

Oczyszczalnie ścieków – układy technologiczne

dr Eugeniusz Kłaczyński,
Piotr Ratajczak
Envirotech w Poznaniu

W artykule omówiono układy technologiczne do zintegrowanego biologicznego usuwania związków azotu i fosforu.

Podstawowym zadaniem komunalnej oczyszczalni ścieków jest zintegrowane usuwanie ze ścieków związków węgla, azotu i fosforu, przede wszystkim mechanicznie i metodami biologicznymi. W Polsce stosowano wiele różnych metod oczyszczania ścieków. Najprostszą, wykorzystywaną szczególnie w mniejszych oczyszczalniach, było zastosowanie (po mechanicznym oczyszczeniu) oczyszczania ścieków w gruncie, wykorzystującego studnie chłonne lub drenaż rozsączający. Obecnie takie rozwiązanie stosuje się w oczyszczalniach przydomowych – po stopniu biologicznym (przed odprowadzeniem ścieków do gruntu). Innym sposobem oczyszczania ścieków w środowisku gruntowym jest użycie filtrów gruntowych w postaci pól irygacyjnych, stosowanych od XIX w. również w dużych oczyszczalniach, np. we Wrocławiu, gdzie powstały tzw. Pola Irigacyjne Osobowice. Wykorzystywano również pola nawadniane ściekami w celu dostarczenia do gleby dodatkowych składników pokarmowych i poprawy jej spulchnienia. Dzisiaj pola nawadniane stosuje się głównie poza Europą, np. w Australii. Pola są wówczas zasilane ściekami mechanicznie lub biologicznie oczyszczonymi. W niektórych oczyszczalniach (nawet w naszym kraju) pola nawadniane są niekiedy używane jako III stopień oczyszczania (po oczyszczeniu mechanicznym i biologicznym).

Rozwiązanie alternatywne

Alternatywną metodą biologicznego oczyszczania ścieków jest wykorzystanie oczyszczalni roślinno-glebowych. Wówczas infiltracja oczyszczanych ścieków jest ograniczona do gruntu z uwagi na wykorzystanie zanieczyszczeń w ściekach przez rośliny o dużych potrzebach pokarmowych i intensywnej vegetacji. Rośliny w procesie wzmożonej ewapotranspiracji ograniczają przemieszczanie się do gruntu zarówno związków organicznych pochodzących ze ścieków, jak i produktów ich rozkładu biologicznego zachodzącego w glebie oraz substancji mineralnych. Związki pochodzące ze ścieków są wbudowywane w rośliny, co przy wysokiej vegetacji i możliwo-

ści ich kilkukrotnego zbioru w sezonie umożliwia obniżenie związków azotu nawet poniżej 500 kg/ha, a fosforu poniżej 150 kg/ha. W celu oczyszczania ścieków można zamiast gruntu zastosować środowisko wodne, tworząc stawy ściekowe w postaci otwartych zbiorników, wykorzystujących w procesach oczyszczania ścieków mikroorganizmy wodne. Budując na przykład stawy beztlenowe, w których prowadzony jest proces fermentacji metanowej, lub stawy tlenowe, gdzie proces rozkładu zanieczyszczeń następuje z wykorzystaniem tlenu, najczęściej wprowadzanego mechanicznie przez urządzenia napowietrzające. Połączeniem metod beztlenowych i tlenowych są stawy fakultatywne, w których występują dwie strefy oczyszczania – przydena beztlenowa i powierzchniowa (górną) tlenowa. Pod względem przeznaczenia stawy można podzielić na: stabilizacyjne, napowietrzane i rybne. Stabilizacyjne stawy wykorzystują do oczyszczania wyłącznie czynniki naturalne w drodze tlenowej stabilizacji osadów, mogą również służyć do separacji zawieszin (jako III stopień oczyszczania ścieków), pełniąc funkcję stawów sedymentacyjnych. Stawy napowietrzane można eksploatować jako urządzenia do oczyszczania mechanicznego ścieków surowych w pierwszym stopniu oczyszczania, jako drugi stopień biologiczny lub trzeci doczyszczający (końcowy). Stawy rybne są używane do oczyszczania ścieków mechanicznie oczyszczonych. W zbiornikach hoduje się najczęściej karpie, a rozrastająca się roślinność usuwana jest ręcznie. W wyniku oczyszczania w stawach rybnych utlenialność i azot organiczny ulegają obniżeniu nawet poniżej 80%, a odpływające ścieki oczyszczone są klarowne i praktycznie pozbawione zawieszin. Ciekawym pomysłem są stawy ściekowe LEMNA, wykorzystujące rzęsę wodną Lemna minor, która pływając po powierzchni stawu, redukuje zanieczyszczenia wprowadzane ze ściekami. Najczęściej oczyszczalnia typu LEMNA tworzy układ technologiczny zbudowany ze stawu napowietrzanego i stawu LEMNA. Jednak w okresie zimowym rzęsa opada na dno stawu w formie przetrwalników, co ogranicza skuteczność zachodzących proce-

