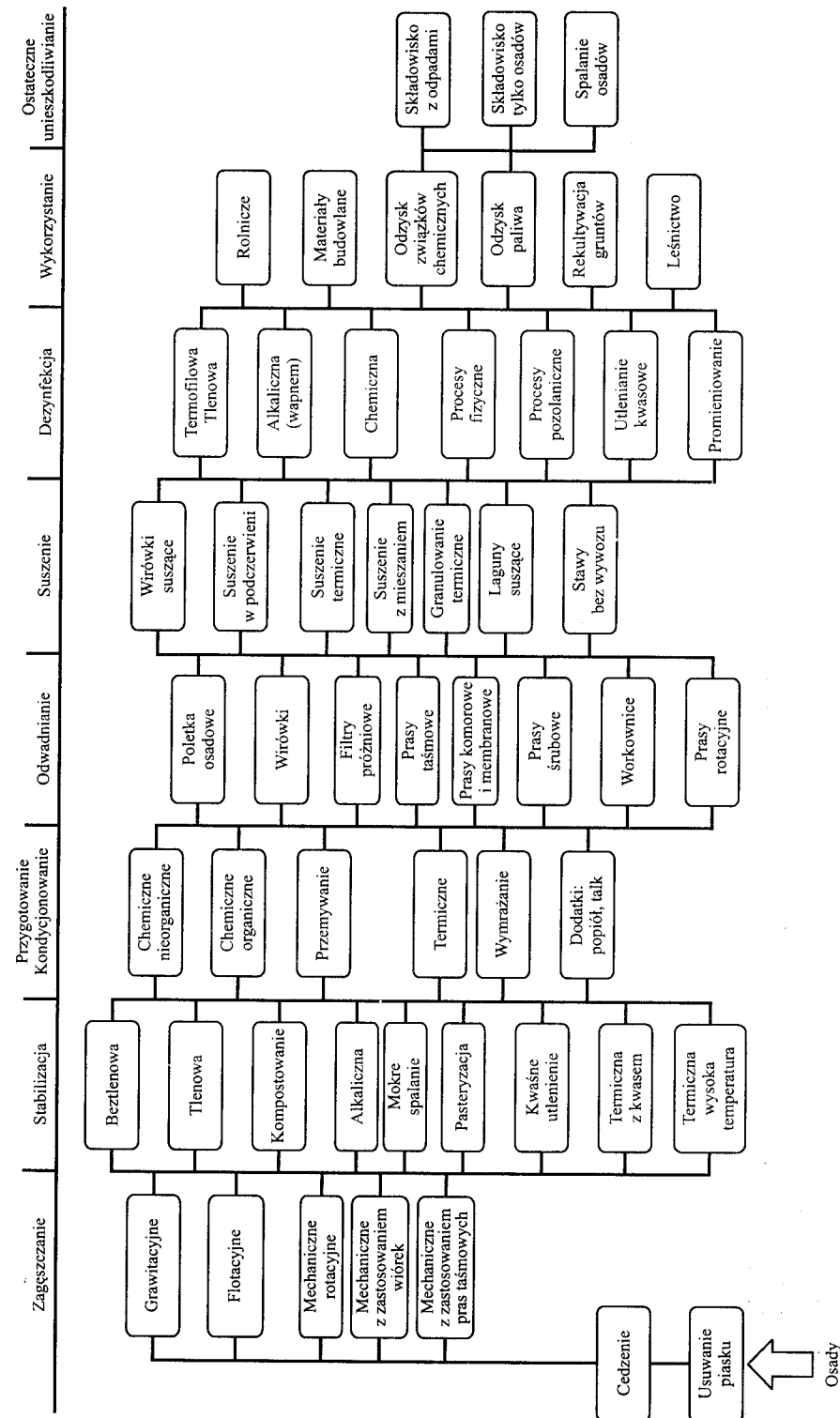
Reprezentatywną próbkę osadu ściekowego do badań uzyskuje się przez połączenie i dokładne zmieszanie próbek pobranych w tym samym czasie z różnych miejsc określonej partii osadu ściekowego. Liczba próbek powinna wynosić co najmniej [4]:

- 10 – przy objętości partii osadu ściekowego do 50 m³,
- 15 – przy objętości partii osadu ściekowego powyżej 50 m³ do 100 m³,
- 30 – przy objętości partii osadu ściekowego powyżej 100 m³.

Reprezentatywną próbkę gruntu uzyskuje się przez zmieszanie 25 próbek pobranych w punktach regularnie rozmieszczonych na powierzchni nie przekraczającej 5 ha, jednorodnej budowie i jednakowym użytkowaniu. Próbki pobiera się z głębokości od 0 do 20 cm. Próbki osadów przeznaczone do analiz i badań technologicznych powinny być poddane analizie i badaniom możliwie jak najszybciej po pobraniu (najdalej po 24 godzinach przy przechowywaniu w temperaturze 4°C), szczególnie w przypadku osadów o charakterze organicznym.

1.5. Jednostkowe procesy przeróbki osadów

Do jednostkowych procesów przeróbki osadów ściekowych zaliczyć można: zagęszczanie, stabilizację, kondycjonowanie, odwadnianie, higienizację, suszenie. Jednak nie w każdej oczyszczalni wszystkie te operacje muszą mieć miejsce. Liczba i rodzaj jednostkowych procesów technologicznych przeróbki osadów zależy nie tylko od charakteru i ilości przetwarzanego osadu, ale przede wszystkim od sposobu ostatecznego zagospodarowania osadu. Ważnym czynnikiem jest równoczesne rozważenie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych.



Rys. 1. Schemat ogólny gospodarki osadowej
Źródło: Gospodarka osadami ściekowymi ... [2]

Niektóre operacje jednostkowe mogą być łączone np.: odwadnianie na poletku połączone z suszeniem, stabilizacja z jednoczesną higienizacją, odwadnianie z higienizacją wapnem. Istnieją też procesy wielofunkcyjne. Kompostowanie na przykład zapewni stabilizację; równocześnie w temperaturze powyżej 55°C zajdzie higienizacja i suszenie. Liczba możliwych procesów jednostkowych jest bardzo duża i stale rośnie. Żeby przeróbka osadów, przed ich końcowym wykorzystaniem, była właściwa, niezbędne są cztery podstawowe procesy:

- zagęszczanie,
- stabilizacja,
- higienizacja,
- odwadnianie.

Na rysunku 1 przedstawiono jednostkowe procesy przeróbki osadów ściekowych stosowane w praktyce eksploatacyjnej.

2. Procesy technologiczne stosowane przy przeróbce i unieszkodliwianiu osadów ściekowych – ćwiczenia laboratoryjne

2.1. Kondycjonowanie osadów

Wprowadzenie

Kondycjonowanie ma na celu poprawę zdolności osadu do zagęszczania i odwadniania oraz ogólne obniżenie kosztów przeróbki osadów. Najczęściej stosuje się je przed mechanicznym odwadnianiem, a rzadziej przed procesami zagęszczania grawitacyjnego. Polegać ono może na przygotowaniu:

- chemicznym, np. polimerami,
- fizycznym, np. ultradźwiękami,
- termicznym, np. termokondycjonowanie,
- przemywaniu,
- wymrażaniu,
- zastosowaniu dodatków, np. popiołu, talku.

Najczęściej stosowane jest chemiczne kondycjonowanie osadów przez dodanie polimerów lub koagulantów poprawiających właściwości osadów. Mogą to być związki wapna, żelaza, glinu. Najpowszechniej jednak stosuje się związki organiczne (np. poliakrylamidy) o olbrzymim ciężarze cząsteczkowym. Nazywa się je flokulantami organicznymi, polimerami lub polielektrolitami. Dobrze dobrany polimer zwiększa czystość odcieku i zmniejsza uwodnienie osadu. Działanie polimeru jest wielostronne. Wpływa on na budowanie struktury kłaczków, zwiększanie ziaren (cząstek) osadu poprzez aglomerację drobnych cząstek koloidalnych oraz wytwarzanie odporności na ścinanie i ściskanie.

Dobry środek kondycjonujący pozwala na:

- neutralizację ładunku elektrycznego ziaren osadu, co wpływa na łączenie się ziaren osadu w większe cząstki łatwiej oddające wodę,
- łączenie cząstek, czyli ich aglomerację (flokulację),

- niszczenie struktury kłaczką, co ułatwia oddawanie wody,
- zwiększenie odporności na ścinanie i ściskanie,
- poprawę współczynnika rozdziału R , czyli jakości odcieku z przeróbki,
- zwiększenie suchej masy placka bez zwiększenia masy całkowitej osadu.

Charakterystyczną cechą kondycjonowania jest to, że zbyt duża dawka polimeru może pogorszyć zdolność osadu do odwadniania.

Termokondycjonowanie polega na ogrzaniu osadu w czasie od 0,5 do 1,0 godziny w temperaturze 120–150°C przy ciśnieniu od 0,5 do 2,0 MPa. W wyniku ogrzania następuje w osadach denaturacja białek oraz zmiana ich struktury. Jest to rodzaj szybkowaru. Wynikiem tego jest znaczne zmniejszenie oporu właściwego i łatwe odwadnianie osadu. Termokondycjonowanie traktowane może być jako niechemiczna metoda poprawienia odwadnialności osadu. Proces ten stosuje się głównie do osadów surowych. Zapewnia on pełną dezynfekcję osadu.

Bardzo efektywną metodą jest wymrażanie (zamrażanie i rozmrażanie) osadów. Jest ono szczególnie przydatne przy przeróbce osadów pokoagulacyjnych. Zastosowanie tego sposobu w skali technicznej zalecane jest wówczas, gdy może ono być realizowane w warunkach naturalnych. Próby sztucznego wymrażania wykazały, że skuteczność instalacji stosowanych w tym celu jest niewystarczająca, a proces jest energochłonny. Zamrażanie i rozmrażanie osadów pokoagulacyjnych niszczy ich kłaczkowatą strukturę i powoduje duży stopień odwodnienia. Wymrażanie w warunkach technicznych osadu pokoagulacyjnego o uwodnieniu 98% może zapewnić zmniejszenie jego uwodnienia do 80%; osad po takim kondycjonowaniu jest granulatem.

Przemywanie osadu jest procesem wspomagającym działanie w przypadku stosowania wielu metod przeróbki osadu. Proces polega na wymianie stężonej cieczy osadowej o wysokiej zasadowości i zastąpieniu jej cieczą o niskiej zasadowości. Zasadniczym celem przemywania stosowanego w przypadku filtracji osadu jest zmniejszenie dawki koagulantu, która jest proporcjonalna do zasadowości. Zmniejszeniu ulega także zawartość związków rozpuszczonych, koloidów i gazów, co wydatnie polepsza zagęszczanie osadu, ponadto powoduje znaczne zmniejszenie oporu właściwego osadu. Przemywanie stosowane jest najczęściej przy zagęszczaniu osadu przeznaczanego do odwadniania przez filtrację. Proces składa się z następujących operacji [5]:

- rozcieńczania osadu ściekami oczyszczonymi, rzadziej wodą odbiornika,
- mieszania rozcieńczonego osadu,
- sedymentacji i zagęszczania osadu w zagęszczaczach,
- dekantacji oddzielonej wody osadowej i spustu osadu zagęszczonego do dalszej przeróbki.

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest ustalenie rodzaju stosowanego polimeru lub koagulantu oraz optymalnej jego dawki w zależności od charakteru osadu.

Zakres ćwiczenia obejmuje:

- określenie rodzaju polimeru najefektywniejszego dla analizowanej próby osadu,
- ustalenie najkorzystniejszej dawki polimeru jako tej, która da najniższy czas ssania kapilarnego CSK lub najkrótszy czas filtracji pozyskania 100 ml filtratu z 200 ml próby osadu tzw. Cf 100.

Metoda badań

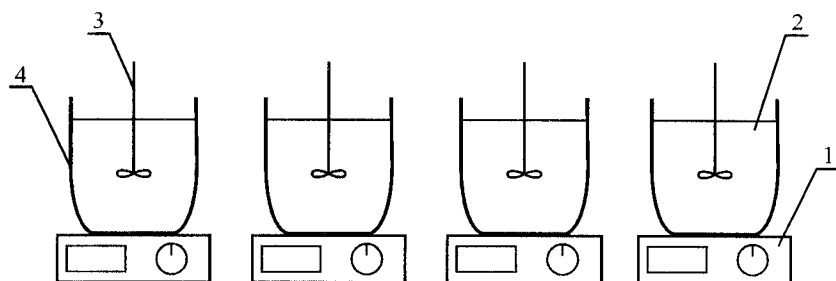
Badanie polega przede wszystkim na ustaleniu rodzaju środka wspomagającego (odpowiedniego polimeru lub koagulantu), który najlepiej poprawia zdolność osadu do odwadniania. Następnie badania można prowadzić pod kątem ustalenia optymalnej dawki. Należy więc w pierwszej części eksperymentu przeprowadzić proces koagulacji, najpierw z różnymi środkami wspomagającymi, a następnie z różnymi dawkami optymalnego polimeru. Druga część eksperymentu polega na pomiarze ilości filtratu, w zależności od czasu odwadniania. Do badań używa się koagulatora laboratoryjnego umożliwiającego najpierw szybkie wymieszanie środka wspomagającego w objętości osadu, a następnie koagulację zawiesiny. W drugiej części badań używa się sączków z bibuły średniej twardości, ułożonych w formie fałd na lejku szklanym. Na tak przygotowany filtr wlewa się porcję dobrze wymieszanego osadu w ilości około 200 cm³, a następnie notuje ilość filtratu po różnym czasie odwadniania.

Osad nawet o charakterze koloidalnym z prawidłowo dobranym środkiem wspomagającym oraz z optymalną jego dawką powinien odwadniać się łatwo, co wyraża się dużą ilością filtratu uzyskanego w czasie odwadniania.

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- zestaw do przeprowadzenia procesu koagulacji objętościowej – koagulator laboratoryjny,
- zestaw sprzętu do określenia uwodnienia osadu (parownice, łaźnia wodna, suszarka, waga analityczna),
- zestaw do odwadniania osadu (cylindry miarowe, lejki, sączki, statyw).





Rys. 2. Zestaw do przeprowadzenia procesu koagulacji objętościowej – koagulator laboratoryjny: 1 – płyta grzewcza, 2 – kondycjonowany osad, 3 – mieszadło, 4 – zlewka

Przebieg eksperymentu

Przygotować zestaw do odwadniania osadu, w którego skład wchodzi: sączki o średniej twardości, lejki, cylindry miarowe i statyw. Sączki filtracyjne umieścić w lejkach (sączki powinny być pofałdowane), następnie zwilżyć je wodą destylowaną. Przygotowaną próbę osadu dobrze wymieszać i pobrać niewielką ilość w celu oznaczenia uwodnienia. Następnie do kilku zlewek wlać po około 200 cm³ osadu i dodać do nich wcześniej przygotowane różne środki wspomagające; liczba przygotowanych prób zależy od liczby zastosowanych polimerów lub koagulantów (dawki i liczba prób osadów ustala prowadzący ćwiczenia). Następnie ustawić zlewki w koagulatorze i przeprowadzić proces koagulacji osadu, stosując około minutowe mieszanie szybkie, a następnie około 10–15-minutowe mieszanie wolne. Tak przygotowane próbki osadu wlać na kolejne filtry. Notować objętość filtratu po czasie 15, 30, 45, 60, 90 minut i 24 godzin. Po zakończeniu filtracji z każdego sączka pobrać po około 5 g osadu w celu określenia uwodnienia. Otrzymane wyniki zestawić w postaci tabelarycznej i graficznej.

