

Mirosław MAKOWSKI*

EFEKTYWNOŚĆ I WARUNKI BIOLOGICZNEJ DEFOSFATACJI ŚCIEKÓW

Streszczenie

Proces zwiększonej akumulacji fosforu jest obecnie jednym z najczęściej preferowanych sposobów suwania związków biogenych ze ścieków (fosforu). Decyduje o tym istota tego procesu tj. możliwość zintegrowanego biologicznego usuwania związków biogenych w układach z nisko-obciążonym osadem czynnym, przy taniej eksploatacji i mniejszej energochłonności w porównaniu z procesem chemicznego strącania fosforu. Istotą procesu zwiększonej akumulacji fosforu jest zastosowanie układu technologicznego z sekwencją warunków beztlenowych i tlenowych.

WPROWADZENIE

Związki fosforu w ściekach bytowo-gospodrczych to przede wszystkim fosforany oraz fosfor organiczny. Podczas biologicznego oczyszczania ścieków w reaktorach tlenowych pewna ilość fosforu zostaje zasymilowana przez przyrastającą biomasę. Jednak w tym przypadku ilość fosforu pobierana ze ścieków przez bakterie jest znacznie mniejsza niż pozostałe stężenie fosforu znajdujące się w odpływie z reaktora.

W celu intensyfikacji biologicznej akumulacji fosforu wprowadzono w ostatnich latach rozwiązania technologiczne układów oczyszczania ścieków oparte na odkryciu, że w okresowych warunkach beztlenowych możliwa jest zintensyfikowana akumulacja fosforu w kłaczkach osadu czynnego.

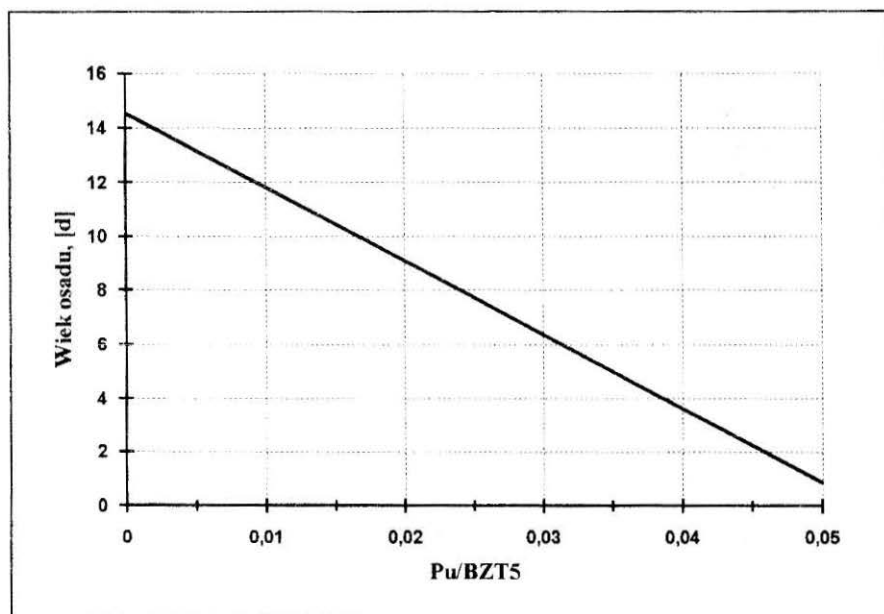
* Mirosław MAKOWSKI - Zakład Technologii Wody, Ścieków i Odpadów, Politechnika Zielonogórska

1. USUWANIE FOSFORU W PROCESIE ASYMILACJI

Fosfor jest jednym z podstawowych składników niezbędnych dla życia bakterii. Komórki bakterii składają się w 50% z dwutlenku węgla, 10÷15% związków azotu, 2÷6% fosforu oraz w pozostałych 30% tlenu, wody, siarki i pierwiastków śladowych.

Znając przyrost biomasy osadu czynnego można obliczyć ilość (stężenie) fosforu w ściekach oczyszczonych.

Na rysunku 1 przedstawiono zależność stopnia redukcji fosforu na drodze biologicznej asymilacji w odniesieniu do wieku osadu. Konstrukcja krzywej została wykonana przy założeniu średnich wartości azotu (12%) i fosforu (4%) zakumulowanych w komórce bakterii.



Rys. 1. Stopień biologicznej eliminacji fosforu w zależności od wieku osadu czynnego [2]

Korzystając z rysunku 1, w celu zobrazowania wpływu wieku osadu czynnego na efektywność asymilacji fosforu przedstawiono poniżej krótki przykład obliczeniowy.