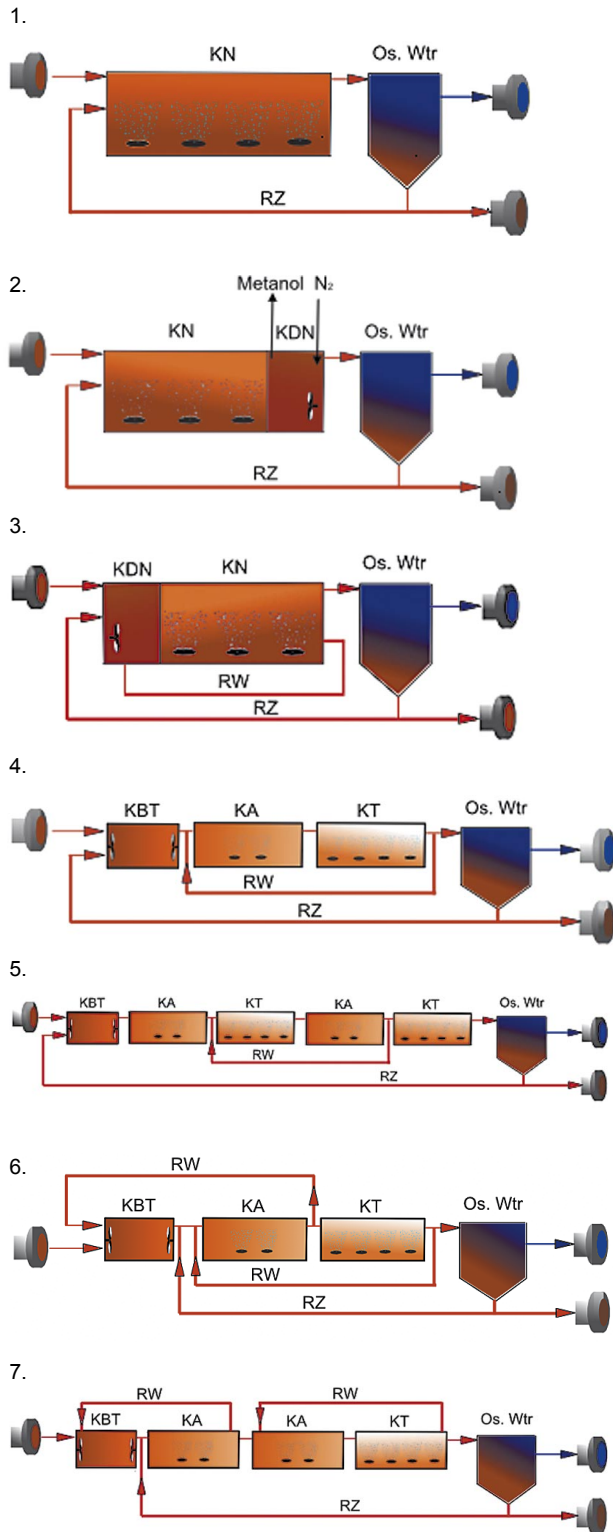
sów biochemicznych. Dużą prostotą eksploatacji i odpornością na zmienne ilości dopływających do oczyszczalni ładunków charakteryzują się oczyszczalnie hydrofitowe. Wykorzystują one w praktyce ekosystemy bagienne, w których poziom wody jest utrzymywany w systemie grunto-roślinnym lub wodno-roślinnym nieco poniżej powierzchni gruntu lub powyżej niej przez większą część roku. W oczyszczalniach hydrofitowych szczególną rolę odgrywają rośliny wodne, takie jak: pałka wodna, sit czy tatarak. Minusem stosowania współcześnie oczyszczalni hydrofitowych jest wymagana dla tego typu oczyszczalni znaczna powierzchnia, rzędu nawet 20 m² na mieszkańca. Oczyszczalnie hydrofitowe były używane szczególnie na obszarach wiejskich.

