



## 2. Technologie oczyszczania ścieków z nityfikacją i denityfikacją.

Należałoby zacząć od przeglądu dostępnych technologii oczyszczania ścieków, które powinny gwarantować skuteczne usuwanie substancji biogenych. I tutaj znowu daje się w Polsce obserwować stosowanie w technikach obliczeniowych norm ATV. Skutkiem tego [2] 588 oczyszczalni w Polsce działa źle, w tym nawet takie, które zgodnie z wymaganiami prawnymi powinny związki biogenne usuwać (warszawska oczyszczalnia Czajka, oczyszczalnia w Białymstoku, Bydgoszczy itd.) [3].

Jak z tego wynika zaprojektowanie i eksploatacja procesu oczyszczania ścieków ze skutecznym usuwaniem biogenów nadal stwarza projektantom i operatorom olbrzymie trudności. Powodów i przyczyn takiego stanu jest kilka; ale w tym miejscu skupiono się na najistotniejszych. Są metody, które potencjalnie gwarantują dobrą skuteczność usuwania biogenów - np. porcjowe reaktory SBR. Teoretycznie można tak wymodelować przebieg procesu, żeby zapewnić uzyskanie wymaganej skuteczności. Jednak, jak sama nazwa wskazuje (metoda porcjowa) pozostaje w sprzeczności ze statystycznym dopływem ścieków do oczyszczalni przeważnie niedopasowanym do przyjętej w projekcie ilości i jakości ścieków oczyszczanych w danym czasie. Gwarancją właściwego działania SBRów jest więc konieczność budowania zbiorników retencyjno-wyrównawczych o pojemności odpowiadającej **całodobowemu** dopływowi ścieków surowych. Dopiero takie wyrównanie składu i dopływu gwarantuje, że przyjęte założenia projektowe co do reżimu przebiegu procesu będą odnosiły się za każdym razem do takich samych warunków. W innym przypadku, ze względu na olbrzymie zróżnicowanie ilościowo-jakościowe dopływu w ciągu doby, tylko niektóre porcje dopływu odpowiadać będą założeniom projektowym. Tu należy zaznaczyć, że tylko w odosobnionych i bardzo nielicznych przypadkach reaktory SBR wyposażone w odpowiednie zbiorniki uśredniające. Spowodowane to jest prawdopodobnie tym, że dodatkowe kubatury wymagają dodatkowych nakładów inwestycyjnych. Stosowanie w dziedzinie ochrony środowiska, praw rynku doprowadziło do tego, że ponad 90% reaktorów SBR jest niekompletnych i to zarówno jeśli chodzi o kubatury jak i wyposażenie AKPiA, które w przypadku tego reaktora jest decydujące, ponieważ proces działa wyłącznie dzięki założonemu z góry zewnętrznemu sterowaniu, które nie zawsze odpowiada warunkom chwili.

Następną metodą, która budziła nadzieję na skuteczne usuwanie biogenów ze ścieków jest metoda A2O z późniejszymi modyfikacjami (np. BARDENPHO). Dodatkowym czynnikiem, który miał zwiększać jej pewność i skuteczność był postęp w dziedzinie pomiarów i automatyki. Szczególnie dużą „popularność” zdobyła możliwość precyzyjnego pomiaru potencjału REDOX. W swojej znakomitej większości fachowcy uznali, że uzyskanie tego parametru na właściwym poziomie jest gwarancją właściwego przebiegu denityfikacji. Jak się jednak okazało, o czym uprzedzali niektórzy autorzy [4] POR jest jedynie miarą **zdolności** do redukcji lub utlenienia danego układu, natomiast szereg reakcji cyklu azotowego, siarkowego, czy węglowego nie jest identyfikowana przez elektrodę oksydacyjno-redukcyjną. W związku z tym pomiar POR nie odzwierciedla wszystkich reakcji oksydacyjno-redukcyjnych przebiegających w środowisku wodnym. A zatem na podstawie pomiaru potencjału nie można dokonać całkowitej interpretacji przemian biochemicznych zachodzących w reaktorze.