W drugiej części eksperymentu powtórzyć proces koagulacji, ale z zastosowaniem różnych dawek jednego środka wspomagającego (tego, który w pierwszym etapie eksperymentu dał najlepsze rezultaty odwadniania osadu). Tak uzyskane próbki osadu, łącznie z próbą osadu niepoddawanego kondycjonowaniu, przefiltrować notując objętości filtratu po czasie 15, 30, 45, 60, 90 min oraz określić uwodnienie osadu. Otrzymane wyniki zestawić w tabeli oraz sporządzić krzywą filtracji osadu surowego, i po zastosowaniu różnej dawki koagulantu, na osi poziomej odkładając czas filtracji, a na pionowej ilość filtratu w przeliczeniu na 1 cm³ osadu.

Prezentacja i analiza wyników badań

Tabela 3.

Wyniki testu odwadnialności osadu na sączkach przy zastosowaniu różnych środków wspomagających

Oznaczenie	Osad niekondycjonowany	Osad po kondycjonowaniu różnymi środkami wspomagającymi				
		I	II	III	IV	V
Ilość filtratu w cm ³ po czasie:						
15 min						
30 min						
45 min						
60 min						
90 min						
Uwodnienie osadu:						
– przed filtracją						
– po filtracji						

I-V – rodzaje zastosowanych środków wspomagających

Tabela 4.

Wyniki testu odwadnialności osadu na sączkach przy różnych dawkach środka wspomagającego

Oznaczenie	Osad niekondycjonowany	Osad po kondycjonowaniu różnymi dawkami wybranego środka wspomagającego				
		I	II	III	IV	V
Ilość filtratu w cm ³ po czasie:						
15 min						
30 min						
45 min						
60 min						
90 min						
Uwodnienie osadu:						
– przed filtracją						
– po filtracji						

I-V – dawki środka wspomagającego w g/m³

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- omówienie celu i zasady kondycjonowania osadów,
- charakterystykę osadu użytego do badań,
- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metodyki badawczej,

- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące celowości kondycjonowania osadu i wyboru środka wspomagającego oraz jego optymalnej dawki.

2.2. Zagęszczanie osadów

Proces zagęszczania powinien być stosowany w każdej oczyszczalni, ponieważ poprawia (czasem wręcz umożliwia) pracę wszystkich dalszych procesów przeróbki osadów. Zagęszczanie wielokrotnie zmniejsza objętość osadu. Osad wstępny i nadmierny powinny być zagęszczane oddzielnie. Osad wstępny może być źródłem lotnych kwasów tłuszczowych wykorzystywanych do podwyższenia efektu biologicznego usuwania fosforu [6]. Do zagęszczania osadu wstępnego stosuje się urządzenia wykorzystujące proces sedymentacji. Osad nadmierny powinien być zagęszczany flotacyjnie lub mechanicznie w urządzeniach zbliżonych do urządzeń odwadniających (wirówki, zagęszczarki taśmowe lub bębnowe). Osad zagęszczany mechanicznie musi być kondycjonowany polimerem. Po zagęszczeniu, a przed dalszą przeróbką, osady mogą zostać wymieszane.

2.2.1. Grawitacyjne zagęszczanie osadu

Wprowadzenie

Zagęszczanie grawitacyjne (samoistne) przebiega samorzutnie, np. w osadnikach (wstępnych, wtórnych, pośrednich), lub może być prowadzone w oddzielnych urządzeniach, w tzw. wydzielonych zagęszczaczach osadu. Zagęszczacze wydzielone mogą zagęszczać osady w systemie okresowym lub w sposób ciągły. W zagęszczaczach okresowych wyróżniamy fazy [1]:

- napełniania zagęszczacza osadem surowym,
- zagęszczania osadu,
- odprowadzania osadu zagęszczonego,
- odprowadzania cieczy nadosadowej.

W zagęszczaczach pracujących ciągle, tzw. zagęszczaczach przepływowych, występuje stały dopływ osadu surowego i ciągłe odprowadzenie cieczy nadosadowej i osadu zagęszczonego. W czasie zagęszczania grawitacyjnego, w obu typach zagęszczaczy, występuje równocześnie sedymentacja i komprymacja (zagęszczanie i ściskanie) cząstek osadu. Zasadniczym wskaźnikiem efektywności procesu

zagęszczania jest uwodnienie osadu zagęszczonego lub zawartość ciał stałych w osadzie zagęszczonym. Wielkością charakteryzującą efektywność tego procesu jest współczynnik stopnia zagęszczania η_z .

$$\eta_z = \frac{\text{sucha masa osadu zagęszczonego kg sm/m}^3}{\text{sucha masa osadu doprowadzanego kg sm/m}^3}$$

Wartość tego współczynnika (im większa tym lepiej) zależy od suchej masy lub uwodnienia osadu doprowadzanego, rodzaju i własności osadu, czasu zagęszczania, temperatury i stosowania czynników wspomagających (polimery, mieszanie itp.)

W zagęszczaczach nieprzepływowych efekt zagęszczania zależy od czasu przetrzymania osadu i zdolności cząstek osadu do zagęszczania.

W zagęszczaczach przepływowych efekt zagęszczania zależy nie tylko od czasu przetrzymania, ale również i od obciążenia powierzchni zagęszczacza suchą masą osadu.

Jednym z najważniejszych parametrów oceny procesu zagęszczania jest według teorii *Kyncha* prędkość opadania zawiesin [5].

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest określenie prędkości zagęszczania osadu i efektywności zagęszczania. Pomiar szybkości zagęszczania w sposób najprostszy przeprowadza się przez obserwację szybkości opadania poziomego osadu wyraźnie oddzielonego od wody osadowej. W wyniku tego można wykonać krzywą jednorazowego zagęszczania osadu w cylindrze.

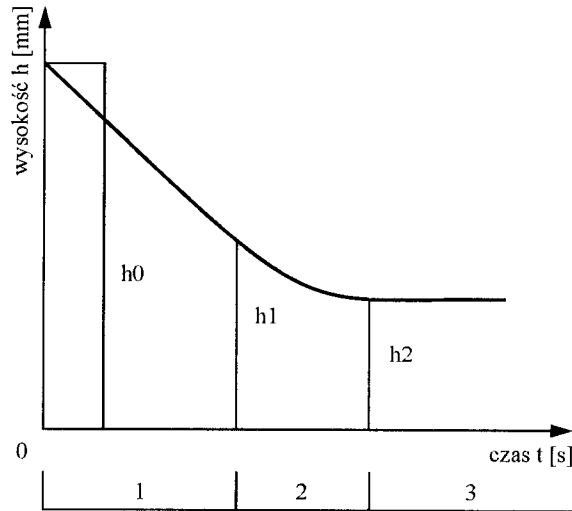
Zakres badań obejmuje:

- ustalenie optymalnego czasu zagęszczania grawitacyjnego osadu,
- określenie zdolności osadu do zagęszczania,
- ocenę wpływu kondycjonowania osadu na efekt jego zagęszczania.

Metoda badań

Badanie polega na ustaleniu zdolności osadu do zagęszczania grawitacyjnego oraz ustaleniu wpływu środków wspomagających na efektywność tego procesu. Przygotowane próby osadu (poddane na przykład wcześniej procesowi kondycjonowania różnymi środkami wspomagającymi lub różnymi dawkami jednego środka) należy poddać obserwacji pod kątem szybkości opadania w czasie z zastosowaniem cylindrów miarowych lub laboratoryjnego modelu zagęszczacza grawita-

cyjnego z mieszadłem prętowym. Na podstawie obserwacji można sporządzić krzywą zagęszczania osadu.



Rys. 3. Krzywa zagęszczania osadu: h – wysokość warstwy osadu

W pierwszym okresie (1) charakteryzującym się stałą prędkością opadania wartość tej prędkości można obliczyć z doświadczalnej krzywej sedymentacji. Dla drugiej fazy procesu zagęszczania (2), która charakteryzuje się zanikającą prędkością opadania powierzchni granicznej oraz zmiennym stężeniem substancji stałych, ma tutaj zastosowanie podstawowe twierdzenie *Kyncha*, które mówi, że prędkość opadania cząstek osadu jest funkcją stężenia zawiesin w najbliższym otoczeniu. Zakończeniem tej strefy przejściowej jest strefa (3), w której prędkość opadania zawiesin jest bliska zero.

Na podstawie powyższego twierdzenia oraz na podstawie wielu założeń upraszczających został wyprowadzony wzór na stężenie zawiesin w dowolnym czasie t_i .

Prędkość zagęszczania w pierwszej strefie można obliczyć według wzoru:

$$V = \frac{h_0 - h_1}{t_1} \text{ [mm/s]}$$

gdzie:

h_0 – początkowa wysokość warstwy osadu [mm],

h_1 – wysokość warstwy osadu po czasie t_1 [s], w którym osad zagęszcza się ze stałą prędkością [mm].

Stężenie osadu w dowolnym czasie t_i zagęszczania można obliczyć ze wzoru:

$$C_i = \frac{C_0 h_0}{h_i + V_i t_i} \text{ [g s.m./m}^3\text{]}$$

gdzie:

C_0 – stężenie osadu przed zagęszczaniem [g s.m./m³],

h_0 – początkowa wysokość warstwy osadu o stężeniu C_0 [cm],

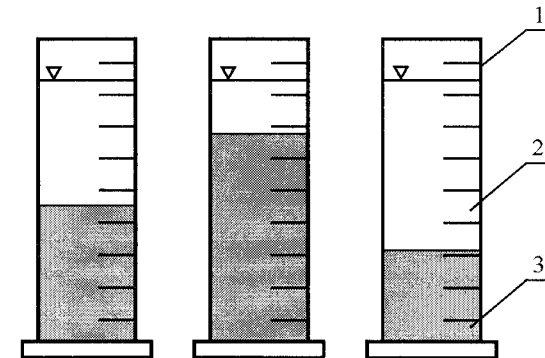
V_i – prędkość opadania w punkcie h_i [cm/min],

t_i – dowolny czas opadania [min],

h_i – wysokość warstwy osadu po czasie t_i .

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- cylindry miarowe o wysokości min. 0,5 m i średnicy nie mniejszej niż 5 cm,
- zestaw sprzętu do oznaczania suchej pozostałości (parownice, suszarka, waga analityczna, łaźnia wodna),
- lewarek do pobierania prób osadu.



Rys. 4. Zestaw laboratoryjny do grawitacyjnego zagęszczania osadów: 1 – cylinder miarowy, 2 – ciecz nadosadowa, 3 – zagęszczony osad

Przebieg eksperymentu

W dobrze wymieszanych próbach osadu przeznaczonych do badań należy oznaczyć uwodnienie. W tym celu trzeba pobrać dowolną ilość osadu do uprzednio zważonej parownicy, zważyć na wadze analitycznej i obliczyć wagę uwodnionego osadu. Następnie osad odparować na łaźni wodnej, wstawić na pół godziny do suszarki (temperatura suszenia około 103°C) i powtórnie zważyć po ostudzeniu w eksykatorze. Obliczyć wagę suchego osadu i przeliczyć jego uwodnienie. Próby osadu przygotowane do zagęszczania wlać do cylindra do wysokości 50 cm. W regularnych odstępach czasu, najlepiej co 10 min. odczytywać wysokość warstwy osadu w cylindrze. W końcowej fazie zagęszczania, tzn. gdy zmiany wysokości słupa osadu będą już nieznaczne, można zwiększyć odstępy czasowe do 30 min. Obserwacje zakończyć w momencie, gdy wysokość słupa osadu ustali się. Następnie zlewać wodę z nad osadu, tak aby w cylindrze pozostawić jedynie zagęszczony osad. W osadzie tym, po jego dokładnym wymieszaniu, oznaczyć uwodnienie. Wyniki dokonywanych pomiarów zestawiać tabelarycznie; można podać je w postaci graficznej (wykresy).

W zależności od rodzaju osadu i otrzymanych wyników zagęszczania analogiczne badania można wykonać dla osadu kondycjonowanego różnymi środkami lub różnymi dawkami, np. polielektrolitu. Szczegółowy zakres badań i ilość prób ustala prowadzący ćwiczenia.

Prezentacja i analiza wyników badań

Tabela 5.

Wyniki badań zagęszczania grawitacyjnego osadu

Oznaczenie	Numer próby				
	I	II	III	IV	V
Wysokość warstwy osadu w cm po czasie:					
0					
10 min					
20 min					
30 min					
60 min					
90 min					
Uwodnienie osadu:					
– przed zagęszczaniem					
– po zagęszczaniu					

I-V – rodzaje zastosowanych prób osadu

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- omówienie podstaw procesu zagęszczania grawitacyjnego osadów,
- charakterystykę osadu użytego do badań,
- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metody badawczej,
- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące efektywności procesu zagęszczania danego osadu.

2.3. Odwadnianie osadów

Odwadnianie jest procesem usuwania wody z osadu w celu zmniejszenia jego objętości. Woda wolna usuwana jest z osadu w procesie zagęszczania. Woda kapilarna usuwana jest w procesie odwadniania mechanicznego lub odwadniania naturalnego. Woda ta występuje w zakresie uwodnień od 50% do 80%. Woda związana (adsorpcyjna) usuwana jest w procesach suszenia. Woda związana występuje przy uwodnieniach od 0,1% do 50%. Proces odwadniania musi być poprzedzony zagęszczaniem.

Poprzez odwadnianie mechaniczne usuwa się z osadów wodę wolną oraz kapilarną. W odwadnianiu mechanicznym wykorzystuje się [5]:

- siły odśrodkowe (wirówki),
- filtrację cieczy przez warstwę osadu (prasy filtracyjne, prasy filtracyjno-taśmowe, filtry próżniowe, prasy śrubowe),
- procesy termiczne.

Przy odwadnianiu mechanicznym stosuje się tzw. kondycjonowanie osadu, które ma na celu poprawę szybkości odwadniania w wyniku zmniejszenia oporu właściwego (najczęściej polimery dobierane indywidualnie do każdego osadu).

2.3.1. Odwadnianie osadu na modelu poletka osadowego

Wprowadzenie

Jedną z metod usuwania wody z osadu jest odwadnianie naturalne. W odwadnianiu tym wykorzystuje się naturalne procesy filtracji i parowania. Odwadnianie naturalne prowadzone jest na poletkach osadowych lub w lagunach osadowych.

W urządzeniach tych odwadniać należy osady ustabilizowane lub osady mineralne. Szybkość odwadniania osadu (szybkość oddawania wody) zależy od: grubości warstwy osadu, struktury osadu (wymiarów cząstek) oraz wilgotności i temperatury powietrza.

Poletka osadowe

Filtracja cieczy nadosadowej przez warstwę osadu i warstwę piasku zależy od ich oporu właściwego. Z uwagi na nieduże ciśnienie filtracji oraz w większości duży opór właściwy osadu, udział filtracji przy odwadnianiu na poletku jest niewielki. Filtracja cieczy występuje tylko w pierwszym okresie po zalaniu poletka osadem. Poletka zalewa się od razu do planowanej (eksploatacyjnej) wysokości zalewu. Niedopuszczalne jest okresowe, małymi porcjami (np. dobowymi), zalewanie poletka. Dominującym procesem decydującym o odwadnianiu (usuwanie wody wolnej i kapilarnej) jest bilans opadu i parowania. Jeżeli parowanie przewyższa opad, następuje odwadnianie osadu. W sytuacji odwrotnej następuje nawadnianie osadu. Czas odwadniania osadu na poletkach jest dość długi i wynosi 1 do 1,5 miesiąca. W Polsce w okresie zimowym lub późnojesiennym nie ma z reguły odwadniania osadu z uwagi na temperaturę powietrza oraz wielkość opadów. Czas odwadniania na poletkach można skrócić (o około 50%), wprowadzając do osadu polimery. Zwiększają one wymiary cząstek oraz zwiększają wielkość powierzchni parowania. Przy wprowadzaniu polimerów filtracja cieczy nadosadowej jest istotnym czynnikiem odwadniającym osad na poletkach. Inną metodą przyspieszającą szybkość odwadniania jest przykrycie poletka dachem, przy równoczesnym usuwaniu parującej wody. Rozwiązanie to eliminuje opad deszczu, co przyspiesza odwadnianie. Duże znaczenie dla szybkości odwadniania ma początkowa grubość warstwy osadu (im większa, tym szybkość odwadniania jest mniejsza).