Wszystkie wymienione systemy technologiczne były w mniejszym lub większym stopniu wykorzystywane do oczyszczania ścieków zarówno w indywidualnych systemach odprowadzania ścieków, terenach wiejskich, jak i z dużych miejscowości (takich jak wspomniany już Wrocław).

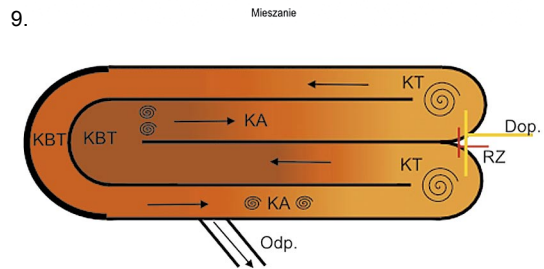
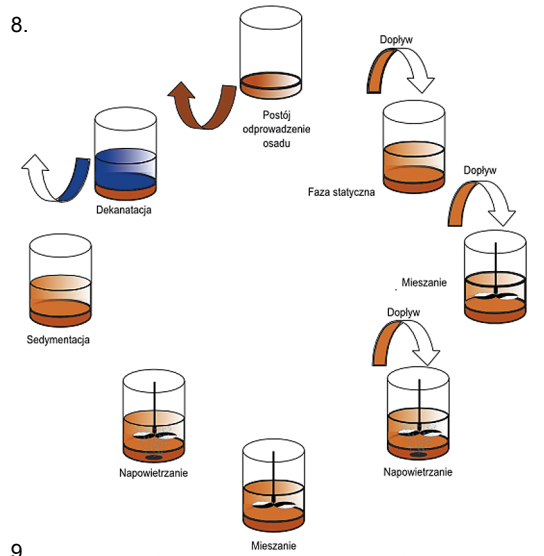
Jakie oczyszczalnie?

W Polsce w miastach budowano przede wszystkim oczyszczalnie mechaniczne lub mechaniczno-biologiczne ze złożem splukiwanym lub złożami tarczowymi o niskim obciążeniu ładunkiem zanieczyszczeń. Pozwalały one osiągnąć wysoką redukcję związków węgla organicznego i nityfikację azotu amonowego, ale nie usuwały fosforu. Bardzo rzadko stosowano w naszym kraju oczyszczalnie wykorzystujące w procesie biologicznego oczyszczania ścieków osad czynny. Na szeroką skalę, wręcz przemysłową, w latach 1975-1995 budowano małe, zblokowane oczyszczalnie wykorzystujące osad czynny, przeznaczone do oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych z ośrodków wypoczynkowych, hoteli, niewielkich miejscowości oraz osiedli mieszkaniowych czy miast częściowo posiadających kanalizację. Zmianę w zakresie stosowanych technologii przyniosło Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 5 listopada 1991 r., wprowadzające konieczność usuwania ze ścieków nie tylko związków węgla, ale również azotu i fosforu, wymuszając na eksploatacjach oczyszczalni ścieków postęp i konieczność wdrażania nowych, wysoko-

Układ technologiczny



Układ technologiczny



- Dopływ ścieków do oczyszczalni
- Odpływ ścieków oczyszczonych do odbiornika
- Odprowadzenie osadu nadmiernego
- Aeratory napowietrzające
- Napowietrzanie
- Mieszadło
- KN Komora nityfikacji
- KDN Komora denityfikacji
- Os. Wtr. Osadnik wtórny
- KT Komora tlenowa
- KA Komora atoksyczna
- KBT Komora beztlenowa
- RW Recykulacja wewnętrzna
- RZ Recykulacja zewnętrzna

Układy technologiczne stosowane do oczyszczania ścieków.

efektywnych technologii, charakteryzujących się dużą stabilnością uzyskiwanych wyników.

Większość budowanych i modernizowanych obecnie w Polsce komunalnych oczyszczalni ścieków do wspólnego usuwania związków węgla azotu i fosforu

wykorzystuje wielofazowe reaktory biologiczne z osadem czynnym. Technologię tę zapoczątkował wynalazek Jamesa Barnarda z połowy lat 70. XX w. Udoskonalone rozwiązanie jest stosowane z powodzeniem w wielu krajach, a w Polsce od lat 90. XX w.

