



ZDJĘCIE: ISTOCK.COM / KKOLOSOV

BIOLOGICZNE OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW

Wykorzystanie biomasy osiadłej i zawieszanej w procesach biologicznego oczyszczania ścieków

Oczyszczanie ścieków jest procesem złożonym – wieloetapowym. Stanowi połączenie metod mechanicznych i biologicznych, często również wspomaganymi środkami chemicznymi. Metody biologiczne wykorzystują zawarte w ściekach zanieczyszczenia organiczne (węgiel, azot i fosfor) jako pożywkę dla wyspecjalizowanej grupy mikroorganizmów. Biologiczne oczyszczanie ścieków jest jednym z najważniejszych procesów wykorzystujących procesy biochemiczne w ochronie środowiska.

Eugeniusz Klaczyński

Envirotech Sp. z o.o. w Poznaniu

Zanieczyszczenia zawarte w ściekach w czasie ich biologicznego rozkładu (biodegradacji) zapewniają wolną energię oraz podstawowe pierwiastki biogenne, umożliwiające mikroorganizmom biosyntezę składników komórkowych i w efekcie

przyrost ich biomasy. Zachodzące procesy biochemiczne zależą od jakości ścieków i sposobu prowadzenia procesów technologicznych w oczyszczalni, w szczególności od takich parametrów jak obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń i czas przetrzymania oraz kontrolowania zmiennych warunków prowadzenia procesu w warunkach beztlenowych, niedotlenionych i tlenowych, wymuszających odpowiednie reakcje mikroorganizmów. Należy pamiętać, że obecność w ściekach substancji toksycznych ogranicza aktywność metaboliczną mikroorganizmów lub całkowicie ją hamuje, co może wpłynąć na obniżenie jakości ścieków odprowadzanych do środowiska. Załamanie się procesu może być dla eksploatatora trudne do naprawienia w krótkim czasie. Dlatego tak ważne są kontrola i znajomość źródła zanieczyszczeń, które mogą trafić ze ściekami siecią kanalizacyjną lub są dowożone taborem asenizacyjnym do oczyszczalni.

Istotnym problemem, wpływającym na aktywność mikroorganizmów części biologicznej oczyszczalni, są wody przypadkowe, dopływające nieszczelną siecią kanalizacyjną. Obniżają one w ściekach surowych zawartość substancji organicznych przez rozcieńczenie zanieczyszczeń, redukując ich podatność na biologiczny rozkład. W procesie biologicznego oczyszczania ścieków komunalnych stosuje się najczęściej dwa rozwiązania: technologię z biomasą osiadłą (złóża biologiczne) i technologię z biomasą zawieszoną, wykorzystującą osad czynny. Eksploatowana jest również niewielka liczba oczyszczalni stosujących układ hybrydowy, który stanowi połączenie w jednym reaktorze wykorzystania osadu czynnego i kształtek z biomasą osiadłą.

Złóża biologiczne

W biologicznym usuwaniu zanieczyszczeń jeszcze w latach 90. XX wieku powszechnie wykorzystywano w kraju złóża biologiczne. Zmiany spowodowane wejściem w życie rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 5 listopada 1991 roku, zobowiązują do usuwania ze ście-

ków obok związków węgla również azotu i fosforu, przyczyniły się do stopniowego odejścia od stosowania tego rozwiązania. W technologii złoża biologicznego na stałym złożu rozwija się błona biologiczna składająca się z różnych mikroorganizmów, a przepływające przez złożo ścieki umożliwiają pobieranie z nich substancji odżywczych, enzymatyczne utlenianie oraz redukcję znajdujących się w ściekach zanieczyszczeń. Istotne w tym przypadku jest zapewnienie stałego kontaktu błony biologicznej ze ściekami i właściwe napowietrzenie złoża. Najczęściej stosuje się złoża zraszane (ścieki rozdeszczowane na złożo) w zbiornikach cylindrycznych z zamontowanym na dnie rusztem, nad którym znajduje się wypełnienie fazą stałą, np. kształtkami plastikowymi, koksem, żuzłem, kawałkami skał, gruzem ceglany lub keramzytem (fot. 1).

Zalecana wysokość wypełnienia złoża kruszywem wynosi około 4 m, przy wypełnieniu tworzywem sztucznym jego wysokość powinna być większa. Zakłada się obciążenie hydrauliczne powierzchni złoża ilością ścieków (uwzględniając recyrkulację zewnętrzną) dla wypełnienia kruszywem na poziomie powyżej $0,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, a dla wypełnienia tworzywem sztucznym powyżej $0,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ [1]. Stosuje się zasadę, że dla projektowanego wypełnienia o powierzchni właściwej około $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ i dla oczyszczania ścieków bez nityfikacji obciążenie ładunkiem BZT_5 nie powinno przekraczać wartości $0,4 \text{ kg BZT}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ [1]. Uwzględniając nityfikację, dodatkowo przyjmuje się, że obciążenia złoża ładunkiem azotu ogólnego Kjeldahla (TKN) nie powinny przekraczać $0,1 \text{ kg TKN}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ [1].