Laguny osadowe

Są to zbiorniki najczęściej ziemne o wysokości warstwy osadu od 1 do 2 m. Procesy jednostkowe odwadniania w lagunach są takie same jak przy poletkach osadowych. Z uwagi na znacznie większą grubość warstwy osadu, efektywność odwadniania w lagunach jest znacznie niższa niż na poletkach (uwodnienie 80 do 85%). Osad odwodniony w lagunach jest plastyczny (ciastowaty), co utrudnia jego wywożenie. Duża grubość warstwy osadu zwiększa również czas odwadniania. Rozwiązanie optymalne lagun przewiduje trzyletni cykl ich eksploatacji. W roku pierwszym napełnianie osadem, w drugim suszenie naturalne, w roku trzecim wywożenie i renowacja laguny. Laguny osadowe nie są dobrymi urządzeniami do odwadniania osadu i buduje się je głównie jako obiekty awaryjne przy mechanicz-

nym odwadnianiu osadów na oczyszczalni. Ze względu również na dużą uciążliwość zapachową oraz zły stopień odwadniania nie zaleca się ich projektowania dla osadów surowych.

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest określenie wyników odwadniania osadu na poletkach osadowych. Ze względu na małą skalę tych badań można jedynie orientacyjnie określić niektóre parametry procesu:

- szybkość parowania wody z osadu w określonych warunkach (wilgotność, temperatura),
- czas suszenia osadu na poletkach,
- zdolność osadu do oddawania wody na drodze filtracji cieczy osadowej przez warstwę filtracyjną.

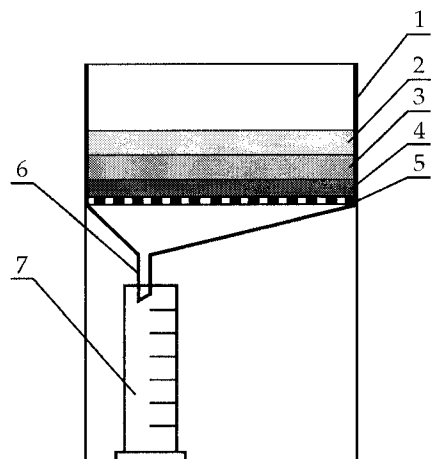
Metoda badań

W badaniach można wykorzystać model typowego poletka osadowego, składającego się z warstwy podtrzymującej (żwir), na której ułożona jest warstwa piasku filtracyjnego. Ciecz osadowa przepływa z osadu przez warstwę filtracyjną i odpływa do cylindra, gdzie mierzy się jej ilość w czasie.

W trakcie wykonywania ćwiczenia, które może trwać do kilku tygodni, należy także okresowo wykonywać analizę uwodnienia osadu, pobierając niewielkie próbki osadu z powierzchni poletka. Proces odwadniania osadu można uznać za zakończony, gdy uwodnienie osadu praktycznie ma wartość stałą. Osad ma wtedy zwykle strukturę silnie spękaną i w dotyku jest suchy.

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- laboratoryjny model poletka osadowego,
- zestaw sprzętu do oznaczania uwodnienia osadu (parownice, waga analityczna, suszarka, łaźnia wodna),
- termohigrometr (do oznaczania temperatury i wilgotności względnej powietrza),
- zestaw sprzętu do oznaczania: przezroczystości, ChZT, odczynu.



Rys. 5. Laboratoryjny model poletka osadowego: 1 – obudowa modelu, 2 – warstwa piasku, 3 – warstwa żwiru drobnego, 4 – warstwa żwiru grubego, 5 – drenaż, 6 – odpływ wody osadowej, 7 – cylinder miarowy

wać temperaturę i wilgotność względną powietrza [7].

W zebranej w ciągu pierwszej doby w cylindrze wodzie osadowej określić: przezroczystość, ChZT, odczyn. W przypadku odwadniania osadów o specyficznym składzie, np. przemysłowych, można wykonać inne oznaczenia zalecane przez prowadzącego ćwiczenia. Wyniki przedstawić w formie tabelarycznej i graficznej (wykresy).

Prezentacja i analiza wyników badań

Wyniki badań odwadniania osadu na modelu poletka osadowego

Czas odwadniania [godz.]	Ilość wody osadowej [cm ³ /dm ³]*	Czas odwadniania [doby]	Uwodnienie osadu [%]	Temperatura powietrza [°C]	Wilgotność względna powietrza [%]
1		1			
2		4			
4		7			
6		14			
12		17			
24		21			

* Zmierzoną w czasie badań ilość wody osadowej przeliczyć na jednostkę osadu nieodwodnionego

Przebieg eksperymentu

Przeznaczony do badań osad należy dobrze wymieszać, pobrać próbkę w celu oznaczenia uwodnienia. Następnie określoną objętość przelać na poletka. Ilość osadu zużytego do badań powinna być taka, aby warstwa osadu na poletku wynosiła 5–10 cm. W pierwszej fazie odwadniania, tj. w ciągu doby, określać ilość filtratu, jaka zbierze się w cylindrze miarowym, np. po 1, 2, 4, 6, 12, 24 godzinach odwadniania. Po 24 godzinach oznaczyć uwodnienie osadu, pobierając w tym celu z powierzchni osadu niewielką próbkę (3–5 g). Dalsze badania należy prowadzić do czasu, aż wilgotność osadu ustali się praktycznie na stałym poziomie. W tym czasie co 4–5 dni pobierać niewielkie próbki osadu w celu oznaczenia uwodnienia. Jednocześnie notować

Tabela 7.

Charakterystyka wody osadowej z odwadniania osadu na modelu poletka osadowego

Oznaczenie	Jednostka	Wartość
Przezroczystość		
ChZT	mg O ₂ /dm ³	
Odczyn	pH	

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- krótkie omówienie zasady i celu odwadniania osadu na poletkach,
- charakterystykę osadu użytego do badań,
- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metody badawczej,
- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące szybkości i efektu odwadniania osadu oraz stopnia zanieczyszczenia wody osadowej.

2.3.2. Odwadnianie osadu na filtrze próżniowym

Wprowadzenie

W filtrach próżniowych odwadnianie osadów polega na filtracji cieczy przez warstwę osadu, utworzoną na przegrodzie filtracyjnej (tkanina filtracyjna). W filtrach próżniowych ciśnienie filtracji równe jest możliwej do uzyskania wartości próżni i w większości przypadków nie przekracza 0,06 MPa.

Filtry próżniowe zapewniają znacznie gorsze odwodnienie osadu niż prasy filtracyjne. Są to także urządzenia o znacznie bardziej złożonej konstrukcji mechanicznej, z tych powodów ich stosowanie jest bardzo niewielkie. Odwadnianie osadów na filtrach próżniowych związane jest z koniecznością zainstalowania dużej ilości różnorodnych urządzeń i z budową szeregu obiektów towarzyszących. Rozróżnia się trzy podstawowe rodzaje filtrów próżniowych, a mianowicie: bębnowe, tarczowe i talerzowe. Zasilanie filtrów może być wewnętrzne lub zewnętrzne (górną i dolną). Najszersze zastosowanie w odwadnianiu osadów ściekowych znalazły bębnowe filtry próżniowe z dolnym zasilaniem zewnętrznym. Przegrody filtracyjne służące do zatrzymywania cząstek stałych w procesie filtracji powinny charakteryzować się:

- dostosowaniem do rodzaju filtrowanego osadu i do konstrukcji filtru,
- dużą wytrzymałością mechaniczną,

- odpornością na korozję,
- małym oporem właściwym.

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest określenie własności filtracyjnych osadu przy odwadnianiu na filtrze próżniowym. W badaniach tych można określić następujące parametry procesu:

- szybkość filtracji osadu przy danej wielkości próżni (ilość filtratu uzyskana w zależności od czasu filtracji),
- opór właściwy filtracji,
- stopień zanieczyszczenia filtratu (wody osadowej).

Metoda badań

Badania można wykonywać na konkretnej tkaninie filtracyjnej, badając tym samym przydatność danej tkaniny do filtracji osadu, lub na sączku z bibuły. W tym drugim przypadku uzyskane wyniki mają wartość orientacyjną i nie mogą być bezpośrednio przeniesione na skalę techniczną.

Najistotniejszym parametrem charakteryzującym proces odwadniania osadu na filtrze próżniowym jest opór właściwy osadu, który stanowi wielkość porównawczą dla własności filtracyjnych różnych osadów. Opór właściwy osadu jest wielkością wyjściową do projektowania filtru próżniowego w skali technicznej.

Ogólna teoria filtracji została rozwinięta i przystosowana przez *Rutha, Carmana, Coackleya i Jonesa* [5]. Opór właściwy osadu określa jego zdolność do filtracji.

Równanie oporu właściwego osadu ma postać następującą:

$$r = \frac{2bPA^2}{\mu c} \quad [s^2/g]$$

gdzie:

- r – opór właściwy osadu [s^2/g],
- b – tangens nachylenia prostej na wykresie $t/V:V$, na którym t oznacza czas filtracji, V oznacza objętość filtratu otrzymanego od rozpoczęcia filtracji w chwili t , b wyrażone jest w [s/cm^6],
- P – podciśnienie (wielkość próżni) [g/cm^2],
- μ – lepkość filtratu (można przyjąć $0,01 \text{ g/cm s}$),
- c – ilość osadu w jednostce objętości filtratu [g/cm^3]

$$c = \frac{1}{\frac{c_p}{100 - c_p} - \frac{c_k}{100 - c_k}} \quad [g/cm^3],$$

gdzie:

c_p – uwodnienie osadu surowego [%],

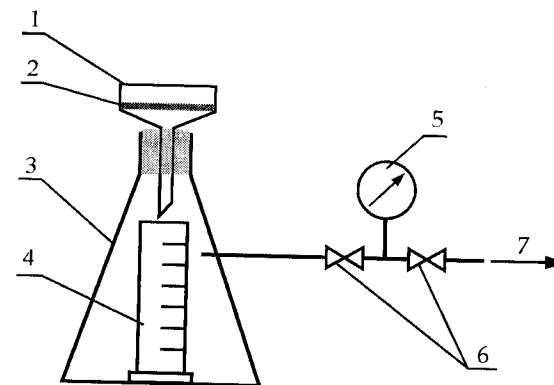
c_k – uwodnienie osadu po filtracji [%].

Wielkość oporu właściwego osadu podaje się w postaci iloczynu liczby wynikowej, np. $9,3 \cdot 10^7 \text{ s}^2/g$.

W celu określenia wielkości oporu osadu należy przeprowadzić próbę filtracji określonej objętości osadu na lejku Büchnera z ułożoną wewnątrz tkaniną filtracyjną.

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- zestaw laboratoryjny do filtracji próżniowej osadu (lejek Büchnera, sączek, kolba szklana, cylinder miarowy, wakuometr, pompa próżniowa),
- zestaw sprzętu do oznaczania uwodnienia osadu (parownice, waga analityczna, suszarka, łaźnia wodna),
- stoper,
- zestaw do oznaczania przezroczystości, zawiesiny.



Rys. 6. Zestaw laboratoryjny do filtracji próżniowej osadu: 1 – lejek Büchnera, 2 – sączek, 3 – kolba, 4 – cylinder miarowy, 5 – wakuometr, 6 – zawory odcinające, 7 – wylot do pompy próżniowej

Przebieg eksperymentu

Na lejek Büchnera w zestawie do filtracji próżniowej osadu położyć krążek z wybranej do badań tkaniny filtracyjnej (np. sącdek), zwilżonej lekko wodą. Wytworzyć żądaną wielkość próżni za pomocą pompy próżniowej przy zamkniętym zaworze od strony kolby szklanej. Następnie na tkaninę filtracyjną wlać około 200 cm³ dobrze wymieszanego osadu, pozostawiając jego pewną ilość do oznaczenia uwodnienia wyjściowego. Włączyć sekundomierz i jednocześnie odkręcić zawór od strony kolby szklanej. Odczytywać w określonych odstępach czasu ilość filtratu zebranego w cylindrze miarowym. Po zakończeniu filtracji (moment pęknięcia placka filtracyjnego osadu i gwałtownego spadku podciśnienia do zera), zmierzyć grubość warstwy osadu (grubość placka filtracyjnego). Następnie pobrać niewielką ilość próby osadu około 5 g i oznaczyć jego uwodnienie. Wyznaczyć uwodnienie osadu przed i po filtracji. Przez pomiar wysokości warstwy osadu na lejku przed odwadnianiem i przez pomiar grubości placka filtracyjnego po odwadnianiu określić zmianę objętości osadu. Eksperyment można przeprowadzić dla kilku różnych wartości podciśnienia, np. 250, 500 g/cm².

W wodzie osadowej (w filtracie) oznaczyć przezroczystość, ChZT i ilość zawiesin. W razie potrzeby, po uzgodnieniu z prowadzącym ćwiczenie, można wykonać inne oznaczenia charakteryzujące stopień zanieczyszczenia wody osadowej. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w postaci tabelarycznej i graficznej (wykres zależności t/V i V otrzymany na podstawie pomiaru ilości filtratu w czasie filtracji próżniowej).

Prezentacja i analiza wyników badań

Tabela 8.

Ilość filtratu w zależności od czasu filtracji próżniowej próbki osadu

Czas filtracji [s]	Wielkość podciśnienia [g/cm ²]			
	250		500	
	Objętość filtratu V [cm ³]	t_i / V_i	Objętość filtratu V [cm ³]	t_i / V_i
5				
10				
15				
20				
25				
30				
45				
60				
...				

Tabela 9.

Wyniki eksperymentu odwadniania osadu na filtrze próżniowym

Oznaczenie	Jednostka	Typ tkaniny	
		Podciśnienie [g/cm ²]	
		250	500
Osad:			
Warstwa osadu przed filtracją	mm		
Warstwa osadu po filtracji	mm		
Redukcja objętości osadu	%		
Uwodnienie osadu:			
– surowego	%		
– po filtracji	%		
Opór właściwy osadu	s ² /g		
Woda osadowa:			
Przezroczystość	cm		
Zawartość zawiesin	mg/l		
Końcowa ilość filtratu	cm ³		

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- krótkie omówienie zasady procesu filtracji próżniowej osadów,
- charakterystykę osadu użytego do badań,
- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metody badawczej,
- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące możliwości zastosowania filtrów próżniowych oraz stosowanych tkanin filtracyjnych do odwadniania osadu.

