

ANNA LENART, AGNIESZKA KOWALSKA

*Katedra Mikrobiologii
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
E-mail: annalenart82@gmail.com*

WYKORZYSTANIE OSADU CZYNNEGO W OCZYSZCZANIU ŚCIEKÓW

WSTĘP

W porównaniu do krajów sąsiednich zasoby wodne Polski są ubogie. Raport Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (ALBINIAK 2010) podaje, że zasoby te wynoszą ok. 1500 m³/rok/mieszkańca, co stanowi 36% średniej europejskiej. Profil przemysłowy państwa, liczba ludności, warunki geograficzne i hydrograficzne powodują, że mamy do czynienia z deficytem wód. Mimo że stan czystości wód Polski uważa się za stosunkowo zły, to wg raportu GIOŚ w ostatnich latach stan wód w polskich rzekach poprawia się. Niewątpliwie ma na to wpływ postęp w technologii oczyszczania ścieków i większa świadomość jak ważnym procesem jest oczyszczanie ścieków, które można rozumieć jako odzyskiwanie wody zdatnej do użytku. Znaczna część wód w Polsce jest skażona mikroorganizmami chorobotwórczymi, co dyskwalifikuje je pod względem przydatności do użytku w gospodarstwach domowych.

Wpływ na ten stan ma fakt, że przeważająca ilość ścieków bytowo-gospodarczych odprowadzana jest bez oczyszczenia. Zanieczyszczenia mikrobiologiczne skutecznie usuwane są w procesie oczyszczania metodą osadu czynnego. Obecnie na terenie Polski obok przemysłowych oczyszczalni chemicznych przeważają oczyszczalnie biologiczne z wykorzystaniem tej właśnie metody. Metoda osadu czynnego jest jedną z najpopularniejszych i najskuteczniejszych metod biologicznego oczyszczania ścieków. Przy jej zastosowaniu usuwane są zanieczyszczenia chemiczne i biologiczne, bez szkodliwego wpływu na środowisko. Sam osad czynny to żywa kłaczkowata zawiesina mikroorganizmów, spośród których każdy odgrywa swoją rolę w procesie oczyszczania. Metoda osadu czynnego jest na tyle bezpieczna i uniwersalna, że może być stosowana w przydomowych systemach oczyszczania ścieków.

PODZIAŁ I OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ŚCIEKÓW

W ogólnym rozumieniu ściekami nazywa się wszystkie zużyte ciecze, koloidy, a także znajdujące się w nich odpadowe ciała stałe, które wskutek przemian fizycznych, chemicznych i biologicznych nie mogą być użyte do pierwotnego celu. Ze względu na pochodzenie ścieki dzielimy na bytowo-gospodarcze, przemysłowe, rolnicze oraz wody opadowe, infiltracyjne i podgrzane (BARTOSZEWSKI 1997, CYWIŃSKI i współaut. 1983).

Ścieki bytowo-gospodarcze powstają wskutek zaspokajania codziennych potrzeb człowieka. W przypadku takich ścieków dokonuje się podziału na tzw. odciek z urządzeń gospodarczych oraz odciek pochodzący z toalet, skażony dużą ilością patogenów, takich jak bakterie chorobotwórcze oraz jaja pasożytów (BŁASZCZYK 2007).

Ścieki przemysłowe powstają w wyniku procesów produkcyjnych. Nie ma jednego,

typowego składu ścieków przemysłowych, ponieważ zależy on od profilu działalności zakładu, z którego ścieki są odprowadzane. Są one jednym z najbardziej niebezpiecznych rodzajów ścieków, z uwagi na często toksyczny, trudny do neutralizacji skład. Na neutralizację ścieków przemysłowych kładziony jest szczególny nacisk; niejednokrotnie wymaga to skomplikowanych i drogich procesów.

Ścieki rolnicze pochodzą z wód spływających z pól i gospodarstw rolniczych. Zawierają substancje pochodzenia naturalnego i technicznego o różnym stężeniu. Najpowszechniej odprowadzanym ściekiem rolniczym jest gnojówka. O ile duże gospodarstwa rolne są zwykle regularnie kontrolowane, to ścieki z tych małych gospodarstw często odprowadzane są nielegalnie.

Do ścieków zalicza się także wody pochodzące z opadów atmosferycznych, topniejącego śniegu i lodu z terenów zanieczyszczonych, w tym z centrów miast, terenów przemysłowych, baz transportowych i dróg wraz z parkingami. Ścieki te nazywane są ściekami opadowymi. Ścieki deszczowe są stosunkowo czyste, niebezpieczne są jednak wody pochodzące z opadów atmosferycznych o odczynie mniejszym niż 5,6. Wody te mają w składzie kwasy powstałe wyniku reakcji wody z zawieszonymi w powietrzu gazami. Ponadto w zimie wody pochodzące ze spływów z ulic i chodników zawierają znaczne ilości chlorku sodu, co może być przyczyną nadmiernego zasolenia okolicznych gleb i wód. Wody infiltracyjne i drenażowe, to wody podziemne dostające się do ścieków w wyniku nieszczelności kanalizacji. Wody te mają duży udział w ściekach miejskich, rozrzedzając je, co w przypadku oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego jest zjawiskiem niekorzystnym. Wody podgrzane, wykorzystane uprzednio do chłodzenia często są traktowane jako wody umownie czyste, jednak bywają niebezpieczne dla flory i fauny zbiorników o słabym przepływie wody, gdyż przyczyniają się do eutrofizacji. Ścieki te są najczęściej ubocznym efektem działalności elektrowni i elektrociepłowni.

Ścieki miejskie są połączeniem ścieków pochodzących z gospodarstw domowych, przemysłu, zakładów usług komunalnych, wód infiltrujących, opadów i nielegalnego dopływu ścieków. Cechuje je duża różnorodność składu z uwagi na zróżnicowany profil działalności przemysłowej miast. W dużych, uprzemysłowionych miastach udział ścieków zanieczyszczonych chemicznie jest większy

niż w małych miasteczkach. Nie ma typowego składu ścieków miejskich, należy więc je monitorować, aby móc dobrać odpowiedni, skuteczny program ich oczyszczania (BARTOSZEWSKI 1997, CYWIŃSKI i współaut. 1983). Zanieczyszczenia ścieków można podzielić według kilku kryteriów. Ze względu na ich pochodzenie wyróżnia się zanieczyszczenia naturalne i antropogeniczne. Kolejnym kryterium jest stopień podatności na rozkład. Wyróżnia się łatworozkładalne substancje organiczne, substancje trudnorozkładalne (np. związki metali ciężkich) oraz trwałe, a do nich należą m.in. detergenty lub związki chloroorganiczne. Kluczowym kryterium doboru odpowiedniej metody oczyszczania ścieków jest podział na zanieczyszczenia fizyczne, chemiczne i biologiczne. Te pierwsze można ocenić wzrokowo i są to ciała nierozpuszczone, czyli zawiesiny. Zanieczyszczenia fizyczne mają wpływ między innymi na mętność, gęstość, barwę, temperaturę czy zapach ścieków. Za zanieczyszczenia chemiczne uznawane są rozpuszczone w ściekach związki nieorganiczne i organiczne. Parametry chemiczne w ściekach są oznaczane w warunkach laboratoryjnych na podstawie Polskich Norm, w których znajduje się szczegółowy opis postępowania. Jeśli nie ma podejrzeń o możliwość skażenia ścieków nietypowymi związkami, próbkę bada się najczęściej pod kątem obecności w niej azotu amonowego, azotanowego i azotynowego, fenoli, aldehydu mrówkowego, lotnych kwasów tłuszczowych, fosforu ogólnego czy manganu. Analizą, która dostarcza ogólnej informacji o stopniu zanieczyszczenia ścieków jest oznaczenie biochemicznego zapotrzebowania na tlen (BZT). Jest to umowny wskaźnik, który określa wymaganą ilość tlenu do utlenienia związków organicznych znajdujących się w ściekach przez bakterie tlenowe w temperaturze 20°C, w określonym czasie (najczęściej 5 dni, wówczas mamy do czynienia z zapisem BZT₅). Kolejnym równie ważnym parametrem jest ChZT (chemiczne zapotrzebowanie na tlen), czyli ilość tlenu pobranego z utleniaczy na utlenienie wszystkich związków organicznych i niektórych nieorganicznych. Równie ważną analizą jest OWO – oznaczenie ogólnego węgla organicznego za pomocą urządzenia, w którym następuje spalanie próbki ścieków, a pomiar ilości wytworzonego CO₂ wykonywany jest automatycznie. Wśród zanieczyszczeń chemicznych wyróżnia się także zanieczyszczenia biogenne, które są w dużej mierze odpo-