Wobec tego niemożliwe jest, w oparciu o ten pomiar, ułożyć właściwy algorytm pracy reaktora biologicznego. Jako „zabezpieczenie” skuteczności usuwania azotu przyjęto, opisane przez ATV, metody polegające na zwiększaniu bądź zmniejszaniu powtarzalności procesu (stopień recyrkulacji ścieków). Przyjmowanie a priori (ATV), **wyłącznie** na podstawie bilansu azotu stopnia recyrkulacji, bez uwzględnienia innych czynników, które modelują proces niezależnie od nas, nie może budzić

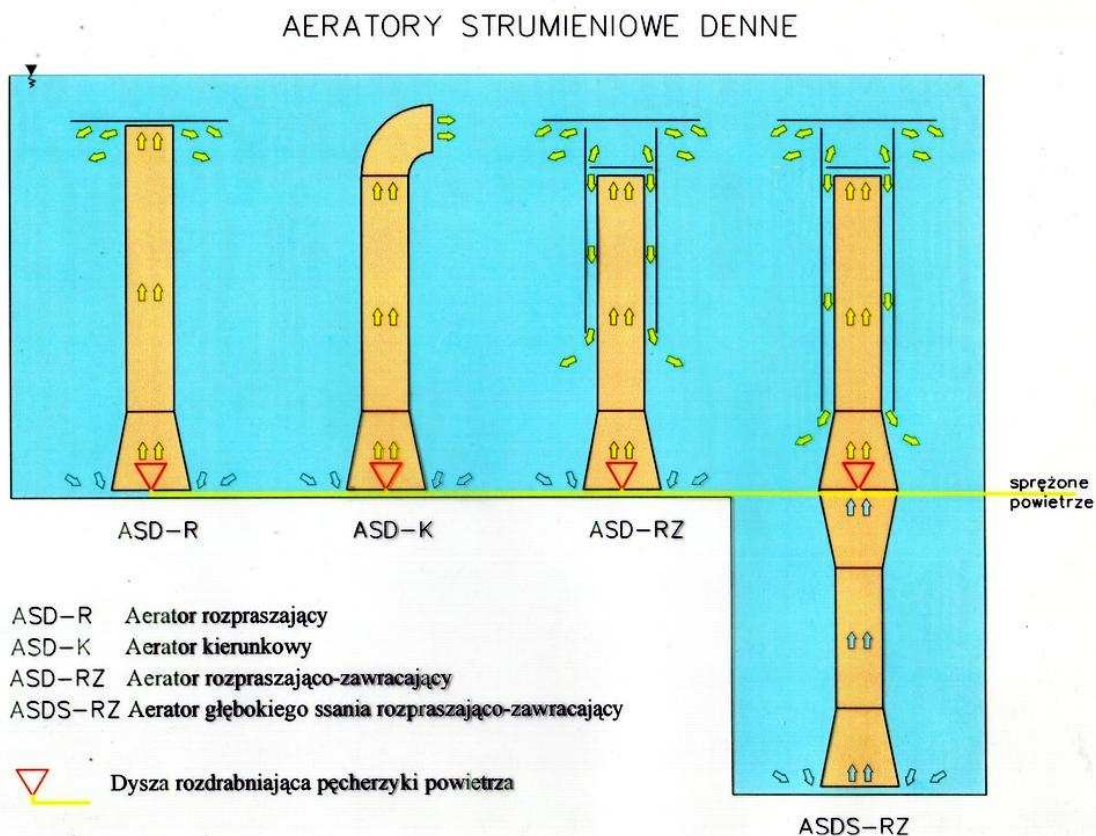
pełnego zaufania. Bardzo złożone zjawiska, zachodzące w procesie oczyszczania ścieków, nie do końca jeszcze poznaliśmy. Ponadto przebieg samego procesu charakteryzuje się olbrzymią bezwładnością. Oba te czynniki w zasadzie, wbrew mniemaniu niektórych autorów, wykluczają pełną kontrolę i dokładne wymuszone sterowanie.

Rozwój nauki, techniki i bioinżynierii wyrobił przekonanie, że modelując przebieg danego procesu lub np. produkując „cudowne środki” (antybiotyki) możemy zapanować całkowicie nad zjawiskami przyrodniczymi.