2.3.3. Odwadnianie osadu w wirówce sedymentacyjnej

Wprowadzenie

W wirówkach wykorzystuje się sedymentację cząstek osadu, lecz o znacznie zwiększonej prędkości sedymentacji, wynikającej z dużych wartości przyspieszenia. W wirówkach tych wyróżnik przyspieszenia, tj. stosunek przyspieszenia odśrodkowego do przyspieszenia ziemskiego wynosi od 1000 do 2000. Wielkościami wpływającymi na efekty odwadniania osadów w wirówkach są [1]:

- średnica bębna i liczba obrotów (wyróżnik przyspieszenia),
- grubość osadu w bębnie,

- natężenie dopływu osadu,
- rodzaj i dawka polimeru.

Współczynnik rozdziału określa stosunek zawartości ciał stałych w osadzie odwodnionym tzw. placku osadu do zawartości ciał stałych w osadzie odprowadzanym. Dla przykładu $R = 70\%$ oznacza, że 70% suchej masy pozostało w osadzie odwodnionym, a 30% suchej masy pozostało w odcieku.

Wymaga się, by wartość $R > 95\%$; jeżeli ten warunek nie jest spełniony, masa osadu zawarta w odcieku wirówki po zawróceniu jej do układu oczyszczania ścieków powoduje istotne zakłócenia w pracy oczyszczalni. Przy współczynniku R od 30% do 40% obserwuje się całkowite załamanie procesu technologicznego oczyszczalni. Wartość tego współczynnika jest podstawowym, obok uwodnienia placka osadu, kryterium oceny wirówek. Bez kondycjonowania osadów nie uzyskuje się wymaganej wartości R na wirówkach [2].

Spośród wielu typów wirówek sedymentacyjnych do odwadniania osadów stosuje się najczęściej wirówki walcowo-stożkowe [1].

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest określenie efektu odwadniania osadu w modelu wirówki sedymentacyjnej. Ćwiczenie pozwala na ustalenie optymalnej prędkości odwirowania, przy której następuje najlepsze zagęszczanie osadu, a przezroczystość wody osadowej jest największa. Można również prowadzić ćwiczenie pod kątem ustalenia optymalnego czasu wirowania przy ustalonej prędkości obrotowej.

Po wykonaniu obu serii badań uzyskuje się zasadnicze wielkości charakteryzujące proces odwadniania osadu w wirówce sedymentacyjnej [7]:

- prędkość odwirowania (wielokrotność g),
- czas odwirowania (prędkość opadania zawiesiny),
- jakość osadu i wody osadowej przy różnych warunkach odwirowania.

Metoda badań

Eksperyment należy przeprowadzić przy użyciu laboratoryjnej wirówki sedymentacyjnej. W badaniach efektu odwadniania osadu w wirówce sedymentacyjnej określa się na początku zależność między uwodnieniem osadu i jakością wody osadowej po odwirowaniu a prędkością obrotową wirówki. Na podstawie wykonanej serii badań odwirowania osadu przy stałym czasie odwirowania (na tyle długim, aby nie wywierał on wpływu na efektywność odwadniania osadu i jakość wody osadowej) i różnych prędkościach obrotowych można określić optymalną

prędkość odwirowania (najniższe uwodnienie osadu i największa przezroczystość cieczy osadowej). Szybkość odwirowania należy przeliczyć na wartość porównawczą, tj. wielokrotność przyspieszenia ziemskiego. Efekt odwadniania osadów na wirówkach zależy od przeciążenia (mierzonego wielokrotnością przyspieszenia g) – jest ono tym większe, im większa jest szybkość obrotowa danej wirówki. Znając liczbę obrotów wirówki w jednostce czasu oraz promień obrotu, można obliczyć wielkość przyspieszenia dośrodkowego uzyskiwanego w danej wirówce:

$$\alpha = \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 \cdot r$$

gdzie:

- n – liczba obrotów wirówki [obr/min],
- r – promień wirowania.

Tym samym uzyskuje się wielkość porównawczą, charakteryzującą warunki odwirowania osadów, wyrażoną w wielokrotności przyspieszenia g

$$\frac{\alpha}{g} = \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 \cdot \frac{r}{g} = \frac{r}{900} n^2$$

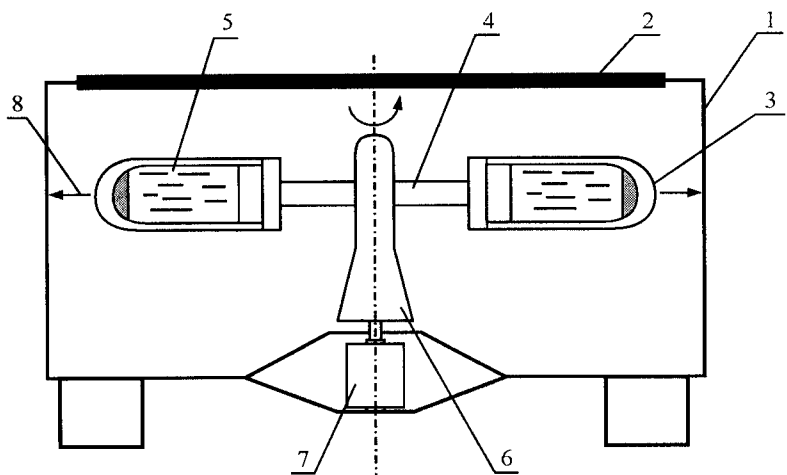
Nowoczesne wirówki pozwalają uzyskać przyspieszenie ponad tysiąc g .

Dla ustalonej szybkości obrotowej wykonuje się dalsze próby odwirowania osadu przy różnych czasach odwirowania.

W zależności od uwodnienia osadu i jakości cieczy osadowej, po różnych czasach odwirowania z tą samą prędkością, określa się niezbędny czas wirowania.

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- wirówka sedymentacyjna typu laboratoryjnego,
- zestaw sprzętu do oznaczania uwodnienia osadu (parownice, suszarka, waga analityczna, łaźnia wodna),
- zestaw do oznaczania przezroczystości, ChZT, odczynu.



Rys. 7. Wirówka sedymentacyjna typu laboratoryjnego: 1 – obudowa wirówki, 2 – przykrywa, 3 – obejma na naczynia szklane, 4 – wahliwe zamocowanie, 5 – odwirowywany osad w szklanym naczyniu, 6 – głowica wirówki, 7 – silnik, 8 – kierunek działania siły odśrodkowej

Przebieg eksperymentu

W przygotowanej do badań dobrze wymieszanej porcji osadu oznaczyć uwodnienie. Przygotować dwa naczynka do wirówki i w zależności od jej wielkości pobrać odpowiednie ilości osadu, a następnie na wadze technicznej zrównoważyć wagę obu naczynek z osadem. Naczynia umieścić w wirówce naprzeciw siebie, zamknąć pokrywę i włączyć wirówkę. Po wyłączeniu i zatrzymaniu wirówki wyjąć naczynia, dokładnie odlać wodę osadową do cylindrów miarowych. Odczytać objętość cieczy osadowej z obu naczyń i wykonać badania jakości odcieku oraz uwodnienia osadu po wirowaniu. Badania należy przeprowadzić dla minimum trzech prędkości obrotowych, np. 1250, 2500, 3750 obr/min. Przy stałym ustalonym czasie wirowania, np. 5 min.

Na podstawie otrzymanych wyników wybrać optymalną prędkość obrotową odwadniania osadu i przedstawić ją w formie wielokrotności przyspieszenia ziemskiego.

W drugiej części eksperymentu przeprowadzić próby odwirowania dla optymalnej prędkości obrotowej wirówki przy różnym czasie odwirowania, np. 5, 4, 3, 2, 1 min. Po każdym czasie odwadniania oznaczyć jak w pierwszej części eksperymentu objętość i jakość wody osadowej oraz uwodnienie odwirowanego osadu. Na podstawie otrzymanych wyników określić niezbędny czas odwirowania przy optymalnej prędkości obrotowej i obliczyć odpowiadającą temu czasowi prędkość osadzania osadu według wzoru:

$$V = \frac{h}{t} \text{ [mm/s]}$$

gdzie:

h – wysokość słupa osadu w naczynku przed odwirowaniem (droga osadzania) [mm],

t – czas odwirowania [s].

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w postaci tabelarycznej i graficznej.

Prezentacja i analiza wyników badań

Tabela 10.

Efekt odwadniania osadu w zależności od prędkości obrotowej przy stałym czasie wirowania

Oznaczenie	Jednostki	Prędkość obrotowa [obr/min]												
		1250			2500			3750						
		1	2	śr.	1	2	śr.	1	2	śr.				
Ilość cieczy osadowej w stosunku do 1 litra osadu surowego	cm ³													
Zawiesina w cieczy osadowej	mg/l													
Przezroczystość w cieczy osadowej	cm													
Uwodnienie osadu	%													

1,2 – numery naczynek wirówki

Tabela 11.

Efekt odwirowania osadu w zależności od czasu odwirowania przy stałej prędkości obrotowej

Oznaczenie	Jednostki	Prędkość obrotowa.....[obr/min]												
		Czas odwirowania [min]												
		5			4			3						
		1	2	śr.	1	2	śr.	1	2	śr.				
Ilość cieczy osadowej w stosunku do 1 litra osadu surowego	cm ³													
Zawiesina w cieczy osadowej	mg/l													
Przezroczystość w cieczy osadowej	cm													
Uwodnienie osadu	%													

1,2 – numery naczynek wirówki

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- krótkie omówienie zasad odwirowania osadu na wirówkach sedymentacyjnych,
- charakterystykę osadu użytego do badań,
- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metody badawczej,

- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące wyboru optymalnych parametrów odwirowania osadu oraz ocenę przydatności wirówki sedymentacyjnej do odwadniania danego typu osadu.

2.3.4. Odwadnianie osadu na wirówce filtracyjnej

Wprowadzenie

W technologii przeróbki osadów ściekowych istnieje niekiedy konieczność sprawdzenia możliwości zastosowania wirówek filtracyjnych. Wskazane jest więc sprawdzenie w warunkach laboratoryjnych takich parametrów technologicznych jak: wydajność odwirowania dla danego typu tkaniny filtracyjnej oraz dobór właściwej tkaniny. Wydajność wirówki filtracyjnej określona jest ilością odcieku prze-filtrowanego przez 1 m^2 powierzchni tkaniny w ciągu godziny w jednym cyklu filtracji w $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$. Wydajność procesu odwirowania na wirówce filtracyjnej zależy od jakości osadu, tzn. od wielkości oporu właściwego osadu, prędkości obrotowej wirówki oraz typu tkaniny filtracyjnej.

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem badań technologicznych procesu odwirowania na laboratoryjnej wirówce filtracyjnej jest określenie wydajności procesu odwirowania przy stałej prędkości obrotowej przy zastosowaniu różnych tkanin filtracyjnych. W ramach ćwiczenia laboratoryjnego można również określić wpływ prędkości obrotowej wirówki i czasu wirowania na współczynnik rozdziału R .

Zakres ćwiczenia obejmuje określenie następujących parametrów technologicznych procesu:

- wydajność odwirowania,
- dobór właściwej tkaniny filtracyjnej.

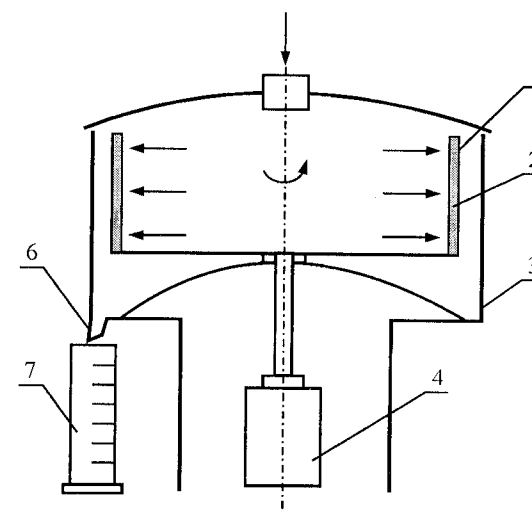
Metoda badań

Badania laboratoryjne procesu odwirowania na wirówce filtracyjnej sprowadzają się przeważnie do określenia wydajności procesu odwirowania przy stałej prędkości obrotowej dla kilku różnych tkanin filtracyjnych. Wydajność procesu odwirowania określa się na podstawie pomiaru ilości filtratu uzyskiwanego w jed-

nostce czasu przy odwirowaniu określonej ilości osadu. Wybór tkaniny filtracyjnej i optymalnych parametrów technologicznych procesu (prędkości i czasu wirowania) zależy od stopnia odwodnienia osadu i jakości uzyskiwanej cieczy osadowej. Do eksperymentu wykorzystuje się laboratoryjną wirówkę filtracyjną.

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- wirówka filtracyjna,
- zestaw sprzętu do oznaczania uwodnienia osadu (parownice, suszarka, waga analityczna, łaźnia wodna),
- zestaw do oznaczania przezroczystości, ChZT, odczynu.



Rys. 8. Wirówka filtracyjna: 1 – wirujący bęben z perforowaną ścianą, 2 – tkanina filtracyjna, 3 – obudowa, 4 – silnik, 5 – dopływ osadu, 6 – odpływ cieczy osadowej, 7 – cylinder miarowy

Przebieg eksperymentu

Z osadu przeznaczanego do badań pobrać po wymieszaniu próbkę w celu oznaczenia uwodnienia. Następnie odmierzyć do zlewki około 5 litrów osadu. Do wirówki założyć tkaninę filtracyjną i włączyć wirówkę. Po ustaleniu się obrotów wlewać powoli próbkę osadu. Jednocześnie odczytywać w odstępach czasowych ilość spływającego do cylindra miarowego filtratu (początkowo co minutę, a w miarę spadku wydajności filtrowania co 5 min). Odwirowywanie przerwać w momencie, gdy ilość cieczy osadowej w cylindrze przestanie wzrastać. Po wyłą-

czeniu wirówki pobrać niewielką ilość osadu (około 5 g) w celu oznaczenia uwodnienia. W wodzie osadowej oznaczyć można: mętność, przezroczystość, odczyn, ChZT, a w razie potrzeby inne oznaczenia zależne od charakteru odwadnianego osadu.

Analogiczne badania prowadzić można dla kilku innych rodzajów tkanin filtracyjnych lub stosując inne prędkości wirowania. Otrzymane wyniki zestawzić w postaci tabelarycznej i graficznej (wykres ilości filtratu, w zależności od czasu odwirowania i rodzaju tkaniny filtracyjnej, w przeliczeniu na jednostkę powierzchni tkaniny). Można również określić średnią wydajność wirówki przy ustalonych parametrach technologicznych (rodzaj tkaniny, czas wirowania, przyspieszenie dośrodkowe); będzie to ilość metrów sześciennych filtratu, uzyskana z 1 m² tkaniny w ciągu 1 godziny odwirowania.

Prezentacja i analiza wyników badań

Tabela 12. Wyniki odwirowania osadu na wirówce filtracyjnej z zastosowaniem różnych tkanin

Oznaczenie	Jednostka	Rodzaj tkaniny filtracyjnej		
		I	II	III
Ciecz osadowa				
Ilość filtratu z 5 litrów osadu po czasie:	cm ³			
1 min				
2 min				
3 min				
4 min				
5 min				
.....				
Mętność	mg/l			
Przezroczystość		cm		
Osad				
Uwodnienie osadu:	%			
– surowego				
– po odwirowaniu				
Współczynnik rozdziału	%			
Wydajność wirówki	m ³ /m ² h			

Tabela 13.