wiedzialne za eutrofizację i pogorszenie warunków tlenowych w zbiornikach i ciekach wodnych, oraz zanieczyszczenia refrakcyjne, czyli niepodlegające rozkładowi biologicznemu lub podlegające mu w bardzo małym stopniu i są to np. związki metali ciężkich (BARTOSZEWSKI 1997). Zanieczyszczenia biologiczne to mikroorganizmy, zwłaszcza chorobotwórcze. Do najgroźniejszych dla zdrowia i życia człowieka drobnoustrojów mogących znajdować się w ściekach należą bakterie z grupy *coli*, szczególnie pałeczka okrężnicy

Escherichia coli. Duże zagrożenie stanowią też promieniowce *Mycobacterium tuberculosis* (prątek gruźlicy), pałeczka *Salmonella typhi* wywołująca dur brzuszny czy przecinkowiec cholery *Vibrio cholerae*. Odprowadzanie ścieków zanieczyszczonych biologicznie bezpośrednio do odbieralnika jest nielegalne i może być tragiczne w skutkach, gdyż może prowadzić do rozprzestrzeniania się mikroorganizmów chorobotwórczych i stanowić zagrożenie epidemiologiczne.

METODY OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW

Dobór odpowiedniej metody oczyszczania ścieków jest możliwy dzięki analizie reprezentatywnych próbek ścieków. Jest ona konieczna, gdyż nie istnieje jeden standardowy program oczyszczania ścieków. Etapem oczyszczania, który ma miejsce w każdej oczyszczalni w przypadku każdego rodzaju ścieków i każdego stopnia zanieczyszczenia jest wstępne oczyszczanie mechaniczne (pierwszego stopnia). W ramach tej metody wyróżnia się cedzenie, sedymentację i flotację. Są to procesy, w których przy pomocy sit, krat, piaskowników i osadników ze ścieków wyodrębnione zostają grubsze i drobniejsze frakcje. Te pierwsze oddzielane są za pomocą krat i sit o różnej średnicy otworów, natomiast te drugie będące drobnociązką opadającą zawiesziną wyodrębnia się w procesie sedymentacji w piaskownikach lub osadnikach. Odseparowane od ścieków zanieczyszczenia często poddawane są kompostowaniu, spalaniu lub są dołączane do osadu ściekowego. Następnym etapem mechanicznego oczyszczania ścieków jest ich odtłuszczenie w procesie flotacji. Proces ten ma za zadanie wydobyć na powierzchnię głównie tłuszcze przybierające postać kożucha, które następnie są usuwane mechanicznie. Kolejnymi etapami są dwa równorzędne sposoby: oczyszczanie chemiczne i biologiczne. Oczyszczanie chemiczne opiera się na neutralizacji (destylacji, ekstrakcji, koagulacji czy elektrolizie) szkodliwych związków lub ich

wytrącaniu. W sposób chemiczny oczyszczane są głównie ścieki przemysłowe, które skażone są metalami ciężkimi i zawierają znaczną ilość związków organicznych. Procesy samooczyszczania wód zachodzące w sposób naturalny w zbiornikach wodnych zostały zintensyfikowane w oczyszczalniach ścieków i określone jako oczyszczanie biologiczne. Podczas biologicznego oczyszczania ścieków dochodzi do mineralizacji substancji organicznych, usuwania substancji biogennych i eliminowania drobnociąg chorobotwórczych. Najczęściej wykorzystywana jest metoda osadu czynnego, a zaraz po niej metoda złóż biologicznych. Obie metody wykorzystują działanie wybranych grup mikroorganizmów jednak na dwa różne sposoby. W przypadku złóż biologicznych drobnociągi mają postać błony, która powstaje na powierzchni wypełnienia złoża. W metodzie osadu czynnego drobnociągi mają postać kłaczkowatej zawiesziny. Jednak w obu systemach zasada oczyszczania biologicznego jest taka sama. Zanieczyszczenia są przetwarzane na energię a produkty końcowe rozkładu zanieczyszczeń są odprowadzane jako ścieki oczyszczone z oczyszczalni do odbiornika (BARTOSZEWSKI 1997, CYWIŃSKI i współaut. 1983). W procesie oczyszczania biologicznego metodą osadu czynnego zachodzi całkowita mineralizacja materii organicznej do H_2O i CO_2 , zatem do produktów zupełnie nieszkodliwych dla środowiska.

WYKORZYSTANIE OSADU CZYNNEGO W OCZYSZCZANIU ŚCIEKÓW MIEJSKICH

Najbardziej rozpowszechnioną z biologicznych metod oczyszczania ścieków jest metoda osadu czynnego. Jest to proces tleno-

wy i wykorzystuje się w nim mikroorganizmy w postaci kłaczek osadu czynnego. Kłaczki złożone są z heterotroficznych bakterii, two-

rzących skupiska makroskopowych rozmiarów. Do ich tworzenia dochodzi w wyniku łączenia się martwych cząstek organicznych i nieorganicznych z mikroorganizmami. Do wykorzystania kłaczkowatej zawiesiny osadu czynnego zainspirowała ludzi sama natura. Osad czynny ma bowiem w przyrodzie swój naturalny odpowiednik. Kłaczki zasiedlone przez mikroorganizmy znajdują się w jeziorach, rzekach i oceanach, gdzie dokonuje się dzięki nim proces samooczyszczania wód (GROSSARD i SIMON 1993). Najwcześniej zwrócono na nie uwagę w środowisku morskim i z uwagi na skojarzenie ich wyglądu z płatkami śniegu nazwano je „śniegiem morskim” (AZAM i LONG 2001). Kłaczki osadu czynnego wykorzystywanego do oczyszczania ścieków nie różnią się znacząco od tych występujących w zbiornikach naturalnych. W „śniegu morskim” zaobserwowano gatunki bakterii znanych wcześniej właśnie z osadu czynnego (BOCKELMANN i współaut. 2000). Aby osiągnąć maksymalną skuteczność i wydajność osadu czynnego należy zapewnić mu jak naj-

lepsze warunki. Do reaktorów biologicznych, w których znajduje się osad, doprowadzana jest odpowiednia ilość tlenu i substratów; panuje tam również optymalna dla rozwoju bakterii temperatura i pH. Osad jest stale mieszany, co zapobiega jego opadaniu na dno reaktora i pomaga w rozbudowywaniu powierzchni czynnej kłaczek. Kiedy do reaktora biologicznego trafiają oczyszczone mechanicznie ścieki, drobnoustroje zasiedlające kłaczki absorbują substancje rozpuszczone i zawiesiny. Mikrocząsteczki są asymilowane od razu. Inaczej jest w przypadku makrocząstek, które wymagają uprzedniego rozkładu do związków niskocząsteczkowych z udziałem enzymów znajdujących się na powierzchni komórek mikroorganizmów lub wydzielanych do środowiska. W wyniku procesów biochemicznych mikroorganizmy wykorzystują zaabsorbowane substancje jako źródło energii i budulec, co skutkuje usunięciem ich ze ścieków (FIJAŁKOWSKA i współaut. 2010).