Wdrażana od kilkunastu lat, a zaprezentowana poniżej metoda oczyszczania ścieków udowadnia, że można „skonstruować” proces z pełnym usuwaniem biogenów w oparciu o samoregulujące mechanizmy występujące powszechnie w otaczającej nas przyrodzie.

### 3. System napowietrzania ASD

System napowietrzania handlowo nazwany w skrócie ASD (od nazwy Aeratorów Strumieniowych Dennyh), został opatentowany i jest stosowany zarówno w oczyszczalniach ścieków jak i do rekultywacji otwartych akwenów. Walory systemu ASD zostały docenione i nagrodzone złotym medalem na targach POLEKO 2003. Typy aeratorów ASD przedstawiono na rys. 1.



Rys.1. Typy aeratorów ASD

Hydrauliczna zasada działania ASD jest identyczna z zasadą działania pompy „mamut”.

Powietrze doprowadzane jest do ASD za pomocą dysz o specjalnej konstrukcji, które nie tłumią wylotu powietrza (powietrze wydobywa się z otwartej rury i dzięki sile wyporu rozdrabnia się na konstrukcji dyszy), co umożliwia dobór dmuchaw o mniejszych mocach w odróżnieniu od np. emiterów ceramicznych, których wydajność maleje wraz z czasem użytkowania i nawet okresowe

czyszczenie nie przywraca 100% sprawności początkowej. Po okresie maksymalnie 5 lat należy je praktycznie wymienić. Ta istotna różnica daje wymierne efekty ekonomiczne.

ASD podczas pracy wypełnione są mieszaniną cieczy i powietrza o mniejszej gęstości wynikowej niż ciecz na zewnątrz aeratora, co powoduje automatyczny jej napływ do wnętrza rury. Następnie - tak wytworzony „ciąg kominowy” tłumimy przez przykrycie go deflektorem i tzw. płaszczem powrotnym pozwalając części mieszaniny wydostać się na zewnątrz ku górze, a część (wraz z bąbelkami powietrza) skierowana jest w dół i wypływa spod płaszcza w połowie głębokości zbiornika. Wydłużona w ten sposób droga pęcherzyków powietrza w przepływie turbulentnym skutkuje lepszą wymianą międzyfazową w porównaniu do systemów w których pęcherzyki powietrza przepływają tylko drogą z dna do powierzchni.

Pęd strugi można ukierunkować transportując w ten sposób określony wydatek w pożądanym kierunku. Dzięki temu można wywołać w reaktorze biologicznym dowolną cyrkulację i mieszanie bez użycia mieszadeł.

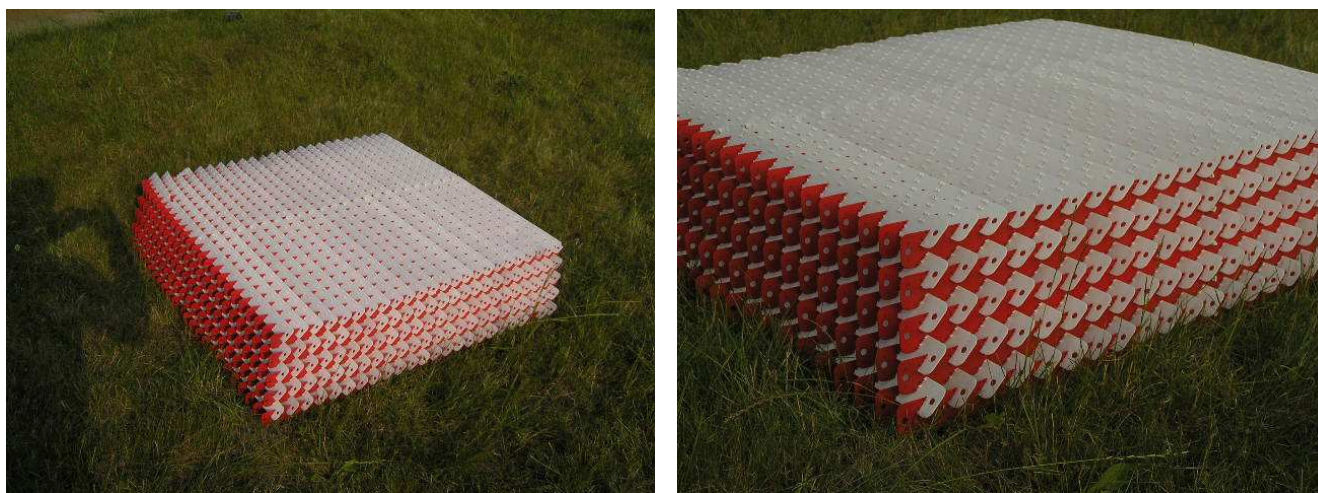
Funkcje napowietrzająco - mieszające pozwalają zastosować aeratory ASD w dowolnych nowoprojektowanych układach i przy modernizacji starych bez niebezpieczeństwa rozbicia kłaczków osadu.