Proces denityfikacji na złożach biologicznych jest ograniczony, chociaż na możliwość jego prowadzenia wskazują przeprowadzone w ostatnich latach badania. Wymaga on jednak szczerzego zaniknięcia złoża, by odciąć w ten sposób dopływ powietrza i wspomóc proces denityfikacji wtórnej dodatkowym źródłem węgla. Wymiarując złożo na proces denityfikacji, wykorzystuje się dodatkowe wskaźniki złożeń, przyjmując stężenie azotu w dopływie do oczyszczalni dla temperatury 12°C .



ZDJEKIE: EUGENIUSZ KLACZYŃSKI

FOT. 1. Złożo biologiczne zraszane – wypełnione złożo koksem

W mniejszych oczyszczalniach stosuje się również złoża tarczowe (obracające się na wale), na których przez okresowe zanurzanie się w ściekach wytwarza się błona biologiczna pobierająca pokarm ze ścieków (fot. 2). Błona biologiczna na złożach ulega „złuszczeniu” w miarę jej narastania, a jej grubość nie przekracza zazwyczaj 2–3 mm (odtworza się w wyniku namnożenia się mikroorganizmów). Powstający osad jest oddzielany w procesie sedymentacji w osadnikach wtórnych. Błona składa się głównie z bakterii i grzybów pleśniowych oraz pierwotniaków, wrotków, nicieni i larw owadów.

Przy wymiarowaniu złożeń przeznaczonych do usuwania związków węgla, które realizują również proces nityfikacji, powierzchnię tarcz określa się jako sumę powierzchni obliczonej dla obciążenia ładunkiem $\text{BZT}_5 \cdot \text{d}$ i $\text{TKN} \cdot \text{d}$:

- dla układu dwustopniowego (dwie tarcze) obciążenie tarcz poniżej $8 \text{ g BZT}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ i $1,6 \text{ g TKN}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ [1];
- dla układu trzy- lub czterostopniowego (trzy lub cztery tarcze) obciążenie tarcz poniżej $10 \text{ g BZT}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ i $2 \text{ g TKN}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ [1].

Ogólnie – wymiarując złoża biologiczne zarówno zraszane, jak i tarczowe, można korzystać z wytucznych ATV-DVWK-A 281P [1].

Oprócz ograniczonej denityfikacji złoża biologiczne praktycznie nie mają możliwości usuwania fosforu, które zachodzi w tym przypadku wyłącznie na drodze chemicznego strącania.

Złoża stosuje się w procesach biologicznego oczyszczania ścieków jako tak zwane rozwiązanie hybrydowe. Wówczas złożo biologiczne wykorzystuje się do wstępnego oczyszczania części dopływającego strumienia ścieków, następnie podczyszczony strumień łączy się z pozostałą częścią ścieków oczyszczonych mechanicznie i kieruje się do reaktora biologicznego wykorzystującego w oczyszczaniu ścieków osad czynny.

Osad czynny

Ze względu na wymagane wysokie efektywne usuwanie ze ścieków węgla, azotu i fosforu większość eksploatowanych w kraju oczyszczalni wykorzystuje w biologicznym oczyszczaniu ścieków osad czynny, który jest żywą, kłaczkową zawieszoną gębczastą strukturze

i jasnobrązowej barwie. Aktywną powierzchnię wymiany między środowiskiem zewnętrznym a wnętrzem komórek osadu czynnego stanowi powierzchnia kłaczków i komórek leżących peryferyjnie. Kłaczko-wata struktura osadu powoduje, że powierzchnia kontaktu żywego organizmu ze ściekami przez błonę cytoplazmatyczną jest duża, co sprzyja dyfuzji związków do komórek, a także usuwaniu produktów ich metabolizmu. Na wielkość, kształt i strukturę kłaczek osadu mają wpływ warunki technologiczne prowadzenia procesu (np. warunki tlenowe, wiek osadu i obciążenie go związkami organicznymi). Zbyt duże rozdrobnienie (dyspersja) kłaczek oraz występowanie bardzo licznych bakterii swobodnie pływających jest z punktu widzenia oczyszczania ścieków zjawiskiem niekorzystnym, ponieważ kłaczki nie zostają wówczas zatrzymane w osadniku wtórnym i podwyższają mętność, stężenie zawiesiny ogólnej oraz wartość BZT₅ w ściekach oczyszczonych odprowadzanych do środowiska.

Słaba opadalność osadu to efekt kłaczek charakteryzujących się małą porowatością struktury, dobrą opadalność gwarantują natomiast kłaczki duże i gęste. Gdy kłaczki osadu są zbyt duże, wówczas, pomimo dobrych właściwości sedymentacyjnych osadu, dyfuzja substancji pokarmowych i tlenu ze ścieków oraz usuwanie końcowych produktów przemiany materii są utrudnione.

Powoduje to obniżenie ogólnego efektu oczyszczania ścieków. Na kształt kłaczek i aktywność osadu czynnego wpływ może mieć także obecność w ściekach specyficznych substancji (np. substancji powierzchniowo-czynnych, toksycznego formaldehydu, fenolu lub metali ciężkich).