Badania osadu czynnego

Początki badań nad wykorzystaniem osadu czynnego do oczyszczania ścieków i przekształcenia części organicznej zawartej w ściekach w biomase rozpoczęły się w 1914 r., kiedy dwaj Anglicy,



Edward Arden i Willam T. Lockett, wynaleźli oczyszczalnię z osadem czynnym. W trakcie prac zauważyli, że podczas długotrwałego napowietrzania ścieków powstał osad. Pierwszą prezentację wniosków zorganizowali 3 kwietnia 1914 r. w Manchesterze. Odzwierciedleniem wykorzystania osadu czynnego w oczyszczaniu ścieków w procesie jednofazowym jest rysunek 1.1. Po kilkugodzinnym przetrzymaniu ścieków w komorze napowietrzania przepływają one do osadnika wtórnego, gdzie następuje oddzielenie kłaczków osadu od oczyszczonych ścieków odpływających następnie do odbiornika. Kłaczkę z osadnika wtórnego są transportowane (recyrkulowane) z powrotem do komory napowietrzania lub w postaci osadu nadmiernego zostają usunięte z układu technologicznego oczyszczania ścieków.

Rozwój wysokoefektywnych technologii wykorzystujących osad czynny do biologicznego oczyszczania ścieków następował wskutek doskonalenia metod dwufazowych, umożliwiających usuwanie ze ścieków komunalnych związków węgla i azotu. Przykładem takiego rozwiązania jest opracowany przez Wuhrmanna w latach 60. XX w. system do usuwania azotu. Za komorą napowietrzania (nitrifikacji) umieszczono komorę niedotlenioną, czyli denitryfikacji (rys. 1.2), układ tlenowo-niedotleniony znany jest najczęściej w literaturze jako OA (ang. Oxid-Anoxic). W pierwszej kolejności ścieki są napowietrzane, a zawarty w nich amoniak jest przekształcany w procesie nitrifikacji w azotany, w drugim etapie ścieki z dużą ilością azotanów przepływają do komory denitryfikacji. Możliwości takie go rozwiązania okazują się jednak ograniczone, ponieważ denitryfikacja jest hamowana z uwagi na niedostateczną zawartość w ściekach łatwo rozkładalnych związków węgla, utlenionych w trakcie nitrifikacji. Wprowadzona modyfikacja, polegająca na skierowaniu do komory denitryfikacji części ścieków dopływających do oczyszczalni z ominięciem komory napowietrzania, poprawiła proces denitryfikacji, dając również projektantom możliwość równoczesnego obniżenia niezbędnej objętości tej komory. Niestety, efektywność całego procesu nadal jest ograniczona, gdyż w ściekach bezpośrednio kierowanych do komory denitryfikacji znajduje się nieutleniony (normalnie w procesie nitrifikacji) amoniak, pojawiający się w związku z tym w ściekach odprowadzanych po osadniku wtórnym do odbiornika. Oczywiście ograniczenie w dostępie do łatwo rozkładalnego węgla można zniwelować, dawując do komory denitryfikacji zewnętrzne źródło węgla, np. w postaci metanolu. Wadą są oczywi-

ście koszty takiego układu. Technologię OA z dawkowaniem zewnętrznego źródła węgla można stosować w przypadku ścieków o obniżonej zawartości związków węgla i dużej zawartości azotu.