Dane: ścieki miejskie po mechanicznym oczyszczeniu

$$\text{BZT}_5 = 250 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3,$$

$$\text{P}_{\text{og}} = 12 \text{ mg}/\text{dm}^3,$$

a) Układ wysokoobciążony - wiek osadu = 3 d,

$$\text{P}_u/\text{BZT}_5 = 0,042 \text{ gP/gBZT}_5$$

$$\text{P}_u = 0,042 \cdot 250 = 10,3 \text{ mgP}/\text{dm}^3$$

$$\text{P}_o/\text{P}_u = (10,3/12) \cdot 100\% = 87 \%$$

b) Układ niskoobciążony - wiek osadu = 10 d,

$$\text{P}_u/\text{BZT}_5 = 0,017 \text{ gP/gBZT}_5$$

$$\text{P}_u = 0,017 \cdot 250 = 4,25 \text{ mgP}/\text{dm}^3$$

$$\text{P}_o/\text{P}_u = (4,2/12) \cdot 100\% = 35 \%$$

Na podstawie powyższych obliczeń można stwierdzić iż w układach technologicznych z wysokobciążonym osadem czynnym na drodze biologicznej asymilacji możliwa jest nawet 90% redukcja fosforu. W układach z niskoobciążonym osadem czynnym stopień ten jest znacznie mniejszy.

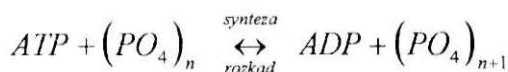
Niższa sprawność eliminacji fosforu na drodze asymilacji w przypadku niskoobciążonego osadu czynnego wynika z faktu iż część fosforu w układach niskoobciążonego osadu czynnego uwalniana jest do cieczy nadosadowej i wraz z filtratem powraca ponownie do początku układu technologicznego oczyszczania ścieków.

2. USUWANIE FOSFORU W PROCESIE ZWIĘKSZONEJ AKUMULACJI

2.1. Podstawy chemiczne procesu

Mechanizm zjawiska zwiększonej akumulacji fosforu polega na zdolności pewnych grup bakterii (*Acinetobacter*, *Arthrobacter globiformis*), w określonych warunkach tj. w przypadku zastosowania reaktora beztlenowego przed reaktorem tlenowym, do kumulacji znacznych ilości fosforu w postaci polifosforanów. Proces ten przebiega pod warunkiem zachowania odpowiedniego stosunku ilości substancji węglowych

mierzonych w postaci BZT₅ do fosforu w ściekach surowych poddawanych biologicznemu oczyszczaniu. Zintegrowane uwalnianie i pobieranie fosforu przebiega w dwóch fazach (strefach): beztlenowej (anaerobowej - pozbawionej tlenu) i tlenowej (aerobowej). W strefie beztlenowej bakterie kumulujące fosfor pobierają odpowiednie substraty wykorzystując energię hydrolizy łańcucha polifosforanowego, w wyniku, której uwalniane są ortofosforany według reakcji:



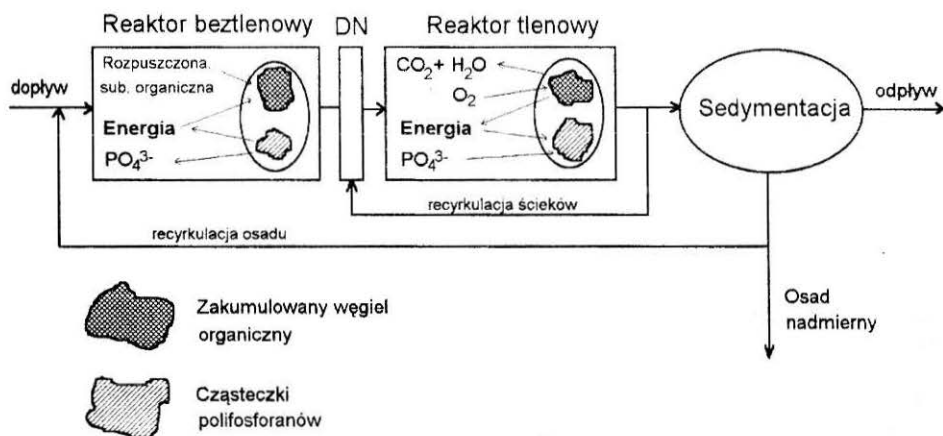
Substratami, które najczęściej są pobierane przez bakterie w warunkach beztlenowych są łatworozkładalne związki organiczne np. niższe kwasy tłuszczowe, octany. Związki te mogą pochodzić z rozpuszczonych części ładunku zanieczyszczeń węglowych wyrażonych w postaci BZT₅ lub też gotowych produktów fermentacji. Proces usuwania fosforu na drodze biologicznej przebiega dużo szybciej, gdy ścieki dopływające do komory defosfatacji są zgniłe, ponieważ znajdują się w nich już gotowe produkty fermentacji.

Po przejściu ze strefy beztlenowej w tlenową nagromadzone w komórkach acetylooctany i polihydroksylomaślany zostają w krótkim czasie utlenione co powoduje wzrost i rozwój komórek bakterii. W procesie utleniania dodatkowo wydzielana jest duża ilość energii, która magazynowana jest w postaci ATP. Wiąże się to z pobieraniem rozpuszczonego fosforu i magazynowaniem go w formie polifosforanów w komórkach mikroorganizmów.