Wyniki odwirowania osadu na wirówce filtracyjnej z zastosowaniem różnych prędkości wirowania

Oznaczenie	Jednostka	Przyspieszenie dośrodkowe		
		I	II	III
Ciecz osadowa				
Ilość filtratu z 5 litrów osadu po czasie:	cm ³			
1 min				
2 min				
3 min				
4 min				
5 min				
.....				
Mętność	mg/l			
Przezroczystość		cm		
Osad				
Uwodnienie osadu:	%			
– surowego				
– po odwirowaniu				
Współczynnik rozdziału	%			
Wydajność wirówki	m ³ /m ² h			

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- krótkie omówienie zasady procesu odwirowania osadów na wirówkach filtracyjnych,
- charakterystykę osadu użytego do badań,
- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metody badawczej,
- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące wydajności wirówki dla stosowanych typów tkanin filtracyjnych oraz jakości filtratu i osadu po odwirowaniu.

2.3.5. Filtracja ciśnieniowa osadu

Wprowadzenie

Proces filtracji ciśnieniowej ma zastosowanie przede wszystkim do osadów trudno odwadniających się, charakteryzujących się dużym oporem filtracji. Najczęściej są to zmulgowane osady przemysłowe pochodzące na przykład z koagu-

lacji ścieków, z galwanizerni itp. Podstawowymi urządzeniami stosowanymi w procesie ciśnieniowego odwadniania osadów ściekowych są prasy filtracyjne ramowe lub komorowe. W prasach filtracyjnych odwadnianie osadów polega na filtracji cieczy przez warstwę osadu utworzoną na przegrodzie filtracyjnej (tkanina filtracyjna). W prasach komorowych stosuje się ciśnienie od 0,3 MPa do 1,5 MPa, a w prasach membranowych jeszcze wyższe [1]. Konsekwencją stosowania wyższego ciśnienia jest znacznie szybsze i wyższe odwadnianie osadów na prasach niż w filtrach próżniowych. W prasach przegrodą filtracyjną jest tkanina, która spełniać musi następujące wymagania:

- niski opór właściwy filtru, stabilny w czasie wielu cykli filtracji (niezatykanie porów tkaniny przez cząstki osadu),
- dobre zapewnienie rozdziału cząstek osadu od cieczy (klarowny odpływ),
- łatwe odpajanie placka osadu.

Dla większości osadów tkaninę filtracyjną dobiera się eksperymentalnie. W celu przyspieszenia filtracji cieczy w większości przypadków osad przed odwadnianiem kondycjonuje się polimerami, koagulantami klasycznymi lub wprowadza środki wspomagające, takie jak trociny, popiół itd. Dawki polimerów ustala się doświadczalnie. Na efektywność odwadniania osadów w prasach wpływa także grubość placka osadu (szerokość komory filtracji), ponieważ osad frakcjonuje się samorzutnie w czasie odwadniania. W większości pras szerokość komory prasy wynosi 3–10 cm. Prasa składa się z kilku lub kilkunastu jednakowych komór filtracji. Siła docisku szczelnych komór do siebie powinna być znacznie wyższa od sił wywołanych ciśnieniem filtracji. Po odwodnieniu, poszczególne komory prasy odsuwa się od siebie i usuwa placki osadu. Podstawowymi parametrami technologicznymi są:

- czas odwadniania,
- obciążenie powierzchni filtracyjnej prasy masą osadu ($\text{kg}\cdot\text{sm}/\text{m}^2\cdot\text{h}$),
- uwodnienie placka osadu.

Szerokie zastosowanie mają również prasy taśmowe, w których ciśnienie filtracji uzyskiwane jest przez mechaniczny docisk tkaniny filtracyjnej obrotowymi wałkami. Urządzenia te charakteryzują się niższym jednostkowym zużyciem energii i dużą przepustowością. Wymagają dużych powierzchni tkaniny filtracyjnej, która ulega szybszemu zużyciu. Prasa taśmowa ma cztery strefy: kondycjonowania, niskiego ciśnienia i wysokiego ciśnienia oraz strefę grawitacyjną. Konwencjonalne prasy taśmowe pozwalają na uzyskanie placka osadu o zawartości 20%–25% suchej masy. Pewną modyfikacją pras filtracyjnych są tzw. prasy tkaninowe lub inaczej workowe. Urządzenia te oparte są również na filtracji cieczy nadosadowej przez warstwę osadu, lecz zupełnie inaczej mają rozwiązany sposób wywierania ciśnienia oraz sposób zasilania w osad (stosuje się w małych oczyszczalniach). Prasy workowe są urządzeniami zarówno estetycznymi jak i efektywnymi oraz

stosunkowo tanimi. Workownice składają się z konstrukcji nośnej, zbiornika rozdzielczego, do którego pompowany jest osad i ewentualnie sprężone powietrze. Poprzez króćce osad napełnia worki – zachodzi proces zagęszczania i odwadniania. Worki powinny być składowane na zdrenowanym składowisku, gdzie zachodzi jeszcze proces suszenia osadu [2].

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Zasadniczym celem ćwiczenia jest dobór tkaniny filtracyjnej oraz określenie optymalnego ciśnienia filtracji dla danej próby osadu. Od ciśnienia filtracji zależy wielkość oporu właściwego osadu, a więc pośrednio czas filtracji osadu. Rodzaj tkaniny filtracyjnej wpływa natomiast na wielkość oporu właściwego przegrody filtracyjnej, ale głównie na jakość filtratu, tzn. ilość zawiesin i stopień zanieczyszczenia cieczy osadowej.

Zakres ćwiczenia obejmuje:

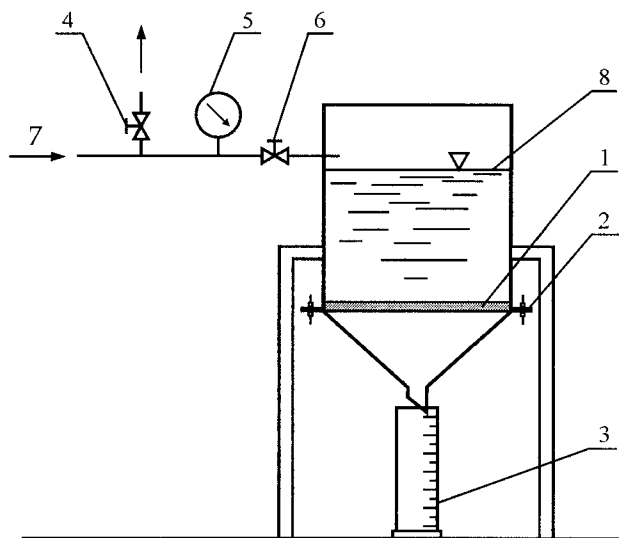
- ustalenie optymalnego ciśnienia filtracji dla danego typu tkaniny filtracyjnej i osadu,
- określenie rodzaju tkaniny filtracyjnej najlepiej odwadniającej osad przy zadanym ciśnieniu filtracji,
- określenie oporu właściwego filtracji różnych rodzajów osadu.

Metoda badań

W celu otrzymania cieczy osadowej o wysokiej przezroczystości i małym zanieczyszczeniu należy stosować tkaniny „gęste”. Jednakże dla filtracji niektórych osadów o strukturze kłaczkowatej wystarczą tkaniny „rzadkie”. W celu dobrania tkaniny należy wykonać kilka prób filtrowania osadu przez różne tkaniny, za każdym razem stosując to samo ciśnienie filtracji. Na podstawie pomiaru ilości przesączu w czasie filtracji oraz uwodnienia osadu przed i po filtracji można obliczyć opór właściwy filtracji. Ponadto powinno się określić stopień zanieczyszczenia filtratu. Na podstawie wyników badań dokonuje się doboru właściwej tkaniny filtracyjnej i ciśnienia filtracji.

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- laboratoryjny model filtru ciśnieniowego do odwadniania osadów,
- stoper,
- tkaniny filtracyjne o różnych gęstościach,
- zestaw sprzętu do oznaczania uwodnienia, odczynu, zasadowości, przezroczystości, ChZT.



Rys. 9. Laboratoryjny model filtru ciśnieniowego do odwadniania osadów: 1 – tkanina filtracyjna na płycie perforowanej, 2 – kołnierz, 3 – cylinder miarowy, 4 – zawór regulacyjny, 5 – manometr, 6 – zawór odcinający, 7 – doprowadzenie powietrza ze sprężarki, 8 – poziom osadu w naczyniu ciśnieniowym

Przebieg eksperymentu

Do badań należy przygotować próbkę osadu w ilości około 2 litrów. Po dokładnym wymieszaniu osadu należy oznaczyć jego uwodnienie. Następnie odmierzyć cylindrem miarowym 500 cm³ osadu i wlać do naczynia ciśnieniowego filtru na założoną tkaninę filtracyjną. Filtr skrócić i włączyć dopływ sprężonego powietrza przy zamkniętym zaworze odcinającym. Zaworem regulacyjnym ustawić żadaną wartość ciśnienia filtracji na manometrze, np. 2 atm. Otworzyć zawór odcinający i rozpocząć proces filtracji ciśnieniowej. Mierzyć ilość filtratu w zależności od czasu filtracji. Koniec procesu następuje w momencie zaobserwowania gwałtownego spadku ciśnienia na manometrze i wydostawania się powietrza z filtru. Należy w tym momencie odciąć dopływ powietrza do filtru. Po rozkręceniu filtru wyjąć tkaninę z plackiem odwodnionego osadu i zmierzyć grubość placka. Pobrać 3–5 gram osadu i oznaczyć jego uwodnienie. W wodzie osadowej wykonać oznaczenia przezroczystości i ilości zawiesiny, a w razie konieczności inne oznaczenia, charakteryzujące jakość filtratu. Obliczyć opór właściwy osadu [5].

$$r = \frac{2bPA^2}{\mu c} \quad [\text{s}^2/\text{g}]$$

gdzie:

r – opór właściwy osadu [s²/g],

b – tangens nachylenia prostej na wykresie $t/V:V$, na którym t oznacza czas filtracji, V oznacza objętość filtratu otrzymanego od rozpoczęcia filtracji w chwili t , b wyrażone jest w [s/cm⁶],

P – podciśnienie (wielkość próżni) [g/cm²],

μ – lepkość filtratu (można przyjąć 0,01 g/cm s),

c – ilość osadu w jednostce objętości filtratu [g/cm³]

$$c = \frac{1}{\frac{c_p}{100 - c_p} - \frac{c_k}{100 - c_k}} \quad [\text{g}/\text{cm}^3]$$

gdzie:

c_p – uwodnienie osadu surowego [%],

c_k – uwodnienie osadu po filtracji [%].

Analogicznie wykonać badania dla innych typów tkanin filtracyjnych, stosując takie samo ciśnienie filtracji oraz rodzaj i ilość osadu.

Wyniki przedstawić w formie tabelarycznej i graficznej (wykresy).

Prezentacja i analiza wyników badań

Tabela 14.

Wyniki filtracji ciśnieniowej osadu przy zastosowaniu różnych tkanin filtracyjnych

Oznaczenia	Jednostki	Typ tkaniny filtracyjnej		
		I	II	III
Osad				
Początkowe uwodnienie osadu	%			
Końcowe uwodnienie osadu	%			
Grubość placka osadu	cm			
Objętość osadu po odwadnianiu	cm ³			
Redukcja objętości osadu	%			
Opór właściwy osadu	s ² /g			
Filtrat				
Łączna ilość filtratu	cm ³			
Przezroczystość	cm			
Ilość zawiesin	g/cm ³			
ChZT	mg O ₂ /l			

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- krótkie omówienie zasady filtracji ciśnieniowej osadu,
- charakterystykę osadu użytego do badań,
- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metody badawczej,
- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące przydatności tkanin filtracyjnych stosowanych w badaniach oraz wydajności procesu i jakości odcieku i osadu.

2.3.6. Test odwadnialności osadu na sączku

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem tego ćwiczenia jest określenie zdolności osadu do odwadniania na sączku przy ciśnieniu atmosferycznym. Jest to najprostszy test, pozwalający określić podatność konkretnego osadu na odwadnianie.

Zakres ćwiczenia obejmuje:

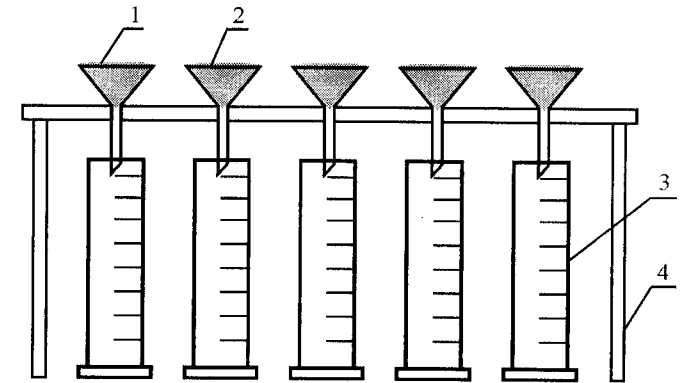
- określenie ilości otrzymanego filtratu w czasie,
- ocenę podatności na odwadnianie różnych prób osadu.

Metoda badań

Badanie polega na pomiarze ilości filtratu w zależności od czasu odwadniania. Do badań używa się sączków z bibuły o średnicy minimum 24 cm, najlepiej średniej twardości, ułożonych w formie pofałdowanej na lejku szklanym. Na tak przygotowany filtr wlewa się określoną porcję dobrze wymieszanego osadu, a następnie notuje ilość przefiltrowanej cieczy osadowej po upływie różnego czasu. Dobrze odwadniającego się osadu powinien po 1 godzinie dać około 100 cm³ filtratu. Z trudno odwadniającego się osadu można uzyskać w tych warunkach około 40 cm³ filtratu.

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- zestaw sprzętu do oznaczania uwodnienia osadu (parownice, suszarka, waga analityczna, łaźnia wodna),
- zestaw do oznaczania przezroczystości, ChZT, odczynu,
- zestaw do odwadniania osadu (cylindry miarowe, lejki, sączki, statyw).



Rys. 10. Zestaw do odwadniania osadu: 1 – sączek, 2 – lejek, 3 – cylinder miarowy, 4 – statyw

Przebieg eksperymentu

Przygotować zestaw do odwadniania osadu, w skład którego wchodzi: sączki średniej twardości, lejki, cylindry miarowe i statyw. Sączki filtracyjne umieścić w lejkach (sączki powinny być pofałdowane), następnie zwilżyć je wodą destylowaną. Przygotowane próby osadu dobrze wymieszać i pobrać niewielką ilość w celu oznaczenia uwodnienia. Tak przygotowane próbki różnych osadów wlać na kolejne filtry. Notować objętość filtratu po czasie 15, 30, 45, 60, 90 minut i 24 godzin. Po zakończeniu filtracji z każdego sączka pobrać po około 5 g osadu w celu określenia uwodnienia [8].

Otrzymane wyniki zestawzić w tabeli oraz sporządzić krzywe filtracji różnych rodzajów osadu, na osi poziomej odkładając czas filtracji, a na pionowej ilość filtratu w przeliczeniu na 1 cm³ osadu.

Prezentacja i analiza wyników badań

Tabela 15.

Wyniki testu odwadnialności osadu na sączkach przy zastosowaniu różnych rodzajów osadu

Oznaczenie	Rodzaj osadu				
	I	II	III	IV	V
Ilość filtratu w cm ³ po czasie:					
15 min					
30 min					
45 min					
60 min					
90 min					
Uwodnienie osadu:					
– przed filtracją					
– po filtracji					

I–V – rodzaje zastosowanych osadów

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- charakterystykę osadu użytego do badań,
- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metody badawczej,
- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące odwadnialności osadu na sączku.

2.4. Stabilizacja osadów

2.4.1. Beztlenowa stabilizacja osadu

Wprowadzenie

Fermentacja metanowa jest biochemicznym procesem gazyfikacji złożonych wielkocząsteczkowych substancji organicznych (białek, węglowodanów i tłuszczów) bez obecności tlenu. Produktem procesu jest gaz, którego podstawowymi składnikami są: metan i dwutlenek węgla.