SCHEMAT BIOLOGICZNEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW MIEJSKICH

Pierwszym elementem, na który natrafiają doprowadzane do oczyszczalni ścieki są kraty, na których eliminowane są zanieczyszczenia stałe (oczyszczanie mechaniczne). Zanieczyszczenia, które osadzają się na kracie po zebraniu składowane są na wysypiskach. Po usunięciu grubszych frakcji ścieki trafiają do piaskownika, gdzie oddzielane są zawiesiny mineralne. Następnym etapem jest odtłuszczanie w procesie flotacji. Cząsteczki tłuszczu są wypychane na powierzchnię przez pęcherzyki powietrza, po czym unoszą się na powierzchni w postaci okresowo zgarnianej błony lub kożucha. Odtłuszczony ściek trafia do osadnika wstępnego, gdzie w

procesie sedymentacji oddzielane są łatwo opadające zawiesiny organiczne. Wstępnie oczyszczone ścieki trafiają do komory osadu czynnego, gdzie proces oczyszczania ścieków przeprowadzany jest przez mikroorganizmy. W osadniku wtórnym oczyszczone ścieki są oddzielane od osadu czynnego. Część tego osadu jest odprowadzana do komory osadu czynnego jako osad recyrkulowany, a pozostały osad jest usuwany i nazywa się go osadem nadmiernym. Ścieki oczyszczone odprowadzane są do odbiornika, a osad nadmierny zostaje unieszkodliwiony i zagospodarowany (BARTOSZEWSKI 1997).

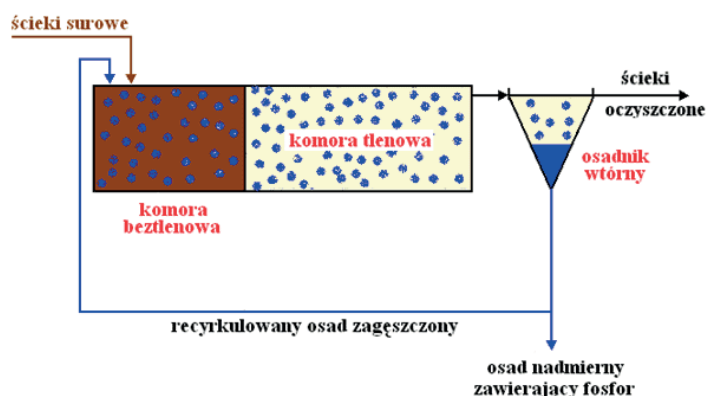
USUWANIE SUBSTANCJI BIOGENNYCH

Usuwanie ze ścieków pierwiastków biogenych, do których zalicza się azot i fosfor jest jednym z ważniejszych zadań oczyszczalni. Pierwiastki te w największym stopniu odpowiedzialne są za eutrofizację zbiorników wodnych, gdyż intensyfikują przyrost biomasy. Wzrost żyzności wód prowadzi do pogorszenia ich jakości, a zwłaszcza panujących w nich warunków tlenowych i bywa zgubny w skutkach dla ich fauny. Proces

ten najbardziej zauważalny jest w jeziorach. Zeutrofizowane jezioro można rozpoznać między innymi po zakwitach, które pogarszają przejrzystość wody. Za występowanie zakwitów odpowiedzialny jest masowy rozwój fitoplanktonu (m.in. sinic i zielenic) w zbiorniku wodnym. Jego efektem jest występowanie kożuchów tworzonych przez sinice, czy też intensywny zielony kolor wody, który może być wynikiem rozwoju zielenic.

Do walki z tym problemem wykorzystuje się biologiczne metody usuwania azotu ze ścieków, a w przypadku fosforu także metody chemiczne (BARTOSZEWSKI 1997, FIJAŁKOWSKA i współaut. 2010). W ściekach miejskich zawartość azotu ogólnego oscyluje średnio w granicach 30–90 mgN/l. Przeważnie ok. 50% stanowi azot amonowy, resztę zaś azot organiczny. Azot usuwany jest w procesie denitryfikacji, w którym ulatnia się do atmosfery jako N_2 . Proces denitryfikacji poprzedza proteoliza (proces hydrolizy białek do aminokwasów z udziałem enzymów proteolitycznych), amonifikacja (przekształcenie aminokwasów w amoniak) oraz nityfikacja (utlenianie amoniaku do azotynów i kolejno do azotanów). Denitryfikacja jest sposobem oddychania niektórych mikroorganizmów, gdy w środowisku brakuje tlenu. Utlenione formy azotu są używane wówczas w zastępstwie tlenu cząsteczkowego, a zredukowany do formy lotnej azot jest produktem ubocznym. W procesie denitryfikacji konieczne jest występowanie utlenionych form azotu, który dopływa do oczyszczalni głównie w formie organicznej i amonowej. Organiczne formy azotu ulegają przekształceniu na jony amonowe w jednym z procesów mineralizacji, określanym jako amonifikacja. Jest on najefektywniej przeprowadzany przez heterotroficzne bakterie tlenowe. Za utlenianie jonów amonowych poprzez azotyny do azotanów odpowiedzialne są bakterie nityfikacyjne – autotrofy przeprowadzające chemosyntezę (FIJAŁKOWSKA i współaut. 2010). Usuwanie azotu ze ścieków przeprowadzane jest przez różne grupy bakterii. Ważne jest zapewnienie im odpowiednich warunków do rozwoju, aby proces ten był efektywny. Jest to niełatwe, gdyż poszczególne grupy mają różne, często wręcz przeciwstawne wymagania środowiskowe, np. obecność łatwo rozkładalnych składników organicznych, koniecznych do denitryfikacji może być czynnikiem zaburzającym nityfikację. Zatem oba te procesy należy oddzielać od siebie w czasie lub przeprowadzać je na innym obszarze. Wyróżnia się dwa rodzaje układów ze względu na położenie strefy denitryfikacji w systemie oczyszczania ścieków. W pierwszym, zgodnym z rzeczywistą kolejnością przemian jakim ulega azot w oczyszczalni, strefa denitryfikacji jest umiejscowiona na końcu procesu. Najpierw następuje mineralizacja związków organicznych przez heterotroficzne bakterie tlenowe, czego wynikiem jest m.in. uwal-

nianie azotu w postaci jonów amonowych. Azot amonowy utleniany jest przez bakterie nityfikacyjne do azotanów. Ostatni etap stanowi strefa denitryfikacji. Do przebiegu denitryfikacji konieczne są warunki beztlenowe, obecność azotanów oraz łatwo przyswajalny substrat organiczny, który na tym etapie w ściekach już nie występuje. Konieczne jest więc jego dostarczanie, przeważnie w postaci metanolu. W przypadku, gdy usuwanie azotu w strefie niedotlenionej ma miejsce na początku układu, wszystkie warunki niezbędne dla sprawnego przeprowadzenia procesu denitryfikacji zostają zapewnione. Ścieki są intensywnie mieszane z recykulowanym osadem pochodzącym z końca komory tlenowej w komorze wstępnej. Dopływające ścieki dostarczają substratów organicznych, natomiast azotany są obecne dzięki recyrkulacji z końca komory tlenowej. Układ, w którym niedotleniona komora denitryfikacji umieszczona jest na początku procesu jest o wiele korzystniejszy od tego, w którym mieści się ona na końcu. Wynika to z jego większej efektywności w sensie ekonomicznym i energetycznym oraz niższych kosztów, gdyż w układzie tym nie jest konieczne zapewnienie substratów organicznych w postaci kosztownego metanolu (BARTOSZEWSKI 1997, FIJAŁKOWSKA i współaut. 2010). Usuwanie fosforu ze ścieków w procesie oczyszczania w warunkach tlenowych jest wykonywane chemicznymi metodami wytrącania tego pierwiastka przez wapń, glin oraz żelazo. Sposób ten ma jednak wady. Konieczne jest bowiem stałe dozowanie odczynników, co generuje koszty. Wytrąceniu ulegają nie tylko fosforany, ale także substancje organiczne, co skutkuje produkcją większej ilości osadów, których zagospodarowanie generuje kolejne koszty. Czasami niemożliwe jest zagospodarowanie osadów ze względu na obecność w nich metali ciężkich. Te negatywne strony metod chemicznych są powodem wzrostu zainteresowania alternatywną defosfatacją biologiczną. Odkryto ją przypadkowo wskutek awarii aeratora, co spowodowało powstanie strefy beztlenowej na początku procesu. Zaobserwowano wówczas, że bakterie wiążą większą ilość fosforu, a jednocześnie wzrasta udział charakterystycznych dla tego procesu drobnoustrojów. Usuwanie fosforu metodą biologiczną polega na pochłanianiu i akumulowaniu przez bakterie reszt fosforanowych. Jest to możliwe dzięki stworzeniu naprzemiennych warunków tlenowych