Osad czynny składa się głównie z mikroorganizmów: heterotroficznych (cudzożywnych) bakterii utleniających substancje organiczne, autotroficznych bakterii nityfikacyjnych i bakterii siarkowych. Ponadto występują w nim pierwotniaki współdziałające w biokoagulacji [2] (biologicznym łączeniu cząstek organicznych zawartych w ściekach), przedstawiciele robaków, organizmy



ZDJEKIE: EUGENIUSZ KLACZYŃSKI

FOT. 2. Złożo biologiczne tarczowe

roślinne i grzyby. Mikroorganizmy stanowią zazwyczaj około 5–20% kłaczek osadu czynnego, jednak odgrywają ważną rolę w kształtowaniu jego właściwości. Niektóre tworzą mikrokolonie, rosną w postaci nitek, budując szkielet kłaczków, lub produkują znaczne ilości żelu wpływającego na uwodnienie kłaczków i jego właściwości odwadniania. Około 80–95% kłaczek stanowią substancje o charakterze koloidalnym [3]. Największą frakcją koloidalną kłaczek tworzą białka i polisacharydy (cukry złożone), ale występują w nim również lipidy (tłuszcze, woski sterole, które uczestniczą w tworzeniu struktur osadu – błon i pęcherzyków), kwasy nukleinowe, pochodzące z rozkładu mikroorganizmów i substancje humusowe z ziemi przedostającej się na przykład ze ściekami socjalno-bytowymi lub nieszczelnościami w sieci kanalizacyjnej. Ważną częścią frakcji koloidalnej są cząstki organiczne i nieorganiczne oraz jony dwu- i trójwartościowe, odpowiedzialne za biokoagulację i utrzymanie struktury i trwałości kłaczków.

Stężenie osadu czynnego w reaktorze biologicznym wynosi zazwyczaj w granicach 2000 ÷ 5000 g suchej masy/m³, a o efektach jego pracy decyduje między innymi wiek osadu. Określa on niezbędny czas przebywania kłaczek osadu czynnego w układzie biologicznym (przed jego odprowadzeniem

z układu jako osadu nadmiernego). Zazwyczaj mieści się w przedziale od kilku do kilkudziesięciu dni i zależy od sposobu prowadzenia procesu oraz czynników zewnętrznych (na przykład temperatury ścieków, indeksu osadu, stopnia przyrostu czy stopnia recyrkulacji wewnętrznej lub zewnętrznej z osadnikami wtórnymi). Istotnym parametrem dla właściwego prowadzenia procesu biologicznego oczyszczania jest obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń – najczęściej wyrażanego jako ładunek BZT₅ g/d, doprowadzonego do komory osadu czynnego w jednostce czasu na masę całkowitą osadu czynnego w komorze reaktora [g s.m./d]. Dla osadu niskoobciążonego wynosi on w granicach 0,2 ÷ 0,6 g BZT₅/g s.m. · d, wysokoobciążonego układ wysokosprawny: 0,4 ÷ 1,5 g BZT₅/g s.m. · d.

Mikroorganizmy osadu czynnego

Podstawowy składnik strukturalny i fizjologiczny ekosystemu osadu czynnego stanowią bakterie z rodzaju *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Zooglea*. Częstym składnikiem osadu są również bakterie nitkowate z rodzaju *Nocardia*, *Sphaerotilus* i *Thiothrix*, których pojawienie się w nadmiernych ilościach powoduje puchnięcie osadu i problemy z usunięciem go w reaktorach biologicznych i osadnikach

wtórnych [2]. Większość bakterii posiada zdolność do tworzenia skupisk (nazywanych skupiskami zoogloalnymi), stanowiących podstawę budowy kłaczków. Bakterie mają ujemny ładunek elektryczny, co powoduje dodatkowe przyciąganie kationów z roztworu i daje początek tzw. bioflokulacji. Ogólna liczba bakterii w systemach biologicznego oczyszczania ścieków waha się od 1,6–109/ml do 2,4–1010/ml [3].

Mikrofaunę osadu czynnego tworzą pierwotniaki (wiciowce, korzenionózki, orzęski). Wiciowce i korzenionózki pobierają pokarm podobnie jak bakterie – na zasadzie osmotroficznej (wchłaniają rozłożoną, dzięki trawieniu zewnętrznemu, płynną materię). Orzęski i niektóre wiciowce są fagotrofami (odżywiają się martwą materią organiczną) i wykorzystują jako pokarm na przykład komórki bakterii. Pierwotniaki są zazwyczaj znacznie większe niż bakterie, ich wielkość waha się od 10 µm do 1000 µm. Żywią się przeważnie bakteriami wolno pływającymi w fazie płynnej, względnie bakteriami na brzegach kłaczków. Pierwotniakami charakterystycznymi dla osadu czynnego są orzęski (*Ciliata*). Powierzchnia ich ciała jest częściowo lub całkowicie pokryta delikatnymi rzęskami, które odgrywają istotną rolę przy poruszaniu się i odżywianiu. Wśród orzęsków wyróżnia się formy swobodnie pływające, pełzające i osiadłe. Występowanie orzęsków pływających, na przykład z rodzaju *Lionotus* i *Oxytricha* oraz *Trachelophyllum pusillum*, *Colpidium colpoda*, *Paramaecium caudatum* jest związane z dużą liczbą występujących w cieczy osadowej bakterii rozproszonych [2]. Orzęski pełzające, na przykład z rodzaju *Aspidisca*, szczególnie *Aspidisca costata*, i osiadłe, na przykład z rodzaju *Vorticella*, *Opercularia*, *Carchesium*, wymagają mniej energii z powodu mniejszej zdolności poruszania. Dlatego też są bardzo charakterystyczne dla dobrze skłaczowanego, wpracowanego osadu o ograniczonej liczbie rozproszonych bakterii [2]. Orzęski osiadłe wznoszą pojedynczo lub w dużych koloniach, tworząc nawet całe kłaczkiki. Pierwotniaki w osadzie czynnym uczestniczą w procesie