Rozwiązaniem problemu dostępu do łatwo rozkładalnych związków węgla był układ zaproponowany przez Ludzacka-Ettingera, nazywany również AO (ang. Anoxic-Oxic), w którym komora denitryfikacji znajduje się bezpośrednio na dopływie ścieków przed komorą nitrifikacji (rys. 1.3). W związku z tym do procesu denitryfikacji azotanów recyrkulowanych (recyrkulacja wewnętrzna) z końca komory nitrifikacji oraz azotanów zawracanych z osadem recyrkulowanym (recyrkulacja zewnętrzna) z osadników wtórnych wykorzystuje się cały ładunek łatwo rozkładalnych związków węgla, znajdujących się w ściekach dopływających do oczyszczalni. Sprawność technologiczna usuwania azotu w systemie AO wynosi ok. 80% (w systemie OA nie przekracza 50%), a recyrkulacja stosowana w tym układzie może osiągać wartość 400%, dzięki czemu ilość zawracanych azotanów osiąga wartość 80%. Przy recyrkulacji na poziomie 600% ilość zawracanych azotanów osiąga wartość 85%, więc pod względem energetycznym zwiększanie recyrkulacji nie przynosi wymiernych korzyści eksploatacyjnych. Niestety, oprócz azotanów recyrkulowane są również pewne ilości tlenu, hamujące redukcję azotanów. Proces w układzie technologicznym zaproponowanym przez Ludzacka-Ettingera jest dziś z różnymi modyfikacjami stosowany szczególnie w mniejszych oczyszczalniach, gdzie wymagane obowiązującymi przepisami usuwanie związków biogenych ograniczono do węgla (co wykorzystuje się zwłaszcza przy projektowaniu nowych i modernizowanych oczyszczalni, pracujących przy obciążeniu poniżej 10 000 RLM). Podobne do metody AO rozwiązanie zostało zaproponowane do usuwania ze ścieków związków węgla i fosforu, a powstało ono wskutek modyfikacji układu AO przedstawionego na rysunku 1.3. Przed komorą napowietrzania zamiast komory niedotlenionej zastosowano komorę beztlenową, a układ technologiczny nazwano PHOREDOX lub A/O. Czas przetrzymania ścieków w komorze beztlenowej systemu A/O nie przekracza godziny, a w komorze napowietrzania trzech godzin przy recyrkulacji w granicach 50-75%. Układy technologiczne usuwające ze ścieków związki węgla i fosforu są w naszym kraju instalacjami raczej rzadko wykorzystywanymi w praktyce. W większości komunalnych oczyszczalni ścieków, szczególnie o obciążeniu powyżej 10 000 RLM, stosuje się bardziej zło-

żone technologie do równoczesnego usuwania związków węgla, azotu i fosforu.

Układ Bardenpho

W tym przypadku w układzie technologicznym oczyszczalni biologicznej stosuje się przynajmniej trzy strefy o odmiennych funkcjach: beztlenowej (anaerobowej), niedotlenionej (atoksycznej) i tlenowej (aerobowej). Najczęściej używanym w krajowych oczyszczalniach systemem zblokowanego usuwania ze ścieków związków węgla azotu i fosforu jest trójstopniowy układ Bardenpho, inaczej nazywany A2/O (rys. 1.4). Trójstopniowy Bardenpho tworzą połączone szeregowo komory: beztlenowa, niedotleniona i tlenowa. Do komory beztlenowej doprowadzane są ścieki surowe mechanicznie oczyszczone oraz osad recyrkulowany z osadników wtórnych (osad recyrkulacji zewnętrznej). W komorze beztlenowej zachodzą procesy biologicznej defosfatacji, czyli pochłanianie ze ścieków przez organizmy osadu czynnego łatwo rozkładalnych związków węgla z równoczesnym uwalnianiem do ścieków fosforanów. W komorze niedotlenionej następują procesy denitryfikacji azotanów zawracanych w strumieniu osadu recyrkulowanego wewnętrznie z komory napowietrzania i dalsze pobieranie ze ścieków łatwo rozkładalnych związków węgla. W komorze tlenowej amoniak zostaje w procesach nitrifikacji utleniony do azotanów i zachodzi nadmiarowe pobieranie fosforanów uwolnionych w strefie beztlenowej oraz tych znajdujących się w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni. Układ trójstopniowy Bardenpho pozwala na osiągnięcie w odpływie stężeń azotanów na poziomie 3-7 mg/l. Część azotanów zostaje zredukowana w osadzie recyrkulowanym. Stężenie azotanów recyrkulowanych do strefy beztlenowej wynosi 1-2 mg/l. Ponieważ dostęp do azotanów w strefie beztlenowej powoduje zakłócenia w procesach defosfatacji biologicznej, opracowanych zostało wiele sposobów pozwalających zredukować to zjawisko. Jednym ze stosowanych w krajowych oczyszczalniach jest użycie przed komorą beztlenową dodatkowej komory, nazywanej często predenitryfikacją, do której kieruje się cały strumień osadu recyrkulowanego z osadników wtórnych (recyrkulacja zewnętrzna) oraz niewielką część (do 30%) ścieków surowych, dopływających do oczyszczalni. Pozwala to zdenitryfikować znajdujące się w recyrkulowanym osadzie azotany przed skierowaniem do komory defosfatacji. Układ trójstopniowy Bardenpho jest powszechnie stosowanym przez projektantów w Polsce uproszczeniem systemu pięciostopniowego Bardenpho