Ryc. 1. Usuwanie fosforu metodą biologiczną – system A/O (anaerobic/oxic) (FIJAŁKOWSKA i współaut. 2010)

i beztlenowych. Ilość fosforu pochłanianego przez mikroorganizmy w etapie tlenowym jest wielokrotnie większa niż ilość fosforu uwolnionych do środowiska w strefie beztlenowej. Z tej właśnie różnicy wynika fakt usuwania fosforu (Ryc. 1). Biologiczna defosfatacja nie jest też pozbawiona wad. W niektórych przypadkach proces ten wymaga dodawania substancji wytrącających fosfor. Same bakterie prowadzące ten proces są wciąż wielką niewiadomą. Od niedawna badana jest fizjologia mikroorganizmów jednoznacznie identyfikowanych za pomocą sond molekularnych. Dotychczasowe wyniki wskazują na duże zróżnicowanie genetyczne tych bakterii. Biologiczna defosfatacja nie jest nadal w pełni przewidywalnym procesem (SEVIOUR i współaut. 2000). Za jeden z powodów jej niepowodzeń uważana jest konkurencja ze strony tzw. bakterii G (MINO i współaut. 1998). Wiążą one proste związki organiczne bez obecności tlenu, tworząc z nich substancje zapasowe wykorzystywane w fazie tlenowej. Bakterie G nie magazynują jednak fosforu. Źródłem energii potrzebnej do wiązania substratów w fazie beztlenowej jest u nich glikogen. Konkurencja ze strony bakterii G o produkty fermentacji może ograniczać skuteczność lub prowadzić do całkowitego załamania defosfatacji (SEVIOUR i współaut. 2000). Obecnie usuwanie fosfo-

ru i azotu w oczyszczalniach przebiega najczęściej jednocześnie i polega na przepuszczaniu ścieków przez 3 oddzielone strefy. Pierwsza strefa jest całkowicie beztlenowa, kolejna niedotleniona, a ostatnia jest strefą tlenową (strefa nityfikacji). Zastosowanie jednoczesnego usuwania azotu i fosforu w oczyszczalni, mimo iż jest skuteczne i praktyczne, niesie ze sobą kilka problemów. Na rynku światowym funkcjonuje wiele systemów, z których większość jest chroniona patentem, co utrudnia szerokie zastosowanie procesów jednoczesnego biologicznego usuwania biogenów. Pierwszą, najwcześniej opracowaną, stosowaną do dziś metodą kompleksowego usuwania ze ścieków związków biogenych jest A2/O, będąca modyfikacją systemu usuwania fosforu. Polega ona na wstawieniu między komorą tlenową i beztlenową komory niedotlenionej, w której stężenie tlenu jest niższe niż 0,5 mg/l. Równie rozpowszechniony jest pięciostopniowy proces Bardenpho. Ścieki wprowadzane są kolejno do strefy beztlenowej, niedotlenionej, tlenowej, drugiej niedotlenionej i drugiej tlenowej. Dodanie do poprzedniego systemu drugiej komory niedotlenionej zapewnia dodatkową denitryfikację azotanów wytwarzanych przez nityfikatory w strefie natlenionej.

SKŁAD GATUNKOWY OSADU CZYNNEGO

Najważniejszym zadaniem w oczyszczalni ścieków jest zapewnienie dogodnych warunków dla rozwoju drobnoustrojów w niej pracujących. Sprzyja temu intensywne napowietrzanie, sprawna recyrkulacja i odpowiednie obciążanie oczyszczalni. Grupą dominującą w składzie gatunkowym osa-

du czynnego są bakterie heterotroficzne, żywiące się substancjami ściekowymi. Największą z towarzyszących bakteriom grup drobnoustrojów w osadzie są pierwotniaki. Dużą rolę w osadzie odgrywa obecność mikroorganizmów nitkowatych. Rozruch nowej oczyszczalni może ułatwić pewna ilość

osadu czynnego z innej, funkcjonującej już oczyszczalni (szczepienie osadu czynnego). Nie jest to jednak konieczne, gdyż z czasem osad rozmnożyłby się do odpowiedniej ilości sam. Każda oczyszczalnia wytwarza charakterystyczny dla siebie osad. Jego skład jest uwarunkowany składem jakościowym i ilościowym substratów dostarczanych do oczyszczalni, a także wiekiem osadu czy ilością substratów dostarczanych do oczyszczalni. Proces kształtowania się osadu jest nazywany jego dojrzewaniem. Po-

lega on na sukcesji ekologicznej, w której skład gatunkowy osadu czynnego różnicuje się zarówno pod względem ilościowym jak i jakościowym. W zależności od warunków pewne grupy mikroorganizmów namnażają się, a inne mogą zanikać (CICHOWICZ 1995). Początkowo osad złożony jest z bakterii i jednokomórkowych pierwotniaków. Po pewnym czasie przybywa bakterii nitkowatych i pierwotniaków osiadłych. Stopniowo wytwarza się równowaga między mikroorganizmami osadu czynnego.

MORFOLOGIA KŁACZKÓW

Czynnikami stymulującymi i ułatwiającymi powstawanie kłaczków poprzez łączenie się komórek bakterii są: śluz wytwarzany przez bakterie zooglealne, związki polisacharydowe wydzielane przez niektóre bakterie oraz obecność dodatnio naładowanych jonów odpowiedzialnych za łączenie się ujemnie naładowanych komórek bakterii. W skład kłaczków wchodzi głównie żywe organizmy, ale także martwe komórki oraz nierozłożone, duże cząstki organiczne i nieorganiczne. Ze względu na kształt kłaczki dzieli się na zaokrąglone i te o nieregularnych konturach. Tworzeniu się nieregularnych form sprzyja wzmożone obciążenie oczyszczalni oraz duża obecność organizmów nitkowatych. Wyróżnia się trzy struktury kłaczków. Pierwszą, najbardziej pożądaną, jest struktura zwarta (zbita), ale występuje także struktura luźna oraz z aglomeratami. Struktura kłaczków decyduje w dużej mierze o zdolnościach sedymentacyjnych osadu. Kolejnym kryterium oceny morfologii kłaczków jest ich trwałość i tu wyróżnia się kłaczki słabe oraz mocne. O trwałości kłaczków decyduje obciążenie oczyszczalni. Kłaczki słabe są wynikiem niskiego obciążenia substratowego, a mocne średniego. Wielkość kłaczków szacuje się zwykle w granicach od 100 μm do 300 μm , jednak spotykane są też kłaczki mniejsze (<100 μm) i

większe (nawet do 500 μm). Na wielkość kłaczków wpływają przede wszystkim: obciążenie i wiek osadu, czas zatrzymania ścieków w komorze napowietrzania, zawartość związków azotowych w ściekach, sposób i szybkość mieszania w komorze napowietrzania oraz liczebność i aktywność organizmów odżywiających się bakteriami (głównie pierwotniaki). Morfologia kłaczków ma wpływ na zdolności sedymentacyjne. Według tego kryterium osad dzieli się na typowy, zdyspergowany oraz spuchnięty. Typowy osad charakteryzuje się występowaniem mikroorganizmów nitkowatych w obrębie kłaczka, mocnymi kłaczkami oraz klarownym odpływem. W przypadku osadu zdyspergowanego mamy do czynienia ze słabymi kłaczkami, mętnym odpływem i brakiem organizmów nitkowatych. W osadzie spuchniętym obserwuje się nadmierny rozwój organizmów nitkowatych, mocne kłaczki, i klarowny odpływ (KOCWA-SALUCH i WOŹNIAKIEWICZ 2011).