bioflokulacji. Stanowią one istotny wskaźnik jakości pracy osadu czynnego, a szczególnie jego obciążenia związkami organicznymi oraz natleniania. Regulują liczebność bakterii, ponieważ odżywiają się nimi, a jednocześnie odmładzają i uaktywniają ich populacje, utrzymując je w fazie logarytmicznego wzrostu. Z kolei przez pożeranie bakterii wolno pływających oddziałują na zwiększenie klarowności ścieków oczyszczonych.

Wśród organizmów wyższych charakterystycznym składnikiem mikrofauny osadu czynnego są przedstawiciele robaków (wrotki, nicienie). Wrotki (*Rotatoria*) występują zwłaszcza w dobrze napowietrzonym i nisko obciążonym ładunkiem zanieczyszczeń osadzie czynnym. Innymi organizmami wyższymi są nicienie (*Nematodes*), jednak ich dotychczasowa rola nie została w pełni poznana. Na ogół większą ich liczebność obserwuje się przy niskim obciążeniu osadu ładunkiem zanieczyszczeń.

Obok wymienionych organizmów w osadzie czynnym mogą także występować nieliczni przedstawiciele mikroflory, którzy wykorzystują jako pokarm przede wszystkim dwutlenek węgla i podstawowe pierwiastki biogenne. Struktura ich występowania jest uzależniona od obecności w ściekach odpowiednich związków chemicznych (amoniaku, siarkowodoru lub substancji organicznych). Najczęściej spotykanymi w ściekach organizmami roślinnymi są sinice *Cyanophyta*. Występują również pewne gatunki grzybów nitkowatych, szczególnie w ściekach o niskim odczynie pH. Grzyby pojawiają się w ściekach także wówczas, gdy ścieki dopływające posiadają właściwości toksyczne oraz odnotowuje się w nich niedobór azotu.

Mechanizmy biologicznego oczyszczania ścieków

Procesy rozkładu materii w osadzie czynnym dominują nad procesami jej syntezy, co prowadzi do dwufazowego procesu oczyszczania ścieków. W pierwszej fazie następuje sorpcja i aglomeracja zanieczyszczeń doprowadzonych ze ściekami przez kłaczkiki osadu. W drugiej fazie zachodzą bezpośrednio lub biochemiczne

utlenianie tych związków, częściowa gazyfikacja do CO₂ i innych gazów oraz produkcja osadu nadmiernego. W wyniku oczyszczania ścieków osadem czynnym następuje znaczne obniżenie ilości rozpuszczonych substancji organicznych, zawiesin i cząstek koloidalnych (tworzących niejednorodną strukturę, w której jedna z substancji jest rozproszona w drugiej). Usuwane są też częściowo rozpuszczone substancje nieorganiczne, zmniejsza się liczebność bakterii, wirusów i innych organizmów żywych. W trakcie badań prowadzonych w oczyszczalni Gdańsk-Wschód, które wykonali Olańczuk-Neyman i inni, wykazano, że skuteczność usuwania bakterii coli pochodzenia kałowego wynosiła 99,06%, paciorkowców kałowych – 91,5%, a bakterii *Clostridium perfringens* – 62,27% [4]. Przynajmniej niektórym jednak asymilowane są znajdujące się w ściekach sole azotowe i fosforowe [5].

Dobrze pracujący osad czynny charakteryzuje się dużą liczbą bakterii zoogloalnych w skupiskach, małą liczbą bakterii wolno pływających, dużą liczbą orzęsków osiadłych oraz wrotków, małą liczbą wiciowców i korzenionózek, brakiem bakterii nitkowatych i grzybów, złotobrazową barwą osadu, gąbczastą strukturą kłaczków i ich średnią wielkością.

Z kolei źle pracujący osad czynny odznacza się dużą liczbą (rozwój masowy) wiciowców i korzenionózek, co świadczy o przeciążeniu osadu związkami organicznymi, małą liczbą orzęsków, dużą liczbą bakterii wolno pływających, nitkowatych i spiralnych, szaroczną barwą osadu, nieprzyjemnym zapachem, bardzo dużymi kłaczkami, nierzadko pokrytymi śluzem.