Obecnie fermentacja osadów jest najpowszechniej stosowana w oczyszczalniach biologicznych ścieków do mineralizacji związków organicznych zawartych w osadach. Ostatnio coraz częściej stosuje się ten proces do mineralizacji zanieczyszczeń organicznych, zawartych w wysoko stężonych ściekach przemysłowych. W zależności od temperatury, w jakiej prowadzi się proces, rozróżnia się:

- fermentację psychrofilową – 8–15°C,
- fermentację mezofilową – 27–35°C,
- fermentację termofilową – 50–55°C.

W praktyce technicznej wykorzystuje się głównie dwa pierwsze sposoby fermentacji. Proces prowadzi się w różnych urządzeniach, takich jak:

- osadniki gnilne (doły Chambeau);
- komory fermentacji zespolone z osadnikiem (osadniki Imhoffa);
- wydzielone otwarte komory fermentacji;
- wydzielone zamknięte komory fermentacji.

Anaerobowy proces gazyfikacji kompleksowych związków organicznych przebiega w czterech charakterystycznych i zasadniczo od siebie różniących się fazach [9]:

- faza hydrolityczna – hydroliza spolimeryzowanych, często nierozpuszczalnych związków organicznych (białka, tłuszcze, węglowodany), katalizowana przez enzymy odpowiednich szczepów bakteryjnych, do związków rozpuszczonych,
- faza acidogenna (zakwaszająca) – substraty fazy hydrolitycznej przetwarzane są przez bakterie acidogenne do krótkołańcuchowych kwasów organicznych (mrówkowego, octowego, propionowego, masłowego, walerianowego), do alkoholi (etanolu, metanolu), aldehydów i produktów gazowych, tj. dwutlenku węgla i wodoru. Niektóre związki powstałe w fazie zakwaszającej mają charakter metanogeny (np. kwas mrówkowy, kwas octowy, metanol, dwutlenek węgla, wodór), w związku z tym mogą być bezpośrednio wykorzystywane przez bakterie metanogenne i przetwarzane do metanu. Metan tworzy się dzięki redukcji dwutlenku węgla wodorem, powodując obniżenie ciśnienia parcjalego metanu, co korzystnie wpływa na prawidłowy rozwój bakterii uczestniczących w trzeciej fazie procesu fermentacji. Faza kwaśna charakteryzuje się spadkiem odczynu do około 5–6 pH. W tej fazie fermentacji nie obserwuje się znaczącej redukcji ChZT i BZT₅ i nie następuje też stabilizacja związków organicznych,
- faza acetogenna – następuje tu przetworzenie wyższych kwasów organicznych do kwasu octowego, który może być wykorzystany do produkcji metanu. Rozkład kwasów organicznych wymaga współpracy wielu gatunków bakterii metanowych,
- faza metanogenna – dominują tu bakterie metanogenne, będące bezwzględnie beztlenowcami i charakteryzujące się bardzo dużą wrażliwością na zmiany temperatury i odczynu środowiska.

W osadzie po fermentacji zawartość substancji organicznych, a także sucha masa spada co najmniej o 30%. Korzystnie maleje uwodnienie osadu. Przefermentowany osad ściekowy ma barwę czarną od zawartości siarczków i substancji ziemistych humusowych. Jest to osad zmineralizowany, shumifikowany, o wysokich wartościach nawozowych. Osad dużo łatwiej się odwadnia i nie wydziela nieprzyjemnych woni w czasie składowania po odwodnieniu.

Czynnikami wpływającymi na proces fermentacji beztlenowej są między innymi: odczyn, temperatura, związki pokarmowe, związki toksyczne, substancje powierzchniowo-czynne, metale ciężkie (Cr, Cu, Cd, Pb, Ni, Hg, Zn).

Kinetykę procesu fermentacji beztlenowej można opisać dwoma sposobami określając prędkość procesu:

- z prędkości powstawania produktu finalnego jakim jest gaz;
- jako równą prędkość reakcji najwolniej zachodzącej w kolejnych etapach rozkładu substratów. Odpowiada to prędkości fermentacji metanowej (drugiej fazy) krótkich i długich łańcuchów kwasów tłuszczowych.

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Zakres badań sprowadzać się może do:

- sprawdzenia w warunkach laboratoryjnych wpływu poszczególnych parametrów na przebieg procesu beztlenowego rozkładu substancji organicznych,
- kontroli urządzeń już eksploatowanych,
- wprowadzenia zmian i usprawnień w eksploatacji.

Jeżeli natomiast badania mają służyć za podstawę do opracowania danych wyjściowych do zaprojektowania nowych urządzeń, zakres badań powinien być znacznie rozszerzony.

W ćwiczeniu przewiduje się przeprowadzenie następujących prób technologicznych i ustalenie następujących parametrów procesu:

- optymalnego czasu trwania fermentacji w określonych warunkach temperatury,
- właściwego odczynu niezbędnego do prawidłowego przebiegu procesu fermentacji,
- jakości osadu po procesie fermentacji,
- wpływu substancji toksycznych lub metali ciężkich na przebieg procesu fermentacji.

Metoda badań

Celem ćwiczenia prowadzonego w skali laboratoryjnej jest wyznaczenie podstawowych zależności opisujących proces fermentacji:

- szybkości rozkładu biomasy w określonej temperaturze,
- normalnego czasu fermentacji,
- obciążenia jednostkowego komór suchą masą osadu (organiczna),

$$O_g = Q_o \cdot Z_o / V_k \text{ [kg s.m.o./m}^3\text{]}$$

gdzie:

O_g – obciążenie komory organiczną suchą masą osadu [kg /m³],

Z_o – początkowa zawartość związków organicznych w osadzie świeżym [kg /m³],

V_k – użyteczna pojemność komory fermentacyjnej [m³],

Q_o – początkowa ilość osadu w komorze [m³];

- stopnia przefermentowania osadów,

$$E = (Z_o - Z'_o) / Z_o \cdot 100 \text{ [%]}$$

gdzie:

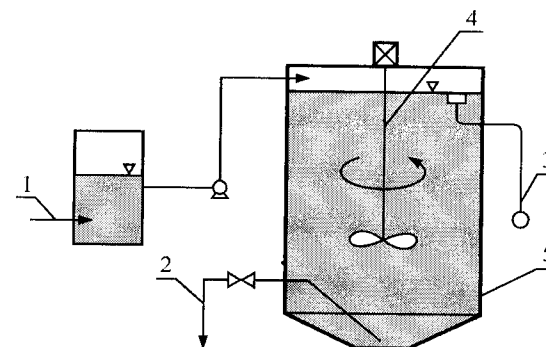
Z_o – jak we wzorze poprzednim,

Z'_o – końcowa zawartość związków organicznych w osadzie świeżym [kg /m³].

- zmian w składzie chemicznym osadu, w zależności od czasu trwania procesu i substancji przeszkadzających.

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- zestaw sprzętu do oznaczania uwodnienia osadu (parownice, suszarka, waga analityczna, łaźnia wodna),
- zestaw do oznaczania przezroczystości, ChZT, odczynu,
- zestaw do odwadniania osadu (cylindry miarowe, lejki, sączki, statyw),
- laboratoryjny zestaw do fermentacji osadów,
- piec do spalania osadów.



Rys. 11. Laboratoryjny zestaw do fermentacji osadów: 1 – dopływ osadu surowego, 2 – odprowadzenie osadu przefermentowanego, 3 – przelew awaryjny, 4 – mieszadło, 5 – płaszcz grzewczy

Przebieg eksperymentu

W osadzie surowym i wodzie nadosadowej można oznaczyć: barwę, zapach, odczyn, suchą pozostałość, pozostałość po prażeniu, straty po prażeniu, uwodnienie, ChZT, ewentualnie zawartość metali ciężkich, zasadowość i kwasowość. Po wykonaniu oznaczeń na osadzie surowym należy zalać model komory fermentacyjnej, mierząc objętość wlanego osadu, sprawdzić poziom wody w płaszczu wodnym, ustawić na termometrach kontaktowych odpowiednią temperaturę procesu

i włączyć ogrzewanie komory oraz jej mieszanie. Po 3–4 tygodniach prowadzenia procesu pobrać osad i wodę nadosadową i przeprowadzić stosowne badania.

W próbkach osadu surowego jak i w próbkach osadu po fermentacji oznaczyć uwodnienie, ChZT, odczyn. Dokładne rozcieńczenia poda prowadzący ćwiczenia. Szczegółowy zakres badań zależy od rodzaju osadu, możliwości czasowych i technicznych oraz parametrów jakie zamierza się ustalić; określa ten zakres prowadzący ćwiczenia. Wskazane jest, aby badania prowadzić na osadzie zaszczerpionym przefermentowanym osadem ściekowym.

Kontrola efektu utylizacji:

- obliczenie efektu zmian odpowiednich parametrów w czasie będzie dotyczyło:
 - suchej pozostałości,
 - pozostałości po prażeniu,
 - strat po prażeniu,
 - chemicznego zapotrzebowania na tlen,
 - ewentualnie zawartości metali ciężkich,
- obliczenia obciążenia jednostkowego komory suchą masą osadu,
- obliczenie stopnia przefermentowania osadów.

Proces kontrolujemy poprzez wykonanie podanych oznaczeń oraz obliczeń. Na podstawie przeprowadzonych badań można pokusić się o obliczenie objętości komór fermentacyjnych.

Należy w takim przypadku mieć następujące dane:

- dobową objętość osadu świeżego doprowadzanego do komory,
- objętość osadu przefermentowanego odprowadzanego z komory w ciągu doby,
- uwodnienie osadu doprowadzanego do komory,
- zawartość substancji organicznych w suchej masie osadu świeżego doprowadzanego w ciągu doby do komory,
- niezbędny czas fermentacji,
- dopuszczalne obciążenie komory masą substancji organicznych zawartych w doprowadzanym do komory osadzie.

Wyżej wymienione dane pozwolą obliczyć wymaganą objętość komór fermentacyjnych dla konkretnego przypadku podanego przez prowadzącego ćwiczenie.

Prezentacja i analiza wyników badań

Tabela 16.

Wyniki analizy osadu przed procesem fermentacji i po procesie fermentacji

Oznaczenie	Jednostka	Przed fermentacją		Po fermentacji	
		osad	woda nadosadowa	osad	woda nadosadowa
barwa	opisowo				
zapach	opisowo				
odczyn	pH				
sucha pozostałość	mg/dm ³				
pozostałość po prażeniu	mg/dm ³				
straty po prażeniu	mg/dm ³				
uwodnienie	%				
ChZT	mg/dm ³				
Z_p/Z_m	mval/dm ³				
K_p/K_m	mval/dm ³				
LKT	mval/dm ³				

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- krótkie omówienie celu i zasady procesu fermentacji,
- charakterystykę osadu użytego do badań,
- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metody badawczej,
- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące szybkości procesu fermentacji i jakości osadu po stabilizacji.

2.4.2. Tlenowa stabilizacja osadu

Wprowadzenie

Tlenowa stabilizacja osadu jest metodą wykorzystującą biologiczny rozkład zanieczyszczeń organicznych zawartych w osadach surowych. Oparta jest ona na tlenowym utlenianiu masy organicznej osadu w warunkach głodu substratowego, tzw. respiracja endogenna. Tlenowa stabilizacja prowadzona jest w wydzielonych otwartych lub zamkniętych komorach z doprowadzeniem powietrza lub równolegle

z oczyszczaniem ścieków w komorach osadu czynnego, tzw. przedłużone napowietrzanie. Tlenowa stabilizacja powoduje zmniejszenie masy osadu.

Podstawowe parametry procesu to:

- zawartość tlenu rozpuszczonego,
- odczyn,
- temperatura,
- szybkość zużycia tlenu oraz wiek osadu.

Wymagany czas przetrzymania osadu w komorze zależy jest od rodzaju osadu i temperatury procesu i wynosi od kilku do dwudziestu kilku dni.

Tlenowa stabilizacja jest energetycznie mniej korzystna niż fermentacja metanowa, ponieważ wymaga ciągłego doprowadzania tlenu (energii). Analiza ekonomiczna wykazuje, że proces tlenowej stabilizacji jest uzasadniony w oczyszczalniach o przepływie ścieków poniżej 5000 m³/d. Związki organiczne osadu w czasie tlenowej stabilizacji rozkładane są do dwutlenku węgla. W otwartych komorach stabilizacji gaz ten jest odprowadzany do atmosfery wraz z powietrzem. W komorach zamkniętych nad zwierciadłem osadu zawartość CO₂ może wzrosnąć do 40% objętościowo, co może wpłynąć na obniżenie odczynu osadu poniżej pH = 6 (konieczność korekty odczynu).

Tlenowa stabilizacja osadu ma tę zaletę, że w cieczy nadosadowej obserwuje się niską zawartość zanieczyszczeń organicznych. Zawracane do układu oczyszczania cieczy nadosadowe z tlenowej stabilizacji nie mają żadnego wpływu na procesy oczyszczania ścieków.

W ostatnich latach rozwijany jest proces tlenowej termofilowej stabilizacji osadu. W procesie tym wykorzystuje się naturalne samoogrzanie osadu (analogia do kompostowania) w warunkach tlenowych do temperatury 60–65°C. Termofilowa tlenowa stabilizacja wymaga doprowadzenia osadu o zawartości nie mniejszej niż 2,5% suchej masy organicznej, co zapewnia samoogrzanie osadu. Zaletą tego procesu jest skrócenie czasu stabilizacji do 3–4 dni oraz temperaturowa (naturalna) stabilizacja osadu. Wadami tego procesu są wyższe koszty dostarczenia tlenu, silne pienienie w komorze oraz znaczna uciążliwość zapachowa. Wymagane są zamknięte komory z instalacją do oczyszczania gazów odlotowych) [2].

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia prowadzonego w skali laboratoryjnej jest wyznaczenie podstawowych zależności opisujących proces stabilizacji tlenowej. Są to następujące zależności:

- optymalny czas stabilizacji osadu,
- stężenie osadu poddawanego stabilizacji,

- obciążenie jednostkowe komór stabilizacji suchą masą osadu (organiczną),

$$O_g = Q_o \cdot Z_o / V_k \text{ [kg s.m.o./m}^3\text{]}$$

gdzie:

O_g – obciążenie komory organiczną suchą masą osadu [kg /m³],

Z_o – początkowa zawartość związków organicznych w osadzie świeżym [kg /m³],

V_k – użyteczna pojemność komory stabilizacji [m³],

Q_o – początkowa ilość osadu w komorze [m³];

- stopnia ustabilizowania osadów,

$$E = (Z_o - Z'_o) / Z_o \cdot 100 \quad [\%]$$

gdzie:

Z_o – jak we wzorze poprzednim,

Z'_o – końcowa zawartość związków organicznych w osadzie świeżym [kg /m³];

- zmiany w składzie chemicznym osadu, w zależności od czasu trwania procesu i substancji przeszkadzających.

Zakres badań sprowadzać się może do:

- sprawdzenia w warunkach laboratoryjnych wpływu poszczególnych parametrów na przebieg procesu beztlenowego rozkładu substancji organicznych,
- kontroli przebiegu procesu tlenowego rozkładu substancji organicznych,
- kontroli urządzeń już eksploatowanych,
- wprowadzenia zmian i usprawnień w eksploatacji.