Prawidłowo zaprojektowany i wykonany układ napowietrzania gwarantuje, że nawet przy małych wydatkach powietrza nie wystąpi zjawisko niepożądanego sedymentacji osadu w reaktorze.

System ten - w odróżnieniu od innych systemów napowietrzania drobnopęcherzykowego - sprawdza się również dla głębokości poniżej 4 metrów i jest w zasadzie jedyną ekonomicznie uzasadnioną alternatywą dla modernizacji starych oczyszczalni o mniejszych głębokościach, gdzie zastosowane było napowietrzanie powierzchniowe.

#### 4. Przepływowe złoża biologiczne

Drugim elementem składającym się na skonstruowanie procesu z samosterownym usuwaniem biogenów są przepływowe złoża biologiczne uważane obecnie na świecie za ostatni hit biotechnologii w zakresie oczyszczania ścieków.



Rys.2. Pakiet przepływowego złoża biologicznego

Współautor niniejszego opracowania z satysfakcją stwierdza, że przewidział ten kierunek rozwoju i od kilkunastu lat, w różnych zespołach eksperymentował, a później wdrażał tę właśnie metodę.

Czym jest i jaką rolę spełnia zanurzone złożo przepływowe. Pakiet (rys.2) jest to przestrzenna struktura o maksymalnej powierzchni rozwiniętej, przy minimalnym tłumieniu prześwietu - czyli przepływu ścieków czy wód. Jeżeli panel takiego złoża zostanie wstawiony poprzecznie w strugę zanieczyszczonej wody lub ścieków z zawieszonym osadem czynnym, to stanie się on automatycznie siedliskiem całego zespołu organizmów, które utworzą łańcuch pokarmowy na wszystkich jego poziomach. Jest to unieruchomienie biomasy nazywane immobilizacją osadu.

Jak wiadomo, kultury osiadłe są najkorzystniejsze z punktu widzenia technologii oczyszczania ścieków. Przepływająca przez złożo struga ścieków jest nośnikiem pokarmu i tlenu. Na złożu osiedli się ilość biomasy dokładnie odpowiadająca ilości dostarczanego pokarmu i tlenu, czyli będzie w przenośni funkcją ilości i składu dopływających do oczyszczalni ścieków.

Zasiedlanie złoża odbywa się na zasadzie „dobrowolności”, a więc w tym rozumieniu złożo jest habitatem dla zasiedlającej je biomasy (habitat - środowisko, w którym zespoły poszczególnych gatunków organizmów znajdują najdogodniejsze warunki życia; habitat jest częścią biotopu). Fakt ten gwarantuje najsprawniejsze funkcjonowanie zasiedlających je gatunków.

Zadaniem technologa jest więc takie skonstruowanie przebiegu procesu technologicznego, żeby nie zakłócać parametrów habitatu, czyli ograniczyć maksymalnie ingerencję zewnętrzną (stosowanie wymuszonego sterowania).

Jeśli z paneli złoża zbudujemy ścianę kompletnie przegradzając kierunek przepływu, to nie trudno się domyślić, że po zasiedleniu biomasą ściana taka stanie się również barierą tlenową. W praktyce wygląda to w ten sposób (pomiar z kilku oczyszczalni), że jeśli przed barierą stężenie tlenu wynosi  $2,5 \div 3,0 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ , to za barierą stężenie to wynosi średnio  $0,3 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ . Wynika to z naturalnych procesów biochemicznych, jakie zachodzą w objętości złoża. Czyli za złożem, bez zbędnego sterowania otrzymujemy warunki względnie beztlenowe właściwe dla procesu denitryfikacji. Taka właściwość odpowiednio skonstruowanej bariery „zwalnia” z pomiaru POR wraz z koniecznością jego interpretacji skutkującej następnymi krokami w sterowaniu procesem.