Obserwacje mikroskopowe osadu czynnego

Przeprowadzenie obserwacji mikroskopowej osadu czynnego pozwala eksploatatorowi oczyszczalni na bardzo szybką ocenę jego kondycji. Przedstawione fotografie osadu czynnego zostały wykonane przez autora w celu określenia zawartych w nim organizmów wyższych, przedstawicieli mikrofauny, będących jednym ze wskaźników pracy osadu

czynnego, oraz scharakteryzowania struktury i postaci kłaczków pobranych z komunalnej oczyszczalni ścieków w Śremie. Obserwacje wykonano prostym mikroskopem optycznym, a strukturę kłaczków osadu w tym przypadku określano przy powiększeniu 25-krotnym (fot. 3a), natomiast badania fauny osadu przy powiększeniu 100-krotnym (fot. 3b–e).

Osad do badań pobierano z recyrkulacji zewnętrznej, czyli dopływu osadu z osadników wtórnych do reaktora biologicznego. W trakcie prowadzonych obserwacji przeglądano całe preparaty, wykonując kilka powtórzeń pobranej próby, co jest zalecane.

Na fotografii 3a widać kłaczkowatą strukturę osadu czynnego, która charakteryzuje się średnią wielkością, strukturą gąbczastą i jasnobrązową barwą. Fauna osadu była w trakcie prowadzonej obserwacji nieliczna i mało zróżnicowana gatunkowo. Wśród przedstawicieli tej grupy organizmów występowały orzęski swobodnie pływające z rodzaju *Lionotus* (fot. 3b), orzęski osiadłe z rodzaju *Opercularia* (fot. 3b), z rodzaju *Vorticella* (fot. 3c) i orzęski pełzające z rodzaju *Aspidisca* (fot. 3d). Sporadycznie odnotowano obecność wrotków (*Rotatoria*) (fot. 3e) i przedstawicieli wiciowców. W badanych próbkach stwierdzono nieliczne bakterie swobodnie pływające, co wskazywało na dobre warunki do zasiedlenia przez bakterie kłaczków osadu. Obserwacje mikroskopowe wykazały sporadyczne występowanie bakterii nitkowatych, których liczebność nie stanowiła zagrożenia dla prawidłowej pracy osadu. Analiza osadu z oczyszczalni ścieków potwierdziła prawidłowy jego wygląd, wykazano jednak, że fauna pod względem gatunkowym jest uboga. Również liczebność w obrębie gatunku była niewielka, a osad charakteryzował się małą ruchliwością.

Osad czynny to zespół mikroorganizmów, którego skład jakościowy i ilościowy oraz aktywność i struktura zależą od jakości ścieków dopływających, przede wszystkim od zawartych w nich łatwo rozkładalnych związków organicznych

oraz parametrów technologicznych prowadzenia procesu oczyszczania ścieków (np. niskie obciążenie osadu czynnego związkami organicznymi w oczyszczalni ścieków w Śremie w trakcie prowadzonych badań mikroskopowych). Wpływ na faunę mają również parametry charakteryzujące stosunek związków węgla organicznego do związków fosforu lub do związków azotu oraz zawartość metali ciężkich w ściekach i zakumulowanych w osadzie czynnym.

Na podstawie prowadzonych przez autora obserwacji mikroskopowych trudno wskazać jednoznaczną przyczynę, dlaczego – pomimo prawidłowej struktury – osad czynny był ubogi gatunkowo i charakteryzował się małą liczebnością w obrębie gatunku w porównaniu z przeprowadzonymi analizami porównawczymi osadu czynnego z innych oczyszczalni. Struktura osadu czynnego, jego bogactwo mikrobiologiczne są specyficzne dla danej zlewni ścieków i uzależnione od struktury ilościowej oraz jakościowej ścieków, zatem trudno ją bezkrytycznie porównywać między oczyszczalniami. Efektywność usuwanych zanieczyszczeń w oczyszczalni w Śremie była bardzo wysoka, spełniała warunki dla ścieków oczyszczonych odprowadzanych do środowiska i była zbliżona do uzyskiwanych w oczyszczalniach, w których osad analizowano w celach porównawczych.

Badając mikroskopowo strukturę kłaczków, można również dużo powiedzieć o istniejących w danym momencie warunkach tlenowych w układzie osadu czynnego, co umożliwia podjęcie odpowiednich działań eksploatacyjnych i przeciwdziałanie powstawaniu niepożądanych skutków. Na przykładzie niedotlenienia układu obserwuje się duże zagęszczenie komórek wewnątrz zaznaczających się centrów, co w skrajnym przypadku powoduje powstanie odrębnych skupisk bakterii w formie kulistej lub elipsoidalnej, oddzielonej od pozostałej części kłaczków osadu. Natomiast w przypadku przetlenienia w strukturze osadu pojawiają się pojedyncze perforacje, których w miarę wzrostu przetlenienia jest coraz więcej i które są coraz większe. Zwiększa