Jeżeli natomiast badania mają służyć za podstawę do opracowania danych wyjściowych do zaprojektowania nowych urządzeń, zakres badań powinien być znacznie rozszerzony.

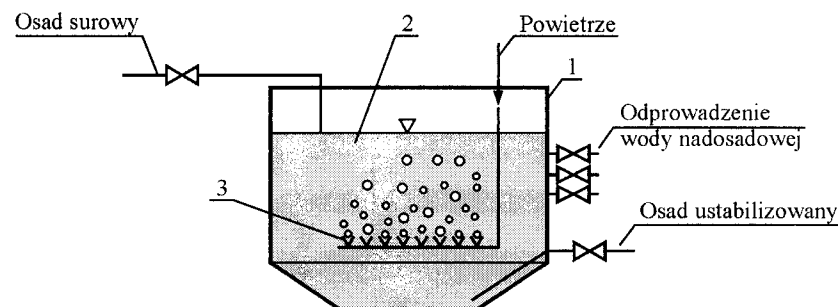
Metoda badań

W ćwiczeniu przewiduje się przeprowadzenie następujących prób technologicznych i ustalenie następujących parametrów procesu:

- optymalnego czasu trwania stabilizacji w określonych warunkach temperatury,
- właściwego odczynu niezbędnego do prawidłowego przebiegu procesu stabilizacji,
- jakości osadu po procesie stabilizacji tlenowej,
- wpływu substancji toksycznych lub metali ciężkich na przebieg procesu stabilizacji.

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- zestaw sprzętu do oznaczania uwodnienia osadu (parownice, suszarka, waga analityczna, łaźnia wodna),
- zestaw do oznaczania przezroczystości, ChZT, odczynu,
- zestaw do odwadniania osadu (cylindry miarowe, lejki, sączi, statyw),
- laboratoryjny zestaw do stabilizacji tlenowej osadów,
- piec do spalania osadów.



Rys. 12. Laboratoryjny zestaw do stabilizacji tlenowej osadów: 1 – komory stabilizacji tlenowej, 2 – stabilizowany osad, 3 – element napowietrzający

Przebieg eksperymentu

Wskazane jest, aby badania prowadzić na osadzie zaszczepionym. W osadzie surowym i wodzie nadosadowej można oznaczyć: barwę, zapach, odczyn, suchą pozostałość, pozostałość po prażeniu, straty po prażeniu, uwodnienie, ChZT, ewentualnie zawartość metali ciężkich, zasadowość i kwasowość. Po wykonaniu oznaczeń na osadzie surowym należy zalać model komory stabilizacji tlenowej, mierząc objętość wlanego osadu, sprawdzić poziom wody w płaszczu wodnym, ustawić na termometrach kontaktowych odpowiednią temperaturę procesu i włączyć ogrzewanie komory oraz jej mieszanie. Po 3–4 tygodniach prowadzenia procesu pobrać z modelu komory stabilizacji osad do badań i wodę nadosadową i przeprowadzić stosowne badania.

Dokładne rozcieńczenia poda prowadzący ćwiczenia. Szczegółowy zakres badań zależy od rodzaju osadu, możliwości czasowych i technicznych oraz parametrów jakie zamierza się ustalić; określa ten zakres prowadzący ćwiczenia.

Kontrola efektu utylizacji będzie obejmować obliczenie wybranych parametrów:

- obliczenie efektu zmian odpowiednich parametrów w czasie będzie dotyczyło:
 - suchej pozostałości,
 - pozostałości po prażeniu,
 - strat po prażeniu,
 - chemicznego zapotrzebowania na tlen,
 - ewentualnie zawartości metali ciężkich,
- obliczenie obciążenia jednostkowego komory suchą masą osadu,
- obliczenie stopnia ustabilizowania osadów.

Proces kontrolujemy poprzez wykonanie oznaczeń fizyczno-chemicznych oraz obliczeń. Na podstawie przeprowadzonych badań można pokusić się o obliczenie objętości komór stabilizacji. Należy w takim przypadku mieć następujące dane:

- dobową objętość osadu świeżego doprowadzanego do komory,
- objętość osadu ustabilizowanego odprowadzanego z komory w ciągu doby,
- uwodnienie osadu doprowadzanego do komory,
- zawartość substancji organicznych w suchej masie osadu świeżego doprowadzanego w ciągu doby do komory,
- niezbędny czas stabilizacji,
- dopuszczalne obciążenie komory masą substancji organicznych zawartych w osadzie doprowadzanym do komory.

Wyżej wymienione dane pozwolą obliczyć wymaganą objętość komór stabilizacji dla konkretnego przypadku podanego przez prowadzącego ćwiczenie.

Prezentacja i analiza wyników badań

Wyniki analizy osadu przed procesem stabilizacji tlenowej i po procesie stabilizacji tlenowej

Tabela 17.

Oznaczenie	Jednostka	Przed stabilizacją		Po stabilizacji	
		osad	woda nadosadowa	osad	woda nadosadowa
barwa	opisowo				
zapach	opisowo				
odczyn	pH				
sucha pozostałość	mg/dm ³				
pozostałość po prażeniu	mg/dm ³				
straty po prażeniu	mg/dm ³				
uwodnienie	%				
ChZT	mg/dm ³				
Z_p/Z_m	mval/dm ³				
K_p/K_m	mval/dm ³				

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- krótkie omówienie podstaw procesu stabilizacji tlenowej osadów,
- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metody badawczej,
- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące optymalnego czasu stabilizacji osadu oraz jakości osadu ustabilizowanego.

2.4.3. Analiza chemiczna gazu pofermentacyjnego

Wprowadzenie

Zadaniem analizy powietrza, spalin i gazów jest wyznaczenie pełnego składu chemicznego mieszaniny gazowej lub też wyznaczenie zawartości jednego lub kilku składników mieszaniny. Skład gazu, otrzymywanego przy fermentacji metanowej osadów ściekowych bada się na zawartość dwutlenku węgla, tlenu, wodoru, metanu i azotu. Przy fermentacji wadliwej dochodzi jeszcze siarkowodór.

Istotną cechą technicznej analizy gazów jest wyznaczenie ilości ściśle określonego składnika gazowego, dlatego też zadaniem tego typu analizy nie jest poszukiwanie składników, które w przypadkowy sposób mogłyby się znaleźć w tej mieszaninie gazowej. Stąd też wynika oczywisty wniosek, dotyczący klasyfikacji instrumentalnych metod pomiarowych, zarówno pod względem składników gazowych, jak i zakresu (przewidywanych) stężeń. Metody pomiarowe są przy tym z zasady metodami ilościowymi, których wyniki są obarczone mniejszym lub większym błędem. Wielkościami miarodajnymi dla doboru przyrządów pomiarowych powinny być: zakres występujących stężeń składników gazowych oraz wymagana dokładność pomiaru.

W przypadku fermentacji beztlenowej osadów ściekowych kinetykę tego procesu możemy opisać między innymi poprzez określenie prędkości powstawania produktu finalnego, jakim jest gaz. Doświadczalnie stwierdzono, że prędkość wydzielania się gazu w procesie nie jest stałą w czasie. W początkowej fazie ma ona tendencję wzrostową, gdyż jest proporcjonalna do ilości wytwarzanego w danej chwili gazu.

W następnej fazie beztlenowego rozkładu związków organicznych, prędkość procesu wykazuje tendencję malejącą. Ilość wydzielonego w czasie gazu zaczyna być proporcjonalna do deficytu gazu, tj. do różnicy między maksymalną ilością

gazu możliwą do osiągnięcia w praktyce a ilością osiągniętą w rozpatrywanym czasie t .

Należy tu podkreślić, że w warunkach normalnej eksploatacji komory fermentacji w warunkach technicznych ma miejsce wyłącznie faza druga. Pierwsza faza charakteryzuje kinetykę procesu tylko w okresie tzw. „wpracowania” komory. Według Roedigera w praktyce ilość gazu możliwa do uzyskania w procesie technicznym powinna wynosić $0,65 G_{\max}$, co jednocześnie limituje konieczny techniczny czas fermentacji.

Do identyfikacji oraz ilościowego oznaczania zawartości składnika gazowego w mieszaninie wykorzystuje się wiele charakterystycznych jego właściwości, zarówno chemicznych, jak i fizycznych. W zależności od tego, która z tych cech jest podstawą pomiaru występuje podział metod na: chemiczne i fizyczne.

Przykładowy skład gazu pochodzącego z fermentacji metanowej różnych osadów ściekowych przedstawiono w poniższej tabeli:

Składnik	% objętości
dwutlenek węgla	5,2 – 27,3
azot	0,4 – 17,4
tlen	0,0 – 1,4
wodór	5,1 – 8,2
metan	66,9 – 82,8

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem ćwiczenia prowadzonego w skali laboratoryjnej jest analiza zmian składu mieszaniny gazowej wydzielającej się w czasie fermentacji metanowej osadów ściekowych.

Zakres ćwiczenia obejmuje:

- określenie procentowego, objętościowego składu otrzymanej mieszaniny gazowej w czasie fermentacji metanowej osadów ściekowych,
- określenie ilości otrzymywanego gazu z 1 kg związków organicznych,
- wyznaczenie kinetyki procesu fermentacji metanowej na podstawie prędkości wydzielania się gazu.

Metoda badań

Szczegółowy zakres badań zależy od rodzaju gazu, możliwości czasowych i technicznych i każdorazowo ten zakres ustala prowadzący ćwiczenia.

W przypadku określenia procentowego składu gazu otrzymywanego podczas fermentacji metanowej osadów ściekowych w próbce gazu należy oznaczyć: dwu-

tlenek węgla, węglowodory ciężkie, tlen, tlenek węgla i, jeżeli dysponujemy odpowiednim aparatem, wodór i metan.

Przy określaniu kinetyki procesu fermentacji na podstawie prędkości powstawania gazu należy codziennie zapisywać ilość wydzielonego gazu aż do momentu jego zaniku, należy sporządzić wykres ilości wydzielonego gazu w zależności od czasu trwania procesu fermentacji. Na końcu należy określić ilość otrzymywanego gazu z 1 kg rozłożonych związków organicznych i jednostkowej objętości komory.

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- miernik elektroniczny do wybranych składników biogazu,
- wodny laboratoryjny gazomierz do mierzenia ilości wydzielającego się gazu jaki przepływa przez urządzenie z dokładnością do 0,001 Ndm³,
- pompka do poboru prób gazu.

Przebieg eksperymentu

W zależności od rodzaju miernika i oznaczanego składnika biogazu należy pobrać pompką odpowiednią ilość gazu przez fiolkę z substancją adsorbującą i odczytać na podziałce wynik. Za wyniki miarodajne analizy poszczególnych składników mieszaniny gazowej należy przyjąć średnią arytmetyczną wyników z co najmniej dwóch oznaczeń.

Wyniki analizy gazu wydzielającego się w procesie fermentacji metanowej osadów ściekowych należy przeprowadzić na początku jego wydzielania, w środku trwania procesu oraz w przypadku stwierdzenia momentu zaniku jego wytwarzania, wskazany jest codzienny pomiar ilości wydzielającego się gazu. Wyniki należy zestawić w dwóch tabelach.

Prezentacja i analiza wyników badań

Tabela 18.

Procentowy skład objętościowy gazu

Oznaczenie	Początek trwania procesu	Środek trwania procesu	Zanik wydzielania się gazu
CO ₂			
C _n H _m			
O ₂			
CO			
H ₂			
CH ₂			
ilość gazu V w Ndm ³			

Tabela 19.

Ilość wydzielającego się gazu dobowo i sumaryczna

Czas fermentacji w [d]	Ilość gazu w [Ndm ³ /d]	Sumaryczna ilość gazu w [Ndm ³]
1		
2		
3		
4		
.....		

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metody badawczej,
- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące ilości i składu biogazu.

2.5. Suszenie termiczne osadów

Wprowadzenie

Suszenie termiczne wykorzystywane jest do przyspieszenia usuwania wody z osadów poprzez kontakt z gorącym powietrzem lub gorącymi gazami spalinyowymi. Suszenie termiczne stosowane jest często jako uzupełniający stopień odwadniania osadów przed ich spalaniem. Mechanizm fizyczny odwadniania termicznego zbliżony jest do odwadniania naturalnego. Do suszenia wykorzystuje się: suszarki rozpyłowe, suszarki obrotowe itp.

Suszarki rozpyłowe działają na zasadzie kontaktu rozpylonego osadu z gorącym powietrzem lub spalinami, najczęściej w przeciwnym kierunku. Z uwagi na dużą powierzchnię kontaktu czas suszenia jest krótki (sekundy) a efektywność odwadniania duża. Suszarki tego typu stosowane są do odwadniania osadów spalanych w piecach fluidalnych lub wykorzystywanych do celów rolniczych (łatwość granulacji).

Suszarki obrotowe działają na zasadzie zbliżonej do zasady działania pieców obrotowych w przemyśle cementowym lub zamkniętych ogrzewanych przenośników ślimakowych. Suszenie termiczne jest procesem energochłonnym (należy stosować kilka wymienników ciepła). Odparowaną z osadu wodę należy z czynnika suszącego wydzielić (schłodzenie, wymienniki ciepła) i następnie zawrócić do układu oczyszczania ścieków. W suszeniu termicznym nie występuje rozkład

związków organicznych zawartych w osadzie. Suszenie termiczne może być związane z uciążliwością zapachową, co wymaga dezodoryzacji czynnika suszącego [2].

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

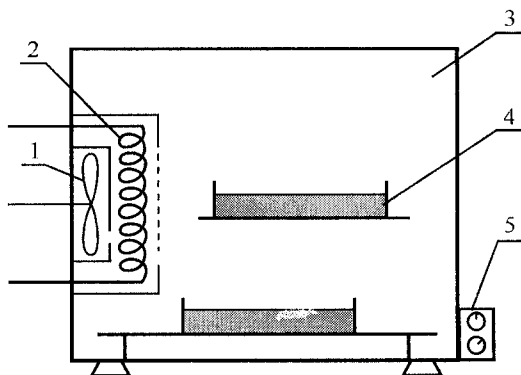
W celu opracowania założeń technologicznych procesu suszenia należy określić wilgotność osadu przed wysuszeniem i po wysuszeniu w przyjętych warunkach oraz określić zapotrzebowanie na energię cieplną niezbędną do podgrzania masy osadu i odparowania wody. Celem ćwiczenia jest określenie wpływu temperatury i czasu suszenia osadu na końcowe uwodnienie osadu.

Zakres ćwiczenia laboratoryjnego obejmuje:

- ustalenie niezbędnego czasu suszenia osadu w zadanej temperaturze,
- określenie optymalnej temperatury suszenia osadu.

Metoda badań

Suszenie odbywa się poprzez doprowadzenie energii cieplnej z zewnątrz, wytworzonej sztucznie. Wykorzystuje się podgrzane powietrze w suszarce lub piec mufłowy, w którym osad może zostać spalony bezpośrednio po wysuszeniu. Suszenie pozwala na usunięcie wilgoci do poziomu 5–20%. Podczas suszenia należy zapewnić możliwie jak największą powierzchnię kontaktu suszonego materiału z powietrzem. W warunkach laboratoryjnych uzyskuje się to przez zastosowanie do suszonych próbek osadu płaskich naczyń o dużej średnicy, np. szalek Petriego.



Rys. 13. Piec do suszenia osadów: 1 – wentylator, 2 – element grzewczy, 3 – piec półkowy, 4 – suszony osad, 5 – regulator

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- zestaw sprzętu do oznaczania uwodnienia osadu (parownice, suszarka, waga analityczna, łaźnia wodna),
- suszarka,
- stoper,
- piec do spalania osadów.