Większość mikroorganizmów typowego osadu czynnego skupiona jest w kłaczkach, niewielka ich ilość pływa poza ich obrębem. Głównym składnikiem osadu są heterotroficzne bakterie właściwe, oprócz nich w skład kłaczków wchodzi mikroorganizmy nitkowane, pierwotniaki i zwierzęta tkankowe.

PIERWOTNIAKI

„Pierwotniaki to jeden z najbardziej zaniebanych aspektów procesu osadu czynnego. Zawsze są widoczne w mikroskopie, rzadko w literaturze, nigdy nie widać ich w modelach” (VAN LOOSDRECHT i HENZE 1999). Udział pierwotniaków w całkowitej masie osadu wynosi kilka procent, a ich zagęszczenie

waha się od kilku do kilkudziesięciu komórek na mililitr. Mimo iż najważniejszą z grup drobnoustrojów osadu czynnego są bakterie, to pierwotniaki dostarczają największej ilości informacji na temat osadu. Najczęściej spotykanymi gromadami pierwotniaków są orzęski (Ciliata), sysydliczki (Suctoria), korzenionóż-

ki (Rhisopoda), wiciowce (Flagellata) oraz słonecznice (Heliozoa). Obserwacja zmian zachodzących w ich składzie gatunkowym oraz ilościowym jest kluczowa w ocenie pracy osadu. Obecnie powszechnie wiadomym jest, że mają one duży udział w procesie oczyszczania ścieków. Liczne badania przeprowadzone przez naukowców w osadzie czynnym wykazywały, że w przypadku braku tych organizmów lub ich niewielkiej liczebności, jakość odpływu z oczyszczalni charakteryzuje się o wiele gorszymi parametrami. Podstawową rolę większości wolno żyjących pierwotniaków jest rola konsumentów. W osadzie występują zarówno orzęski osiadłe (*Carchesium* spp., *Epistylis* spp., *Opercularia microdiscum*), pływające (np. *Aspidisca cicada*), swobodnie pływające (np. *Colpoda* spp., *Colpidium colpoda*), jak i drapieżne (np. *Holotricha*). Orzęski pochłaniają bakterie i wolnopływające cząsteczki organiczne rozproszone w osadzie. Pokarm dla orzęsków stanowią między innymi pałeczki okrężnicy (*Escherichia coli*). W eksperymentalnym systemie w obecności pierwotniaków redukcja *E. coli* wynosiła 95%, podczas gdy w systemie ich pozbawionym redukcja ta osiągnęła pułap 45% (CURDS 1992). Orzęski pływające żywią się także bakteriami osiadłymi na powierzchni kłacek i wybranymi grupami bakterii nitkowatych. Konsekwencją działalności konsumpcyjnej pierwotniaków, jest znacznie obniżona mętność odpływu i zminimalizowanie w nim liczebności bakterii wolnopływających, ale także odmłodzenie i uaktywnienie populacji bakterii (FIJAŁKOWSKA i współaut. 2010). W obecności bakteriożernych pierwotniaków rozkład martwej materii organicznej może przebiegać znacznie szybciej niż w przypadku obecności jedynie bakterii (FENCHEL 1977). Pierwotniaki uczestniczą też w procesie bioflokulacji, czyli tworzenia się kłacek. Ponadto, niektóre z nich są organi-

zmami wskaźnikowymi. Liczebność orzęsków jest odwrotnie proporcjonalna do liczebności wiciowców. Obecność dużej liczby wiciowców wskazuje na złą pracę oczyszczalni wynikającą zwykle z jej nadmiernego obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń, a występowanie orzęsków jest świadectwem dobrej kondycji osadu. Orzęski swobodnie pływające, głównie z rzędu Hymenostomata wskazują na duże obciążenie osadu czynnego. Ich występowanie w tych warunkach wynika nie tylko z ich zwiększonej tolerancji na deficyt tlenu, ale także z obecności w osadzie czynnym dużej ilości bakterii, którymi się żywią. Orzęski osiadłe z rzędu Peritrichida są jedną z najbardziej charakterystycznych grup osadu występującą w szerokim zakresie jego obciążenia. Ich masowy rozwój (wówczas gdy stanowią nawet do 80% wszystkich mikroorganizmów osadu) świadczy o dużych wahaniach stopnia obciążenia oczyszczalni. Bakteriożerne orzęski pływające z rodzaju *Aspidisca* czy *Euplotes*, występują głównie w warunkach średnich i niskich obciążeń. Drobne wiciowce heterotroficzne są najliczniejszą grupą w ściekach dopływających i zawsze dominują w fazie rozruchu oczyszczalni. Są także wskaźnikami wysokiego obciążenia substratowego. Przy niskim obciążeniu ich liczebność spada, co spowodowane jest konkurencją ze strony orzęsków oraz drapieżnictwem pierwotniaków. W dobrze pracującym osadzie zagęszczenie drobnych wiciowców nie przekracza 50 tys. osobników/ml (MADONI 1994). Wskaźnikami dobrej pracy są także ameby skorupkowe, w tym najpowszechniej występujące w osadzie *Arcella* i *Euglypha*, które świadczą o długim wieku osadu, jego małym obciążeniu, odpowiednich warunkach tlenowych oraz o bardzo niskim stężeniu azotu amonowego. Wskaźnikiem dobrej pracy osadu czynnego, jest różnorodność występujących w nim pierwotniaków.

BAKTERIE WŁAŚCIWE

Bakterie właściwe (Eubacteria) są najliczniejszą i najważniejszą grupą drobnoustrojów osadu czynnego. Większość z nich nie występuje w postaci pojedynczych komórek, lecz tworzy mikrokolonie, które często są monokoloniami (kolonie tego samego gatunku). Wyróżnia się około 300 gatunków bakterii właściwych mogących występować w osadzie i są to głównie heterotrofy, ale także chemoautotrofy, saprofity i patogeny.

Do najczęściej spotykanych bakterii właściwych zalicza się: *Nitromonas* spp., *Nitrobacter* spp., *Bacillus* spp. czy *Pseudomonas* spp. Przy niskim obciążeniu i cieplej pogodzie występują także bakterie z rodzaju *Spirillum* i *Spirochaeta*. Bakterie zooglealne przede wszystkim należące do gatunku *Zooglea ramigera*, odpowiedzialne są za produkcję śluzu ułatwiającego tworzenie się kłacek.

Dzięki bakteriom możliwe jest usuwanie ze ścieków substancji biogennej i innych zanieczyszczeń (BAZELI 2001). Przeważającą

grupą są heterotroficzne bakterie tlenowe, które usuwają ze ścieków różnego rodzaju związki organiczne.