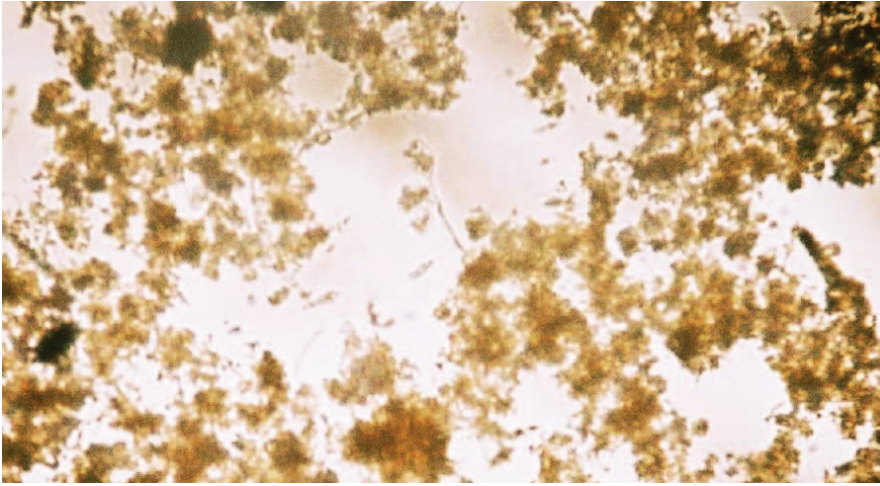
się też liczba bakterii wolno pływających o kształcie cylindrycznym. W skrajnej sytuacji osad jest bardzo rozdrobniony i zaczynają zanikać bakterie o kształcie cylindrycznym. Przetlenie jest widoczne również gołym okiem w postaci pęcherzyków gazu uwieczonych pomiędzy kłaczkami osadu, powodujących odrywanie się kłaczków w pobranej próbie, czego potwierdzeniem jest rozwarstwienie się osadu podczas testu w leju Imhoffa, służącym do objętościowego określenia ilości osadu, a w makroskali utworzenie się zawiesiny na powierzchni osadnika wtórnego.

Wyniki badań mikroskopowych są bardzo cenne dla eksploatatora, jednak powinny być zawsze oceniane i porównywane z danymi technicznymi pracy oczyszczalni, charakteryzującymi pracę osadu czynnego (np. obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń, wiek osadu, stężenie tlenu itd.). Wtedy stają się narzędziem pomagającym w sterowaniu procesem technologicznym.

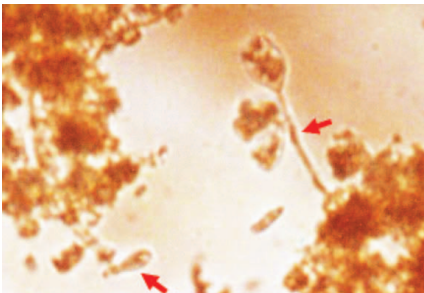
Hodowla osadu czynnego

Najczęściej stosowaną metodą uruchomienia części biologicznej – „rozruchu biologicznego” oczyszczalni ścieków jest „zaszczepienie” reaktora biologicznego osadem przywiezionym z dobrze pracującego innego ciągu technologicznego lub często wręcz z innej oczyszczalni ścieków. Wówczas, mieszając i napowietrzając przywieziony osad, dodaje się równocześnie odpowiednią ilość ścieków, zwiększając stopniowo ilość namnażającego się osadu czynnego. Okres rozruchu trwa do czasu wytworzenia się właściwej dla warunków technologicznych ilości osadu, co uzależnione jest od szybkości wzrostu mikroorganizmów, kondycji osadu wykorzystanego do zaszczenia oraz od specyfiki ścieków dopływających do uruchamianej oczyszczalni. W mniejszych oczyszczalniach proces ten można przyspieszyć, dostarczając do reaktora biologicznego większą ilość dobrze „wpracowanego osadu”. Należy jednak pamiętać, że struktura osadu przywiezionego z innej oczyszczalni (nawet dobrze pracującego) ulegnie zmianie i dostosuje się do parame-