(rys. 1.5), umożliwiającego redukcję azotu w ściekach odpływających z oczyszczalni do poziomu poniżej 3 mg/l. W porównaniu z układem trójstopniowym, w pięciostopniowym Bardenpho znajduje się dodatkowa strefa denitryfikacyjna, przedzielająca komorę napowietrzania na dwie części (początkową i końcową). W dodatkowej strefie denitryfikacyjnej zachodzi przede wszystkim oddzielenie od kłaczków osadu czynnego pęcherzyków azotu w warunkach niedotlenionych, podnosząc w ten sposób skuteczność denitryfikacji, ograniczając niepożądany technologicznie efekt denitryfikacji końcowej w osadnikach wtórnych, pogarszający jakość ścieków odpływających do odbiornika (spowodowany wynosem osadu czynnego ze znajdującymi się w ich strukturze pęcherzykami azotu z osadników wtórnych). Ponieważ dodatkowa denitryfikacja wymaga stosunkowo dużej objętości, w celu jej ograniczenia do tej strefy dawkuje się dodatkowe źródło węgla wspomagające denitryfikację. Zastosowanie dodatkowej strefy denitryfikacyjnej przy ograniczonej ilości tlenu i związków organicznych może jednak powodować zjawisko wtórnego uwalniania fosforanów zgromadzonych w komórkach osadu czynnego, dlatego tak ważną jest prawidłowa kontrola pracy tej strefy. Uwolnione fosforany mogą być ponownie pobrane w końcowej strefie napowietrzania, w której utlenione zostają również niewykorzystane wcześniej związki organiczne, a ścieki oczyszczone z osadem czynnym są dodatkowo natlenione przed odprowadzeniem do osadników wtórnych. Pięciostopniowy proces powoduje wysoką redukcję azotu, a przy ograniczonej w osadzie recyrkulowanym z osadników wtórnych ilości azotanów (umożliwiającej prawidłową pracę komory beztlenowej), osiąga się również wysoką efektywność usuwania fosforu – poniżej 1 mg/l. Większość oczyszczalni w Polsce stosujących pięciostopniowy układ Bardenpho to duże obiekty (ponad 100 000 RLM), które w środowisku operatorów korzystających z uproszczonego układu trójstopniowego są często błędnie oceniane jako układy skomplikowane i trudniejsze w eksploatacji.

Układ UCT i MUCT

Innym rozwiązaniem wielostopniowego oczyszczania ścieków z wykorzystaniem osadu czynnego, uniemożliwiającym azotanom przedostawanie się do strefy beztlenowej, jest system opracowany na Uniwersytecie Kapsztadzkim (University of Cape Town). Zaproponowano tam stosowanie tzw. układu UCT (rys. 1.6), różniącego się od opisanego

wcześniej Bardenpho pod względem prowadzenia recyrkulacji wewnętrznych. W tym systemie osad recyrkulowany zewnętrznie z osadników wtórnych przepływa do strefy niedotlenionej razem z osadem recyrkulowanym wewnętrznie z końca komory nityfikacji. Kolejna recyrkulacja wewnętrzna jest prowadzona z końca komory niedotlenionej (co ogranicza praktycznie do zera możliwość wystąpienia w osadzie azotanów) do beztlenowej. Zastosowanie takiego rozwiązania jest jednak skomplikowane i nie zawsze zapewnia stabilne efekty. W związku z tym układ zmodyfikowano, dodając dodatkową strefę niedotlenioną po beztlenowej, i nazwano go MUCT (lub zmodyfikowanym UCT), a jego schemat przedstawiono na rysunku 1.7. Dzięki zastosowaniu dodatkowej strefy wyraźnie rozdzielono układy recyrkulacyjne na dwa niezależne układy. Systemy UCT i MUCT charakteryzują się wysoką efektywnością usuwania azotu. Wprowadzenie w tych systemach rozbudowanego układu recyrkulacji umożliwia bardziej efektywne wykorzystanie łatwo rozkładalnych związków węgla przez organizmy osadu czynnego, uczestniczące w procesie defosfatacji biologicznej. Skuteczność usuwania fosforu jest dzięki temu wyższa niż w systemie trójstopniowego Bardenpho.