## **5. Samosterowny, hybrydowy biologiczny reaktor cyrkulacyjny**

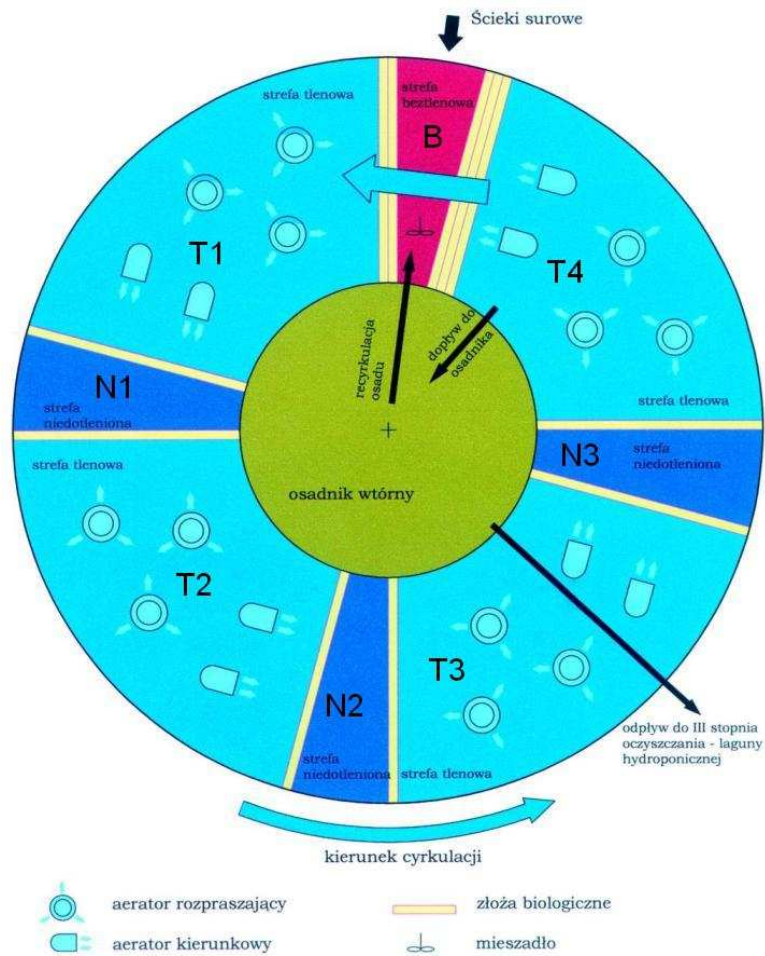
Hybrydowy, cyrkulacyjny reaktor biologiczny - komora osadu czynnego - działa w ciągłym przepływie i uśrednianiu czynnika, powtarzając kompletną sekwencję procesu wspólnych przemian węgla, azotu i fosforu. Prędkość cyrkulacji i ilości obiegów (powtórzeń) dzięki właściwościom ASD dostosowuje się automatycznie, proporcjonalnie do wielkości stale dopływającego ładunku.

Wnętrze komory reaktora zaprojektowane jest tak, żeby wpływające do niego mechanicznie oczyszczone ścieki, zanim przepłyną do osadnika wtórnego, przepłynęły przez strefę beztlenową oraz co najmniej kilkakrotnie opłynęły pierścien reaktora przechodząc kolejno przez szereg stref tlenowych i niedotlenionych. Komora reaktora skonstruowana jest w ten sposób, żeby przepływ ścieków tworzył obieg, przez kolejno naprzemiennie występujące strefy funkcjonalne. Często realizowane jest to w formie pierścienia.

Podział pierścienia komory na strefy funkcjonalne realizowany jest przy pomocy ścian zbudowanych z przepływowych złoż z zanurzonych. Ciąg stref funkcjonalnych buduje trójfazowy proces oczyszczania. Jest to możliwe dzięki temu, że jak wspomniano wcześniej - zasiedlone biomasą złożo, ustawione poprzecznie do przepływu strugi, stanowi barierę troficzną i tlenową. Schemat hybrydowego biologicznego reaktora cyrkulacyjnego przedstawiono na rys. 4.