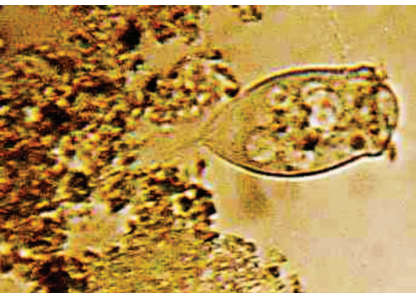
A



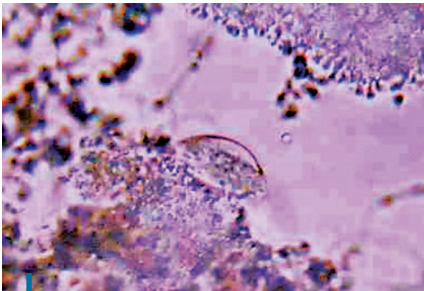
B



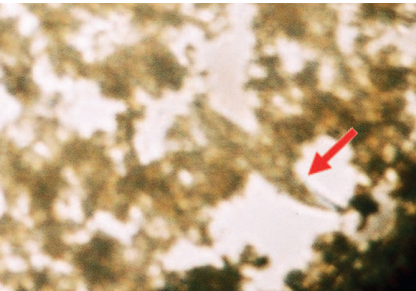
C



D



E



ZDJĘCIE: EUGENIUSZ KLACZYŃSKI

ZIELONA GÓRA-ŁĘŻYCA. Obraz mikroskopowy osadu czynnego z oczyszczalni ścieków w Śremie: a) kłaczkę osadu czynnego z mikrofauną, b) orzęski z rodzaju *Opercularia* i *Lionotus*, c) orzęsek osiadły z rodzaju *Vorticella*, d) orzęsek pełzający *Aspidisca costata*, e) przedstawiciel robaków z rodzaju *Rotatoria*

trów wynikających z jakości ścieków dopływających. Z doświadczeń autora wynika, że równowaga i skład mogą ustalić się nawet po kilku miesiącach pracy uruchomionej oczyszczalni ścieków.

Innym sposobem przeprowadzenia rozruchu oczyszczalni biologicznej jest wyhodowanie osadu czynnego. Sposób ten był szczególnie polecany w czasach, gdy liczba eksploatowanych oczyszczalni biologicznych z osadem czynnym była w naszym kraju niewielka. Proces jest znacznie dłuższy i po-

lega na wprowadzeniu do komory napowietrzania mineralizowanych substancji organicznych, na przykład dobrze użyźnionej ziemi ogrodowej, torfu, dobrze przegniętego nawozu, osadu rzecznoego, osadu ze stawu lub wysuszonego osadu (np. z poletek ociekowych osadów). Stosowane substraty po przemyciu wodą (w celu usunięcia piasku) kieruje się do komory reaktora i napowietrza przez okres co najmniej 12 godzin bez wprowadzenia ścieków, do momentu pojawienia się azotanów.

Osad można również wyhodować za pomocą samych ścieków surowych lub mechanicznie oczyszczonych, napowietrzając ścieki przez 2–3 dni w reaktorze i dostarczając równocześnie do 50% przewidzianej ilości ścieków, zwracając cały czas do komory napowietrzania pojawiające się w osadniku wtórnym kłaczkę osadu. Następnie zamyka się dopływ ścieków (do reaktora) do czasu pojawienia się w reaktorze tlenu i azotanów oraz zredukowania zawartego w ściekach amoniaku. Ścieki dawkuje się do komory napowietrzania wyłącznie przez około trzy godziny dziennie w celu dostarczenia pożywki namnażającemu się osadowi (w ilości korelującej z niezbędnym obciążeniem osadu ładunkiem zanieczyszczeń). Inną stosowaną metodą wyhodowania osadu czynnego (używaną szczególnie w okresie, gdy powszechnie w oczyszczalniach ścieków wykorzystywano złoża biologiczne) jest napowietrzanie przez kilka dni osadu powstającego po złożach biologicznych, oddzielonych i zgromadzonych w osadniku wtórnym.

Sposobów na uruchomienie części biologicznej oczyszczalni z osadem czynnym jest wiele. Z punktu widzenia efektów i szybkości osiągnięcia zakładanych parametrów jakości ścieków odprowadzanych do odbiornika zaszczepianie reaktora osadem z dobrze pracującej oczyszczalni jest dzisiaj najczęściej stosowaną przez technologów praktyką.

Na początku hodowli osadu czynnego pojawiają się bakterie wolno pływające oraz wiciowce i korzenionózki, powstają kłaczkę i skupiska zooglealne, występują licznie pierwotniaki charakterystyczne dla ścieków surowych, należące do grupy zarodźców (*Sarcodina*) [5]. W początkowym okresie rozruchu może wystąpić silne pienienie wywołane przede wszystkim przez białka tworzące ze ściekami układy koloidalne. Następnie pojawiają się orzęski wolno pływające i osiadłe odżywiające się drobnymi kłaczkami osadu i bakteriami, co powoduje powolne zwiększanie się klarowności oczyszczanych ścieków. W miarę wzrostu sprawności pojawia się coraz więcej mikroorganizmów. Niektórzy

technolodzy podkreślają, że dobrą pracą oczyszczalni potwierdza obecność dużej liczby wrotków w osadzie czynnym.

Podsumowanie

Istotna dla eksploatatora jest sprawność układu biologicznego wykorzystującego osad czynny, która zależy od składu morfologicznego mikroorganizmów i właściwości sedymentacyjnych, wpływających z kolei na pracę osadników wtórnych, jak również – w dalszej kolejności – na eksploatację części osadowej oczyszczalni ścieków. Najważniejsze dla funkcjonowania układu biologicznego oczyszczalni jest występowanie mikroorganizmów zapewniających wysokoefektywne utlenianie związków organicznych oraz przeprowadzanie reakcji nityfikacji, denityfikacji i defosfatacji biologicznej. Bardzo istotne jest zachowanie warunków

technologicznych, ograniczających pojawianie się bakterii nitkowatych, powodujących puchnięcie osadu oraz tworzenie piany i kożucha w reaktorze i osadniku wtórnym. Zjawisko to jest problemem, który obserwuje się z różnym natężeniem w wielu eksploatowanych oczyszczalniach ścieków, szczególnie w okresie jesienno-zimowym. Proces wykorzystania osadu czynnego jest

znany od ponad 100 lat, jednak badania jego składu były bardzo ograniczone ze względu na możliwości techniczne. Rozwój technik molekularnych w badaniach mikrobiologicznych w latach 90. XX wieku umożliwił coraz lepsze poznanie dynamiki zachodzących procesów metabolicznych mikroorganizmów wchodzących w skład osadu czynnego i poznanie mechanizmów działania.