ORGANIZMY NITKOWATE I ZJAWISKO PUCHNIĘCIA OSADU

Organizmy nitkowate występują w osadzie czynnym powszechnie i należą do nich głównie bakterie (rzadziej grzyby i promieniowce). Spośród przeszło 80 gatunków bakterii nitkowatych najczęściej spotykanymi są *Microthrix parvicella*, *Sphaerotilus natans*, *Thiotrix* spp. czy *Beggiatoa* spp.. Dobrą stroną obecności tej grupy organizmów jest udział w tworzeniu się i utrzymywaniu kłaczków. Dzięki nim agregaty są bardziej trwałe i mniej wrażliwe na rozrywanie np. podczas mieszania. Na tym jednak pozytywna rola w tych organizmów w osadzie się kończy. Obecność promieniowców z rodzaju *Nocardia* i *Rhodococcus* jest przyczyną powstawania trudnego do usunięcia kożucha oraz nadmiernego pienienia się ścieków, co jest jednym z najtrudniejszych do zwalczania problemów. Nadmierny wzrost populacji organizmów nitkowatych jest przyczyną zjawiska puchnięcia osadu. Polega ono na rozpulchnieniu osadu, co wpływa niekorzystnie na strukturę agregatów i sedymentację. Osad spuchnięty wolniej opada na dno zbiornika (czasem nawet kumuluje się na jego powierzchni) i przez to nie jest wystarczająco zagęszczony. Skutkuje to utrudnieniem lub uniemożliwieniem oddzielenia osadu od oczyszczonych ścieków, a to znacznie pogarsza jakość odpływu. W skrajnych przypadkach może również poważnie utrudniać funkcjonowanie całej oczyszczalni, ze względu na zaburzenie procesu recyrkulacji osadu. Gęstość osadu i jego właściwości sedymentacyjne ocenia się na podstawie Indeksu Objętościowego Osadu (SVI). Jest to objętość jednego grama suchej masy osadu po 30-mi-

nutowej sedymentacji w standardowych warunkach mierzona w cm^3 . Przyjęto, że wartości poniżej $100 \text{ cm}^3/\text{g}$ świadczą o dobrej kondycji osadu, wartości wyższe wskazują na gorszą sedymentację. Przyczyną nadmiernego rozwoju organizmów nitkowatych jest zwykle poważny niedobór jednego lub kilku z ważnych składników takich jak tlen czy węgiel organiczny. Innymi czynnikami sprzyjającymi puchnięciu jest zbyt niskie lub zbyt wysokie obciążenie oczyszczalni, niedobór azotu lub fosforu, zagniwające ścieki bogate w siarkę i niskie pH ścieku. Czasami rozpulchnienie osadu bywa wynikiem obecności zbyt dużej ilości substancji śluzowych wydzielanych przez bakterie zooglealne. Jednak w większości przypadków to niekorzystne zjawisko jest spowodowane nadmiernym rozwojem organizmów nitkowatych. W praktyce puchnięcie osadu zwalcza się najczęściej środkami chemicznymi, w skrajnych przypadkach stosuje się silnie utleniający chlor czy nadtlenek wodoru, mające na celu zmniejszenie populacji organizmów nitkowatych. Bywa, że używane są substancje wytrącające np. sole glinu, które skupiają kłaczkę w większe, a przez to i cięższe agregaty, co sprzyja ich opadaniu. Stosowanie metod chemicznych ma jednak szereg negatywnych skutków. Nie zwalczają one przyczyny, a jedynie doraźnie łagodzą objawy puchnięcia. Z uwagi na powszechność i znaczenie problemu puchnięcia osadu i związanej z tym efektywności oczyszczania metodą osadu czynnego, nieustannie prowadzone są liczne badania w tej dziedzinie (LEMMER 2000).

ORGANIZMY TKANKOWE

Najpowszechniejszymi z organizmów tkankowych w osadzie są nicienie (Nematoda), oraz wrotki (Rotatoria). Nicienie i wrotki w osadzie odpowiedzialne są za utrzymywanie biocenotycznej równowagi w układzie, odżywiając się bakteriami i mniejszymi pierwotniakami odmładzają ich populację i nie dopuszczają do nadmiernego przyrostu bakterii i niniejszych pierwotniaków. Kolej-

nym pozytywnym skutkiem wyjadania przez nie wolnopływających drobnoustrojów jest klarowanie odpływu. Nicienie i wrotki wydzielają również śluz, który uczestniczy w procesie tworzenia się kłaczków. Jednak zbyt duża liczba organizmów tkankowych w osadzie może prowadzić do rozbijania kłaczków. W niewielkich ilościach spotykane są także pajęczaki (Arachnoidea), skąposzczety

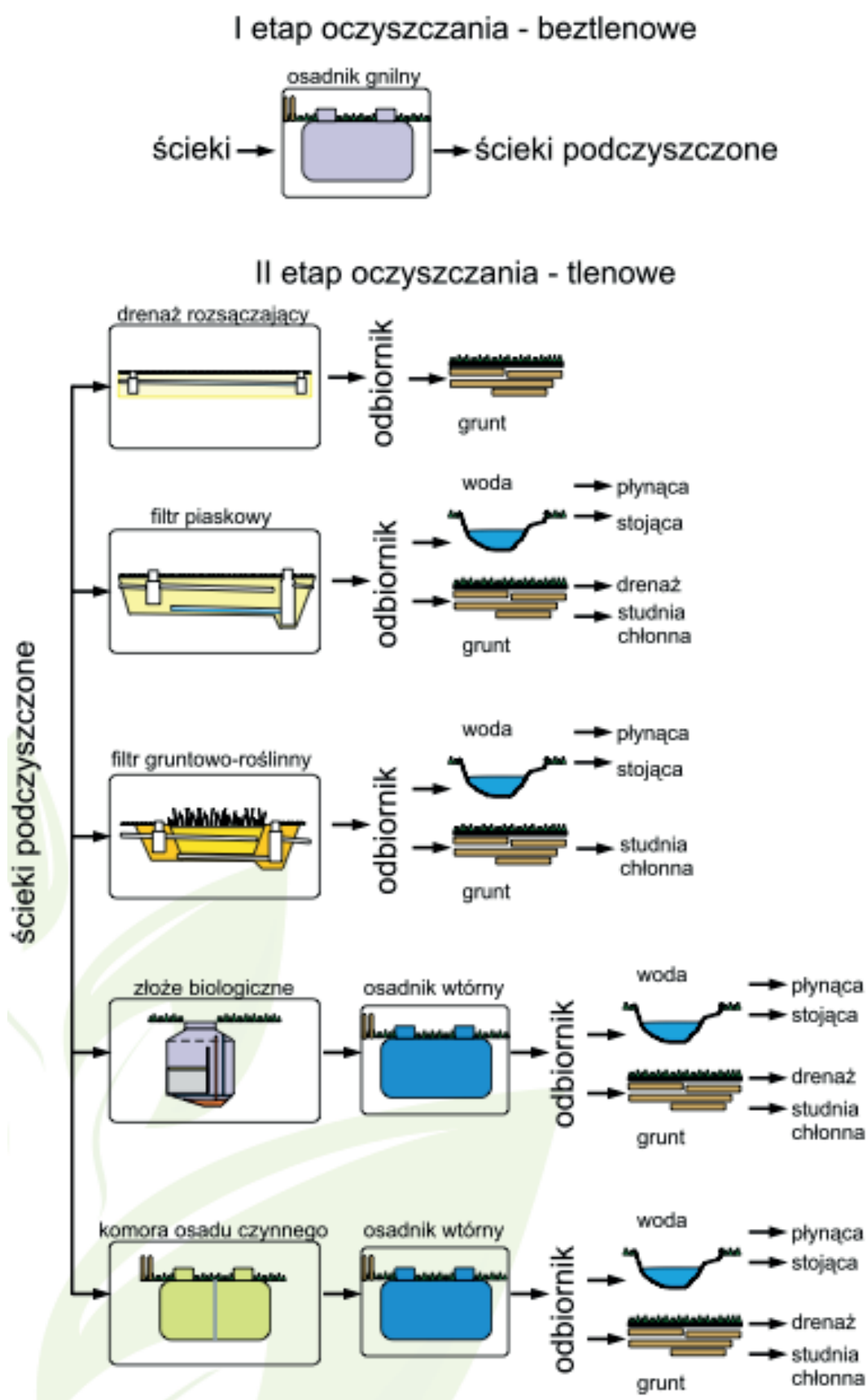
(Oligochaeta), niesporczaki (Tardigrada) oraz brzuchorzęski (Gastrotricha). Czynnikiem sprzyjającym wzrostowi liczebności populacji organizmów wielokomórkowych jest ni-

skie stężenie tlenu oraz deficyt substancji pokarmowych (KOCWA-SALUCH i WOŹNIAKIEWICZ 2011).