## Schemat funkcjonalny reaktora cyrkulacyjnego



Rys. 4. Hybrydowy biologiczny reaktor cyrkulacyjny

Strefy funkcjonalne reaktora to:

- strefa beztlenowa (B),
- strefy anoksyczne (niedotlenione o zawartości tlenu rzędu  $0,2 \div 0,3 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ ) (N),
- strefy tlenowe (nityfikacji, o stężeniu tlenu -  $2 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ ) (T).

Strefa „B” jest jedna natomiast strefy „N” i „T” występują na obwodzie reaktora naprzemiennie i jest ich od kilku do kilkunastu.

Cyrkulację w komorze wywołują aeratory strumieniowe denne (ASD), które jak wspomniano wcześniej - hydraulicznie zachowują się jak pompa mamut. Ich wydatek cyrkulacyjny jest wprost proporcjonalny do ilości podawanego powietrza. Ilość podawanego powietrza jest sterowana zapotrzebowaniem na tlen zależnym od ilości dopływającego do oczyszczalni ładunku zanieczyszczeń. Zapotrzebowanie na tlen jest jednocześnie wskaźnikiem dynamiki procesu (im jest ono większe, tym większe są przemiany ilościowe). Zapewnieniem właściwej dynamiki procesu jest regulacja wydajności cyrkulacyjnej aeratorów, która rośnie lub maleje automatycznie i proporcjonalnie do ilości podawanego powietrza (tlenu).

Otrzymuje się w ten sposób całkowicie samosterowny układ cyrkulacyjny, bez potrzeby montażu drogiego i często zawodnego osprzętu, a ingerencja obsługi w proces jest nie tylko niepotrzebna, ale i niewskazana.

## 6. Przebieg procesu oczyszczania ścieków w hybrydowym reaktorze cyrkulacyjnym

Mechanicznie oczyszczone ścieki wpływają do strefy beztlenowej (B), skąd poprzez podwójną ścianę zbudowaną ze złóż przepływają do strefy napowietrzanej (T). W strefie tej zachodzi proces nityfikacji z jednoczesną asymilacją CO<sub>2</sub>.

Strefa tlenowa (T) „zamknięta” jest kolejną ścianą ze złóż. Przy przepływie ścieków przez złożę następuje biochemiczny rozkład zanieczyszczeń i zużycie tlenu do poziomu warunków anoksydacyjnych, czyli od tego miejsca rozpoczyna się strefa denityfikacji (N).

Idąc dalej w kierunku przepływu, strefa denityfikacji zamykana jest drugą ścianą zbudowaną ze złóż. Zużycie tlenu przy przejściu przez tę strefę jest stosunkowo niewielkie, bo głównie na oddychanie bakterii tlenowych (aerobów), jednak spada ona tak, że po przejściu przez drugą ścianę (zamykającą) stężenie tlenu może być bliskie zera. W ten sposób ponownie otrzymujemy strefę niedotlenioną (uwalniania fosforu). Zaraz za ścianą zamykającą usytuowane są ASD (aeratory strumieniowe denne) w wersji z płaszczem powrotnym, czyli napowietrzające od razu cały profil pionowy. Od tego miejsca rozpoczyna się znowu strefa tlenowa (T) - nityfikacji.

Takich naprzemiennych układów - stref na obwodzie komory reaktora biologicznego jak wspomniano wcześniej jest kilka do kilkunastu.

Wpływająca do reaktora umowna porcja ścieków, po przejściu przez początkową wydzieloną złożami strefę beztlenową (B), co najmniej kilkakrotnie obiega (cyrkuje) cały reaktor. Oznacza to, że podlega ona kompletnej, stopniowanej - kaskadowej obróbce biochemicznej kilkadziesiąt razy zanim przedostanie się do osadnika wtórnego.