Bibliografia

1. Heidrich Z., Witkowski A., Urządzenia do oczyszczania ścieków – projektowanie. Przykłady obliczeń, Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2005.
2. Buraczewski G., Biologia osadu czynnego, PWN, Warszawa 1994.
3. Błaszczak M.K., Mikroorganizmy w ochronie środowiska, PWN, Warszawa 2007.
4. Olańczuk-Neyman K., Stosik-Fleszar H., Mikołajski S., Jakość mikrobiologiczna odpływów z oczyszczalni ścieków „Gdańsk-Wschód”. Oczyszczalnia ścieków „Wschód” w Gdańsku największą inwestycją ochrony Bałtyku u progu XXI wieku, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej, Gdańsk 19–20.06.2000, s. 101–106.
5. Stendhal K., Handbook Water Treatment, KEMIRA AB, Helisngborg.



Eugeniusz Klaczyński

Doktor nauk technicznych w dziedzinie inżynierii środowiska, absolwent studiów podyplomowych w zakresie zarządzania przedsiębiorstwem.

W 1999 roku rozpoczął pracę zawodową związaną z gospodarką wodno-ściekową w Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji w Śremie, na stanowisku z-cy kierownika oczyszczalni ścieków i technologa oczyszczalni ścieków, następnie kierownika oczyszczalni sieci kanalizacyjnej, później pełnił funkcję dyrektora technicznego przedsiębiorstwa. Od 2009 roku na stanowisku dyrektora ds. kontraktów z zakresu gospodarki wodno-ściekowej w firmie Envirotech Sp. z o.o. w Poznaniu.

Autor ponad 60 artykułów w prasie branżowej („Przegląd Komunalny”, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna”, „Wodociągi-Kanalizacja”, „Forum Eksploatatora”) i prelegent na kilkudziesięciu konferencjach.

Do chwili obecnej przygotował wiele opinii technicznych i jest autorem ponad 30 koncepcji w zakresie modernizacji i rozbudowy oczyszczalni ścieków, a także współauto-

rem szeregu innych opracowań. Uczestniczy w projektowaniu, budowie i uruchamianiu licznych oczyszczalni ścieków.

Przeprowadził badania, które pozwoliły zidentyfikować czynniki i wskaźniki wpływające na biologiczne usuwanie azotu i fosforu w trójfazowych reaktorach biologicznych typu Bardenpho, nie tylko w skali laboratoryjnej, ale przede wszystkim w skali technicznej. Wyniki jego pracy zostały pomyslnie wdrożone w trakcie prowadzonej przez niego modernizacji oczyszczalni ścieków w Śremie. W ciągu ostatnich kilku lat rozwiązał problem z zagospodarowaniem osadów ściekowych powstających w trakcie procesów oczyszczania ścieków, których zwierzeniem jest powstanie w oczyszczalniach ścieków instalacji do przetwarzania osadów w produkt wapienny w: Grodzisku Wlkp., Wolsztynie, Śremie, Sierakowicach, Krotoszynie i Złocieńcu. Uczestniczył we współtworzeniu nowoczesnej kompostowni w Choroszczy oraz w Nowej Rudzie. Kilka kolejnych instalacji przetwarzania osadów jest w trakcie budowy lub dzięki jego zaangażowaniu ma przygotowane projekty.

Autor opublikowanej w 2016 roku książki „Komunalne oczyszczalnie ścieków – Podstawy projektowania i eksploatacji”, w której, jako technolog i praktyk z wieloletnim doświadczeniem, przedstawił najczęściej spotykane w krajowych oczyszczalniach komunalnych procesy technologiczne wykorzystywane w mechaniczno-biologicznym oczyszczaniu ścieków. Prezentowane w publikacji przykłady są wynikiem obserwacji, analiz i badań w zakresie oczyszczania ścieków, które prowadził w trakcie dziesięcioletniej pracy w Śremskich Wodociągach oraz doświadczeń nabytych w firmie Envirotech. Przygotowuje opinie, koncepcje techniczne. Członek Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych oraz Stowarzyszenia „Wodociągi Wielkopolskie”, a także do 2021 roku w składzie Rady Programowej czasopisma „Forum Eksploatatora”. Minister rozwoju i technologii decyzją z 6 września 2022 roku nadał dr. Eugeniuszowi Klaczyńskiemu honorową odznakę „Za zasługi dla Budownictwa”.