Modyfikacje

Istnieje bardzo wiele modyfikacji przedstawionych układów technologicznych, wykorzystujących wielofazowe reaktory biologiczne do usuwania ze ścieków związków węgla azotu i fosforu, jednak nie są one stosowane w rozwiązaniach krajowych. Przedstawione powyżej systemy wielofazowe oczyszczania ścieków funkcjonują w kaskadzie połączonych ze sobą komór, w których prowadzone są różne fazy procesu. Innym również wykorzystywanym w krajowych oczyszczalniach systemem technologicznym jest reaktor SBR (ang. Sequencing Batch Reactor), przedstawiony na rysunku 1.8. W tej technologii do usuwania węgla, azotu i fosforu wykorzystuje się jeden zbiornik, prowadząc w nim, w zależności od potrzeb, biochemiczne utlenianie związków organicznych i azotu amonowego, denitryfikację, wiązanie i uwalnianie fosforu na drodze biologicznej. Cykl pracy reaktora SBR składa się z kilku etapów. Pierwsza to faza napełniania (statyczna), kiedy to reaktor jest napełniany ściekami, a w komorze panują warunki niedotlenienia. Potem następuje faza beztlenowa – po włączeniu mieszania przy wyłączonym napowietrzaniu. Wówczas początkowo zachodzi proces denitryfikacji pozostałych w osadzie azo-

tanów, następnie rozpoczyna się uwalnianie fosforanów. Po włączeniu napowietrzania w kolejnej fazie w warunkach tlenowych usuwane są związki węgla, zachodzi nityfikacja oraz następuje pobór fosforu ze ścieków przez organizmy osadu czynnego. Później symuluje się warunki takie jak w osadnikach wtórnych w fazie sedymentacji po wyłączeniu urządzeń napowietrzających i mieszających. Sedymentacja zachodzi szybko i przeważnie nie powstają warunki beztlenowe, powodujące wtórne uwalnianie fosforanów. Ostatnim etapem oczyszczania jest faza spuszczenia ścieków (dekantacji), kiedy to ścieki oczyszczone są usuwane z reaktora do odbiornika, a część osadu jest odprowadzana z układu jako osad nadmierny. Cykl pracy reaktora SBR ustala się doświadczalnie w oparciu o uzyskiwane efekty. Orientacyjne czasy trwania poszczególnych faz dla typowego ośmiogodzinnego cyklu pracy reaktora SBR to: napełnianie i mieszanie – 3 godz., napowietrzanie – 3 godz., sedymentacja – 1 godz., dekantacja – 0,5 godz., przestój – 0,5 godz. Zazwyczaj układy SBR pracują w układzie dwóch niezależnych ciągów technologicznych lub stosuje się dodatkowy zbiornik buforowy, magazynujący dopływające ścieki w czasie prowadzenia faz, w których nie przewiduje się zasilania reaktora ściekami. Zaletą układu SBR jest prosta automatyka i łatwa obsługa, brak osadników wtórnych i pomp do recyrkulacji zewnętrznej oraz wewnętrznej osadu czynnego oraz możliwość nagłego zwiększenia lub obniżania ładunku zanieczyszczeń dzięki sterowaniu objętością napełniania reaktora.

Inne ciekawe rozwiązanie to zastosowanie reaktora biologicznego obiegowego, np. typu Carrousel (rys. 1.9). W takich reaktorach tworzy się punktowo strefy beztlenowe, niedotlenione i tlenowe, więc w jednym zbiorniku są prowadzone wszystkie procesy charakterystyczne dla typowego reaktora wielofazowego.

W związku z coraz większym zainteresowaniem podniesieniem skuteczności usuwania ze ścieków azotu i fosforu prowadzone są badania doświadczalne z wykorzystaniem układów mieszanych, np. w oparciu o łączenie w jednym systemie technologicznym złóż biologicznych i osadu czynnego oraz zastosowanie zmodyfikowanych struktur biologicznych osadu czynnego czy technologii membranowych do oczyszczania ścieków komunalnych. Umożliwi to w przyszłości uzyskanie jeszcze bardziej efektywnych układów, ograniczających ilość zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych odprowadzanych do środowiska naturalnego.