Przebieg eksperymentu

W próbach osadu przewidzianych do suszenia termicznego należy oznaczyć uwodnienie. Następnie pobrać po około 200 cm³ osadu, wlać na płytkę Petriego i wstawić do suszarki. Ustalić stałą temperaturę suszenia maksimum 100°C i rozpocząć proces. W odstępach piętnastominutowych pobierać próbę osadu i po dokładnym wymieszaniu oznaczać uwodnienie.

Ćwiczenie można przeprowadzić również pod kątem ustalenia wpływu temperatury suszenia na uwodnienie osadu. Należy wówczas suszyć kolejno próby osadu w różnej temperaturze, np. 40, 60, 80, 100°C w stałym czasie 30 minut i po suszeniu oznaczać w wymieszanych próbach uwodnienie. Uzyskane wyniki badań zestawzić w tabeli oraz w postaci graficznej (wykresy zmian uwodnienia osadu w zależności od czasu i temperatury suszenia).

Prezentacja i analiza wyników badań

Tabela 20.
Zmiany uwodnienia osadu w zależności od czasu i temperatury suszenia

Osad	Uwodnienie [%]
Surowy	
Suszony w stałej temperaturze 100°C po:	
15 min	
30 min	
45 min	
60 min	
Suszony w czasie 30 minut w temperaturze:	
40°C	
60°C	
80°C	
100°C	

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- krótkie omówienie podstaw procesu termicznego suszenia osadów,
- charakterystykę osadu użytego do badań,
- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metody badawczej,
- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące efektywności procesu.

2.6. Higienizacja wapnem

Wprowadzenie

Dodając do osadów zmieszanych wapno w dawkach do 1 kg CaO/kg s.m. można uzyskać daleko idącą stabilizację i higienizację osadu. Dawka wapna musi być dobiegana zależnie od rodzaju osadu oraz od wymaganego stopnia higienizacji i stabilizacji. Higienizacja zależy od iloczynu temperatury, odczynu i czasu; najważniejsza jednak wydaje się być temperatura. Utrzymanie odczynu $\text{pH} > 12$ przez minimum 2 godziny, a następnie $\text{pH} > 11,5$ przez kolejne 22 godziny pozwala na osiągnięcie wysokiej mineralizacji (pasteryzacji) i higienizacji osadu. O pełnej higienizacji można mówić wtedy, gdy utrzyma się dodatkowo temperaturę powyżej 70°C przez okres powyżej 30 minut.

Dodanie dostatecznej ilości wapna do osadu powoduje:

- zmniejszenie ilości organizmów chorobotwórczych,
- zmniejszenie ilości związków organicznych (suchej masy organicznej),
- zmniejszenie ilości wody w osadzie (tworzą się wodorotlenki),
- zwiększenie suchej masy osadu,
- „unieruchomienie” niektórych metali ciężkich w osadzie,
- wyeliminowanie odorów,
- poprawę tych własności osadu, które ułatwiają jego transport.

Wskutek wzmoczonego zainteresowania rolniczym i przyrodniczym wykorzystaniem osadu obserwuje się wyraźny wzrost zainteresowania wapnowaniem osadów [10].

Problem właściwej higienizacji osadów przez wapnowanie leży w tym, że mała dawka wapna, około $0,1 \text{ kg Ca(OH)}_2$ na 1 kg suchej masy osadu uwodnionego może nie podnieść odczynu ani temperatury wystarczająco wysoko i na odpowiednio długi czas. Dawka ta, zastosowana do osadu suchego (60% s.m.) będzie

miała działanie silnie higienizacyjne. Wprowadzenie tak niskiej dawki wapna do osadu uwodnionego da na pewno inny, gorszy efekt higienizacji [2].

Cel i zakres ćwiczenia laboratoryjnego

Celem poniższego ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą wapnowania osadów oraz z higienizacją osadów. Pozwoli ono uściślić dawki wapna i określić efekt procesu. Celem ćwiczenia jest również poznanie mechanizmu procesu higienizacji osadów wapnem.

Zakres ćwiczenia obejmuje:

- ustalenie dawek wapna stosowanych w procesie higienizacji osadu,
- kontrolę temperatury w pierwszych godzinach procesu,
- kontrolę odczynu w pierwszych godzinach procesu.

Metoda badań

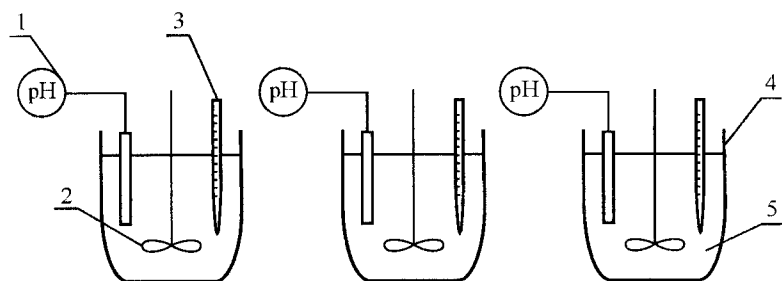
Metoda badań polega na ustaleniu optymalnej dawki wapna, która zapewni właściwą higienizację osadów. Dawkę wapna należy przeliczyć na 1 kg suchej masy osadu. Parametrami kontrolnymi procesu podlegającymi analizie jest temperatura i odczyn. Próby osadu powinny być szybko i bardzo dokładnie wymieszane z wapnem. Utrzymanie odczynu $\text{pH} > 12$ przez minimum 2 godziny i osiągnięcie w pierwszych 30 min wzrostu temperatury do 70°C zapewnia pełną higienizację osadu.

Badania w warunkach laboratoryjnych najlepiej przeprowadzać w pojemnikach z tworzywa sztucznego, umożliwiających wymieszanie z wapnem minimum 5 litrów osadu.

W ćwiczeniu można również sprawdzić jak dawka wapna wpływa na zmianę uwodnienia suchej pozostałości osadu.

Opis stanowiska badawczego, aparatura i szkło

- plastikowe pojemniki o pojemności około 10 litrów,
- Mieszadło,
- termometr laboratoryjny,
- pehametr,
- zestaw sprzętu do oznaczania uwodnienia osadu (parownice, suszarka, waga analityczna, łaźnia wodna),
- suszarka,
- stoper,
- piec do spalania osadów.



Rys. 14. Laboracyjny zestaw do higienizacji osadu: 1 – pehametr, 2 – mieszadło, 3 – termometr, 4 – pojemnik na higienizowany osad

Przebieg eksperymentu

W osadzie surowym należy określić uwodnienie. Ustalić dawkę wapna w zależności od uwodnienia osadu surowego, np. jako 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 kg CaO/kg s.m. osadu. Odmierzyć podaną przez prowadzącego objętość prób osadów (min. 5 litrów) do plastikowych pojemników. Przeliczyć i odmierzyć określone naważki wapna. Wsypać określone dawki wapna do pojemników i dokładnie w krótkim czasie wymieszać z osadem. Obserwację temperatury procesu i kontrolę odczynu prowadzić w sposób ciągły – początkowo co minutę, potem co 5 minut, a następnie co 15 minut – zapisując wyniki pomiarów. Po 2 godzinach od momentu wymieszania prób osadu z wapnem pobrać próbki osadów i oznaczyć uwodnienie.

Wyniki badań zestawzić w postaci tabelarycznej i graficznej (wykresy temperatury i odczynu procesu w zależności od dawki wapna i czasu higienizacji).

Prezentacja i analiza wyników badań

Tabela 21.

Zmiany uwodnienia osadu w zależności od dawki wapna

Osad	Uwodnienie [%]
Surowy	
Po procesie higienizacji wapnem dawką:	
0,1 kg/kg s.m.	
0,2 kg/kg s.m.	
0,3 kg/kg s.m.	
0,4 kg/kg s.m.	
0,5 kg/kg s.m.	

Tabela 22.

Zmiany odczynu i temperatury w czasie procesu higienizacji w zależności od dawki wapna

Czas trwania procesu	Oznaczenie	Jednostka	Dawka wapna kg CaO/kg s.m.				
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1 min	Odczyn	pH					
	Temperatura	°C					
2 min	Odczyn	pH					
	Temperatura	°C					
3 min	Odczyn	pH					
	Temperatura	°C					
...	Odczyn	pH					
	Temperatura	°C					
5 min	Odczyn	pH					
	Temperatura	°C					
10 min	Odczyn	pH					
	Temperatura	°C					
...	Odczyn	pH					
	Temperatura	°C					
30 min	Odczyn	pH					
	Temperatura	°C					
45 min	Odczyn	pH					
	Temperatura	°C					
...	Odczyn	pH					
	Temperatura	°C					
120 min	Odczyn	pH					
	Temperatura	°C					

Sprawozdanie z badań powinno zawierać:

- omówienie celu stosowania procesu higienizacji,
- charakterystykę osadu użytego do badań,
- omówienie celu i zakresu badań,
- opis zastosowanej metody badawczej,
- opis przeprowadzonego eksperymentu,
- tabelaryczne i graficzne przedstawienie uzyskanych wyników,
- wnioski z przeprowadzonych badań, dotyczące efektywności procesu.

Wzór sprawozdania z zajęć laboratoryjnych

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Instytut Inżynierii Środowiska i Rolnictwa
Katedra Technologii Wody Ścieków i Osadów

Sprawozdanie z zajęć laboratoryjnych

Unieszkodliwianie osadów wodnych i ściekowych

Kod:

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Ćwiczenie numer:

Temat

.....
(imię i nazwisko studenta)

Rodzaj studiów: dzienne, zaoczne, wieczorowe, uzupełniające

Kierunek studiów

Specjalność:

Semestr: Grupa laboratoryjna:

Prowadzący ćwiczenia:

--

OCENA

.....
(data wykonania ćwiczenia)

.....
(data i podpis prowadzącego)

Bezpieczeństwo i higiena pracy w laboratorium

Praca w laboratorium jest bardzo niebezpieczna. Podstawowym tworzywem jest szkło, którego kruchość jest często przyczyną wypadków. Niebezpieczeństwo stwarzają też substancje chemiczne o dużych stężeniach. Często sam materiał badawczy jest niebezpieczny dla zdrowia i życia ludzkiego.

Różnorodność pracy w laboratorium powoduje, że wypadki występują tu częściej niż w zakładach produkcyjnych. Najczęściej są to oparzenia termiczne i chemiczne, zranienia, wybuchy i pożary. Zatrucia, szczególnie chroniczne, zdarzają się rzadziej.

W laboratoriach prawie każda czynność wykonana niedbale lub nieumiejętnie może być przyczyną wypadku. W pomieszczeniach laboratoryjnych zbędny sprzęt nie powinien być magazynowany, a osoby wykonujące ćwiczenia powinny mieć możliwość łatwego dostępu do stołów, odczynników i aparatury.

Instrukcja użytkowania szkła laboratoryjnego

- Studenci zobowiązani są do przestrzegania porządku i czystości w salach laboratoryjnych.
- Szkło używane do wykonywania analiz powinno być umyte i przepłukane wodą destylowaną.
- Zabrania się ustawiania szkła na krawędzi stołów i półek.
- Do wyjmowania szkła z płaszczy grzejnych i łaźni wodnych (szkła rozgrzanego) należy używać szczypiec.
- Zabrania się używania uszkodzonych (pękniętych lub wyszczerbionych) naczyń szklanych.
- W przypadku stłuczenia szkła i skaleczenia się nim należy natychmiast powiadomić prowadzącego zajęcia.
- Po zakończeniu zajęć naczynia szklane należy dokładnie umyć i przepłukać wodą destylowaną.
- Zabrania się wynoszenia szkła z sal laboratoryjnych.

Regulamin porządkowy w laboratorium Katedry Technologii Wody Ścieków i Osadów

Regulamin ogólny

- Podczas pracy w laboratorium należy zachować ciszę i skupienie.
- W trakcie wykonywania ćwiczeń wymagany jest porządek na stanowiskach badawczych, zarówno w czasie pracy jak i po jej zakończeniu.
- W pomieszczeniach laboratoryjnych zabrania się spożywania posiłków i palenia papierosów.

Szczegółowe zasady BHP

- Wszelkie prace w laboratorium należy wykonywać w ubraniu ochronnym.
- Prace wykonywane pod zwiększonym ciśnieniem, przy reakcjach silnie egzotermicznych, z substancjami łatwopalnymi, wybuchowymi, żrącymi należy wykonywać w okularach ochronnych.
- Doświadczenia przy użyciu otwartego ognia należy przeprowadzać z dala od substancji łatwopalnych i wybuchowych.
- Po zakończeniu pracy należy sprawdzić, czy kurki gazowe i zawory wodne są zamknięte.
- Pomieszczenie laboratoryjne powinno być wyposażone w środki przeciwpożarowe (gaśnica, koc gaśniczy itp.), umieszczone w widocznym miejscu
- Wszelkie odpady stałe (np. szkło, bibuła itp.) należy wrzucać do specjalnie przeznaczonych pojemników.
- Stężone kwasy i zasady, które zostały zużyte należy wlewać do odpowiednich naczyń kamionkowych.
- Wszystkie doświadczenia prowadzone z użyciem substancji łatwopalnych, żrących, toksycznych i lotnych należy wykonywać pod wyciągiem.
- Prowadzone doświadczenia z użyciem materiału mikrobiologicznego należy wykonywać z zachowaniem zasad higieny. Po skończonych zajęciach należy zdezynfekować ręce 80% alkoholem etylowym, a następnie dokładnie umyć.
- Próby osadów do badań należy pobierać i przenosić w jednorazowych rękawicach ochronnych.

- Zaistniałe wypadki podczas wykonywania pracy laboratoryjnej należy natychmiast zgłosić prowadzącemu ćwiczenia, który powinien udzielić pierwszej pomocy i w przypadku konieczności wezwać lekarza.
- Niezachowanie wyżej wymienionych zasad bhp może stanowić podstawę do usunięcia z laboratoryjnych zajęć dydaktycznych.

Literatura

- [1] **Dymaszewski Z., Oleszkiewicz J., Sozański M., red.:** *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków* ; wydawca PZiTS Oddział w Poznaniu 1997.
- [2] **Oleszkiewicz J., red.:** *Gospodarka osadami ściekowymi. Poradnik decydenta*, wydawca LEM, Kraków, 1998.
- [3] *Laboratoryjne badania wody, ścieków i osadów ściekowych*; Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa. 1997.
- [4] **Sokolowska W., red.:** *Ochrona środowiska w świetle przepisów wynikających z reform administracji państwowej i integracji Polski z Unią Europejską*; Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok, 1999.
- [5] **Cywiński B., Gdula S., Kempa E., Kurbiek J., Płoszański H.:** *Oczyszczanie ścieków miejskich*; Arkady, Warszawa, 1972.
- [6] **Bever J., Stein A., Teimann H.:** *Zaawansowane metody oczyszczania ścieków*; Przem-EKO, Bydgoszcz, 1997.
- [7] **Pitraszek P.:** *Ćwiczenia laboratoryjne z technologii osadów ściekowych*; Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1980.
- [8] **Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J.:** *Fizykochemiczne badanie wody i ścieków*; Arkady, Warszawa, 1999.
- [9] **Bartoszewski K.:** *Kontrola przebiegu procesu fermentacji osadów w komorach fermentacyjnych* – materiały konferencyjne, red. J. Bień, Częstochowa, 1995.
- [10] **Boruszko D., Dąbrowski W., Magrel L.:** *Bilans ścieków i osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków województwa podlaskiego*; Fundacja Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych, Białystok, 1999.