PRZYDOMOWE OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW

Dzięki rozwojowi techniki oczyszczanie ścieków nie jest już zarezerwowane tylko dla publicznych zakładów i swoją własną, przydomową oczyszczalnię może mieć prawie każdy z nas. W niektórych przypadkach opróżnianie zbiornika na nieczystości ciekłe przez samochód asenizacyjny jest wręcz niemożliwe ze względu na utrudniony dojazd do posesji, a ma to miejsce szczególnie zimą. W takiej sytuacji dogodnym rozwiązaniem jest wybudowanie oczyszczalni przydomowej. Przydomowe oczyszczalnie ścieków są alternatywą dla zbiorników na nieczystości ciekłe nazywanych potocznie szambami. Koszt budowy szamba jest znacznie niższy od kosztu budowy oczyszczalni, jednak koszty eksploatacji szamba są wyższe, co powoduje, że posiadanie oczyszczalni po pewnym czasie staje się bardziej opłacalne. Dodatkowym plusem jest fakt, że na konstrukcję przydomowej oczyszczalni można uzyskać dotacje przyznawane przez Gminny Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki wodnej, a także przez Unię Europejską (BRZOSTKOWSKI i GALICKI 2008). Przydomowa oczyszczalnia może obsługiwać jeden, lub kilka domów, sprawdzi się też przy hotelu czy pensjonacie. Wyróżnia się kilka rodzajów przydomowych oczyszczalni (Ryc. 2) (BRZOSTKOWSKI i GALICKI 2008). Przy projektowaniu konkretnej instalacji należy wziąć pod uwagę liczbę mieszkańców, szacowaną ilość doprowadzanych ścieków oraz ich profil. W przydomowej oczyszczalni w pierwszym etapie usuwane są zanieczyszczenia stałe. Proces ten zachodzi w osadniku gnilnym i jest dwuetapowy. Pierwszy etap polega na oddzieleniu zanieczyszczeń stałych przy wykorzystaniu metod fizycznych, drugi zaś przeprowadzany jest przez bakterie beztlenowe. Jeśli ścieki zawierają duże ilości tłuszczów konieczne jest zastosowanie tzw. separatorów oddzielających tłuszcz od ścieku, co usprawnia dalszą pracę układu. Drugim etapem jest oczyszczanie z udziałem mikroorganizmów tlenowych. Tak oczyszczone ścieki odprowadza się do odbieralnika, którym zazwyczaj jest woda lub grunt. Najprostszym przydomowym systemem jest oczyszczalnia z zastosowaniem drenażu rozsączają-

cego. Bardziej skomplikowanym systemem jest oczyszczalnia z zastosowaniem filtra piaskowego. Montaż takiego układu wybiera się w sytuacji, gdy mamy do czynienia ze zbyt przepuszczalnym lub zbyt nieprzepuszczalnym podłożem. Działanie filtra piaskowego opiera się na osadzonych na żwirze mikroorganizmach (głównie bakteriach) tlenowych i beztlenowych, które przeprowadzają ostatni etap oczyszczania. Rzadziej stosowanym, ale równie skutecznym rozwiązaniem jest wykorzystanie oczyszczalni gruntowo-roślinnych. Ich działanie opiera się na procesach biochemicznych oraz filtracji. Na filtrach uprawia się rośliny bagienne, w naszych warunkach najczęściej jest to trzcina pospolita (*Phragmites communis*). Wzrostem popularności cieszą się oczyszczalnie ze złożem biologicznym. Za ich zastosowaniem przemawia bardzo wysoka skuteczność w usuwaniu zanieczyszczeń, niskie koszty eksploatacji, łatwość w obsłudze i serwisie, a także brak konieczności posiadania dużej powierzchni przeznaczonej na oczyszczalnię. Przydomowe oczyszczalnie z osadem czynnym działają jak zminiaturyzowane oczyszczalnie miejskie wykorzystujące tą metodę. W odróżnieniu od poprzednich metod mikroorganizmy pracujące w oczyszczalni nie są osadzone na stałym podłożu, a unoszą się w postaci kłaczkowatej zawiesiny. W tym systemie konieczne jest stałe doprowadzanie tlenu, a do tego celu służą membrany, przez które pompy napowietrzania wpompowują tlen do komory osadu. Ten element znacznie intensyfikuje procesy oczyszczania i powoduje stałe unoszenie się kłaczek osadu. Pierwszym etapem jest przetransportowanie ścieku z budynku do osadnika gnilnego. Osadnik gnilny to szczelnie zamknięty zbiornik, wykonany najczęściej z trwałego polietylenu. Czasami stosuje się zbiorniki betonowe jednak wymagają one specjalnego uszczelnienia. Osadnik gnilny składa się z dwóch lub trzech komór. Ściek znajduje się w nim od 48 do 72 godzin i poddawany jest tam procesom beztlenowym. Na oczyszczanie wstępne jakie ma miejsce w tym zbiorniku składa się szereg procesów fizycznych, biologicznych i chemicznych. W



Ryc. 2. Rodzaje przydomowych oczyszczalni ścieków (BRZOSTKOWSKI i GALICKI 2008)

osadniku gnilnym usuwane są części stałe ze ścieku oraz zachodzi fermentacja beztlenowa, wskutek której następuje rozkład substancji organicznych i ich częściowa mineralizacja. Dobrze funkcjonujący osadnik pozwala na pozbycie się do 80% zanieczyszczeń stałych i do 40% zanieczyszczeń organicznych. Ponieważ podczas przeprowadzanych w osadniku procesów beztlenowych powstają gazy takie jak metan czy siarkowodór, konieczna jest jego wentylacja. Ostatnim elementem osadnika jest króciec wylotowy, którym wstępnie oczyszczone ścieki są transportowane do kolejnych elementów oczyszczalni (RYŃSKA 2011). Drugi etap oczyszczania zachodzi w komorze osadu czynnego. Następnie ścieki wędrują do osadnika wtórnego, w którym osad jest odseparowywany od oczyszczonych ścieków. Oczyszczone ścieki są następnie odprowadzane do odbieralnika, jakim może być zbiornik wodny lub grunt. W prawidłowo funkcjonującej oczyszczalni w końcowym etapie oczyszczania jest więcej mikroorganizmów niż w jego początkowej fazie. Osad przepompowywany jest za pomocą pompy recyrkulacyjnej do osadnika wstępnego. Nadmiar osadu w osadniku wstępnym jest okresowo usuwany tak, aby proces oczyszczania

był możliwie jak najbardziej efektywny. Przydomowa oczyszczalnia z wykorzystaniem osadu czynnego charakteryzuje się zdolnością do wysokiej redukcji zróżnicowanych zanieczyszczeń, w znacznym stopniu unieszkodliwiane są w niej zanieczyszczenia biologiczne takie jak wirusy, bakterie chorobotwórcze czy grzyby. Dużą zaletą jest mała powierzchnia potrzebna do jej budowy oraz stosunkowo długa żywotność. Ścieki odprowadzane z tych oczyszczalni ze względu na bardzo dobre ich oczyszczenie można jeszcze gospodarczo wykorzystać. Obok wszystkich zalet istnieją także poważne wady. Jedną z najważniejszych jest duża wrażliwość na nierównomierne dostarczanie ścieków oraz przerwy w dostawach prądu. Taka oczyszczalnia jest stosunkowo droga w eksploatacji, co wynika głównie z kosztów energii elektrycznej niezbędnej do jej funkcjonowania, konieczności zakupów biopreparatów usprawniających jej działanie i awaryjności podzespołów. Dodatkowo konieczne jest przeszkolenie posiadaczy takiego systemu, aby możliwe było zachowanie jak najlepszej kondycji osadu, a to jest kluczowym czynnikiem warunkującym jakość odpływu.