Z osadnika wtórnego pewna część ścieków wraz z osadem zawieszonym zawracana jest do procesu. Osad zawieszony w układzie ze złożami zanurzonymi stanowi ok. 50% ogólnej biomasy biorącej udział w procesie (część jako osad nadmierny jest usuwana z procesu). Pozostała część biomasy immobilizowana jest na złożach.

W trakcie eksploatacji regulowana jest jedynie ilość osadu zawracanego (recykulowanego). Recyrkulacja osadu zawieszzonego znacząco nie wpływa na „wrażliwość” procesu na chwilowe zmiany obciążenia, ponieważ cała biorąca udział w procesie biomasa ma wystarczającą homeostazę czyli zdolność organizmów do zachowania równowagi funkcjonowania nawet w niesprzyjających warunkach.

Wyposażenie komory w złoża przepływowe zabezpiecza układ przed wypłukaniem osadu czynnego przy nagłych przeciążeniach hydraulicznych (szczególnie jest to ważne przy kanalizacji ogólnospławnej). W okresach niedożywienia (niski ładunek zanieczyszczeń w ściekach dopływających do oczyszczalni), kultury osiadłe w złożu konsumują słabe i obumarłe mikroorganizmy osadu zawieszzonego w cyrkulującej strudze. Dzięki temu, co najmniej 50% ogólnej biomasy, niezależnie od skoków obciążenia, stale jest w bardzo dobrej aktywności biologicznej.

Zastosowanie przepływowych złóż zanurzonych, na których zachodzi immobilizacja osadu pozwala na większą koncentrację biomasy biorącej udział w procesie w przeliczeniu na 1 m<sup>3</sup> komory reaktora biologicznego.

Daje to możliwość większego obciążenia komory ładunkiem zanieczyszczeń (do 0,6 kg BZT<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>) przy zachowaniu niskiego obciążenia osadu (poniżej 0,1 kgBZT<sub>5</sub>/kgsm).

W związku z tym zmniejszają się nakłady na budowę obiektów kubaturowych pomimo znacznego zwiększenia i rozszerzenia sprawności procesu.

*Zastosowanie barier biologicznych zbudowanych ze złóż przepływowych w formie pasywnej (bez napowietrzania) i w formie aktywnej (z napowietrzaniem) oraz systemu ASD bez płaszcza powrotnego dla akwenów niestratyfikowanych i z płaszczem powrotnym dla akwenów stratyfikowanych jest jednym ze sposobów rekultywacji części lub całych zbiorników wód, ale jest to temat na obszerne, oddzielne opracowanie.*

#### **Literatura:**

1. Rocznik Statystyczny. Główny Urząd Statystyczny - dział: Ludność według płci, wieku, województw, podregionów, powiatów, miast i gmin. Stan w dniu 30 VI 2004 r. Opracowanie na podstawie wyników ostatecznych NSP 2002.
2. Zofia Sadecka - Biologiczne tlenowe oczyszczanie ścieków - rzeczywistość i perspektywa - materiały z konferencji w Gorzowie Wielkopolskim X.2006 r.
3. Raport o oddziaływaniu na środowisko inwestycji. Modernizacja i rozbudowa Oczyszczalni Ścieków „Czajka” - styczeń 2007 r.
4. Andrzej Jodłowski - Potencjał oksydacyjno-redukcyjny w kontroli oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego. SENCO info 1/98 wyd. przez PITiT SENCO Sp. z o.o.
5. Prawo Wodne art. 208
6. Dyrektywa 91/271/EWG
7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 24 lipca 2006r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi. (Dz.U.2006 nr 137 poz. 984)

Artykuł został zamieszczony na str. 71 pozycji: „Oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych” pod redakcją naukową prof. Zofii Sadeckiej i dr Sylwi Myszograj będącą materiałem pomocniczym na X ogólnopolskiej Konferencji Naukowo - Technicznej „WODA - ŚCIEKI - ODPADY W ŚRODOWISKU” zorganizowanej na Uniwersytecie Zielonogórskim w dniach 21-22 maja 2007 r.

Pozycja wydrukowana przez Oficynę Wydawniczą Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Recenzenci: Michał Drab, Zbigniew Heidrich, Andrzej Jędrzak, Hanna Obarska-Pempkowiak, Marlena Piontek, Zofia Sadecka.

ISBN 978-83-7481-085-2