PODSUMOWANIE

Wykorzystanie osadu czynnego w oczyszczaniu ścieków z pewnością ma więcej zalet niż wad. W dzisiejszych czasach nie brakuje specjalistów mających odpowiednie kwalifikacje do kierowania obiektami specjalizującymi się w tej dziedzinie. Warunkiem prawidłowego funkcjonowania tego typu oczyszczalni jest utrzymywanie osadu w dobrej kondycji, co wymaga fachowej wiedzy ze strony administratora. Najbardziej istotnym czynnikiem mającym wpływ na prawidłową pracę osadu jest odpowiednie obciążenie oczyszczalni, oraz zapewnienie odpowiednich warunków dla mikroorganizmów i procesów zachodzących w komorze napowietrzania. W przeciwieństwie do oczyszczalni chemicznych, oczyszczalnie biologiczne generują mniej szkodliwych odpadów, a powstający jako skutek działalności tego typu oczyszczalni osad nadmierny jest unieszkodliwiany i zagospodarowywany jako nawóz organiczny, substrat w produkcji biogazu lub spalany dla celów energetycznych. Popularność tej metody jest niewątpliwie pozytywnym dla

środowiska zjawiskiem. Oczyszczalnia ma stosunkowo długą żywotność i jest w porównaniu do innych działających na dużą skalę obiektów tania w eksploatacji. Obecnie na terenie Polski funkcjonuje kilkaset takich oczyszczalni i stale ich przybywa, podobna sytuacja ma miejsce na całym świecie. Metoda ta została zaczerpnięta z dokonań samej natury, w której kłaczkowata zawiesina przeprowadzająca procesy oczyszczania ma swój naturalny odpowiednik nazywany czasami „śniegiem morskim”. W obiektach działających na skalę przemysłową mamy do czynienia z dostosowanymi do potrzeb ludzi, zintensyfikowanymi procesami oczyszczania, które z mniejszą wydajnością zachodzą w naturalnych zbiornikach wodnych, gdzie proces ten nosi nazwę samooczyszczania. Atutem tej metody jest fakt, że z równą skutecznością usuwa ona ze ścieków zanieczyszczenia chemiczne jak i biologiczne. Z bardzo dobrą skutecznością usuwane są zarówno metale ciężkie, biogeny jak i drobnoustroje chorobotwórcze.

WYKORZYSTANIE OSADU CZYNNEGO W OCZYSZCZANIU ŚCIEKÓW

Streszczenie

W pracy opisano mechanizm biologicznego oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego. Opisane zostały cechy oraz rola głównych grup mikroorganizmów wchodzących w skład osadu. Przedstawiony został schemat i mechanizmy usuwania poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń w miejskiej oczysz-

czalni ścieków z wykorzystaniem metody osadu czynnego. Opisane zostało zastosowanie powyższej metody w przydomowych oczyszczalniach oraz sposoby postępowania z powstałym w wyniku procesu oczyszczania osadem nadmiernym.

THE USE OF ACTIVATED SLUDGE IN SEWAGE TREATMENT

Summary

The study describes biological wastewater treatment method using activated sludge. It presents the features and the role of major groups of microorganisms included in the sludge. Additionally, a scheme and mechanisms of removal of various pollutants

in municipal wastewater treatment plant using activated sludge method were presented. The study describes the application of this method in domestic sewage treatment, and the ways of dealing with excess sludge resulting from the treatment process.

LITERATURA

- ALBINIAK B. (red.), 2010. *Raport o stanie środowiska w Polsce 2008*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa
- AZAM F., LONG R. A., 2001. *Oceanography – Sea Snow Microcosm*. Nature 414, 495–498.
- BARTOSZEWSKI K., 1997. *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań.
- BAZELI M., 2001. *Mikroorganizmy osadu czynnego: klucz*. Gdańska Fundacja Wody, Gdańsk.
- BLASZCZYK M. K., 2007. *Mikroorganizmy w ochronie środowiska*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- BOCKELMANN U., MANZ W., NEU T. R., SZEWCZYK U., 2000. *Characterization of the Microbial Community of Lotic Organic Aggregates („river snow”) in the Elbe River of Germany by Cultivation and Molecular Methods*. Fems Micr. Ecol. 33, 157–170.
- BRZOSTKOWSKI N., GALICKI P., 2008. *Przydomowe oczyszczalnie ścieków- poradnik*, Wydawnictwo PSP Narew, Białystok.
- CICHOWICZ M., 1995. *Organizmy osadu czynnego – katalog*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- CURDS C. R., 1992. *Protozoa in the Water Industry*, Cambridge University Press, New York
- CYWIŃSKI B., GADUŁA S., KEMPA E., KURBIEL J., PŁOSZAŃSKI H., 1983. *Oczyszczanie mechaniczne i fizyczne*. Arkady, Warszawa.
- FENCHEL T., 1977. *The Significance of Bacterivorous Protozoa in the Microbial Community of Detrital Particles* [W:] *Aquatic Microbial Communities*. CARINS J. (red.). Garland Publishing, New York
- FJAŁKOWSKA E., FYDA J., PAJDAK-STÓŚ A., WIĄCKOWSKI K., 2010. *Osad czynny – biologia i analiza mikroskopowa*, Seidel i Przywecki, Piaseczno.
- GROSSART H., SIMON M. 1993. *Limnetic macroscopic organic aggregates (lake snow): occurrence, characteristics and microbial dynamics in Lake Constance*. Limnol. Oceanogr. 38, 532–546.
- KOCWA-SALUCH R., WOŹNIAKIEWICZ T., 2011. *Analiza mikroskopowa osadu czynnego i jego rola w kontroli procesu technologicznego oczyszczania ścieków* Środowisko 6, 142–158.
- LEMMER H., 1989. *Przyczyny powstawania i zwalczania osadu spęgniętego*. Seidel-Przywecki, Piaseczno
- MADONI P., 1994. *A Sludge Biotic Index for the Evaluation of the Biological Performance of Activated Sludge Plants Based on the Microfauna Analysis*. Water Res. 28, 67–75.
- MINO T., VAN LOOSDRECHT M. C. M., HEIJNEM J. J., 1998. *Microbiology and Biochemistry of the Enhanced Biological Phosphate Removal Process*. Water Res. 32, 3193–3207.
- RYŃSKA J., 2011. www.e-instalacje.pl/a/3384,osadniki-gnilne
- SEVIOUR R. J., MASZENAN A. M., SODDELL J. A., TANDOI V., PATEL B. K. C., KONG Y. H., SCHUMANN P., 2000. *Microbiology of the “G-bacteria” in Activated Sludge* Environ. Microbiol. 2, 581–593.
- VAN LOOSDRECHT M. C. M., HENZE M., 1999. *Maintenance, Endogenous Respiration, Lysis, Decay and Predation*. Water Sci. Technol. 39, 107–117.