2.2. Podstawy mikrobiologiczne procesu

Dotychczas brak jest jednoznacznie sformułowanej teorii omawiającej zjawisko zwiększonej akumulacji fosforu przez bakterie w przypadku zmiany środowiska z beztlenowego na tlenowe. Jak dotąd w sposób jednoznaczny stwierdzono, że podstawową grupą bakterii, które decydują o efektywności procesu biologicznej eliminacji fosforu stanowią bakterie z grupy *Acinetobacter*. Bakterie te nazywane bezwzględny tlenowcami w zmiennych warunkach tlenowych, są w stanie akumulować fosfor, w formie polifosforanów nawet do 25% swojej masy. W oparciu

o aktualny stan wiedzy można stwierdzić, że pod wpływem warunków beztlenowych fakultatywne, heterotroficzne bakterie beztlenowe przekształcają w wyniku procesu fermentacji zawarte w ściekach łatworozkładalne związki węglowe do niższych kwasów tłuszczowych. Następnie produkty te (Poly - β - kwas hydroksylomasłowy PHB) zostają zasymilowane i wykorzystane do budowy komórek bakterii. Energia niezbędna do przeprowadzenia powyższej reakcji pochodzi z redukcji polifosforanów, która zachodzi w komórkach bakterii pod wpływem warunków beztlenowych. W wyniku tej reakcji z komórek bakterii uwalniane są znaczne ilości fosforu. Bakterie tlenowe wykorzystują powyższą reakcję w celu uzyskania energii niezbędnej dla przeżycia organizmów w warunkach beztlenowych. W warunkach tlenowych nagromadzone PHB mogą być wykorzystane jako źródło substancji węglowych dla prawidłowego metabolizmu i rozmnażania komórek. Przy pomocy uwolnionej w tym procesie energii zostają ponownie zasymilowane ortofosforany, zmagazynowane w komórkach bakterii jako polifosforany. Mechanizm zwiększonej akumulacji fosforu w sposób uproszczony przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Schemat procesu biologicznej defosfatacji ścieków

2.3. Efektywność zwiększonej akumulacji fosforu

Efektywność biologicznej defosfatacji ścieków uwarunkowana jest szeregiem różnych czynników, zależnych zarówno od składu oczyszczanych ścieków, jak i parametrów technologicznych prowadzenia procesu. Do czynników, które decydują o sprawności biologicznej defosfatacji możemy zaliczyć:

- ilość i rodzaj substancji organicznych przyswajanych przez bakterie kumulujące fosfor,
- obciążenie i wiek osadu czynnego,
- ilość azotanów w strefie beztlenowej,
- warunki tlenowe i czas zatrzymania ścieków w komorze beztlenowej,
- sprawność osadnika wtórnego.

Warunkiem uzyskania wysokiej sprawności procesu biologicznej defosfatacji jest obecność w ściekach łatworozkładalnych produktów fermentacji (octany, brausztyniany). Dodatkowo istotnym elementem mającym wpływ na stopień usuwania fosforu jest odpowiednia proporcja ilości produktów fermentacji do ilości fosforu w ściekach. Przyjmuje się, że aby uzyskać wysoki stopień biologicznej defosfatacji stosunek BZT_5/P_{og} w ściekach dopływających do komory defosfatacji powinien być większy od 20.

Efekt usuwania fosforu na drodze asymilacji zwiększa się wraz ze zwiększeniem obciążenia osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń i zmniejszenie wieku osadu czynnego (rys. 1). Szczególne znaczenie ma to w przypadku prowadzenia procesów zintegrowanego usuwania ze ścieków związków biogenych, ponieważ w przypadku układów technologicznych wykorzystujących proces nityfikacji i denityfikacji stosuje się niskie obciążenia osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń (poniżej 0,15 kg BZT_5 /kg s.m.o.).

W konwencjonalnych układach zintegrowanego usuwania węgla i azotu (układu bez komory biologicznej defosfatacji) fosfor ulega utlenieniu do fosforanów, przy czym pewna ilość fosforu zostaje zasymilowana przez przyrastającą biomasę w tym przypadku fosfor stanowi jednak zaledwie od 1% do 2% suchej masy komórki, wobec czego na drodze asymilacji można jedynie osiągnąć od 15 do 30% redukcji jego zawartości w ściekach (ok. 1% dopływającego ładunku BZT_5). Natomiast w przy-

padku zastosowania wydzielonej biologicznej defosfatacji ilość fosforu, którą dodatkowo można usunąć ze ścieków wraz z osadem nadmiernym wyniesie do 4% suchej masy komórki.

Niekorzystny wpływ na proces defosfatacji ma również obecność w strefie beztlenowej azotanów. Wynika to z możliwości kumulacji wykorzystywanych substratów organicznych w wyniku utleniania zamiast ich redukcji.

Obecność tlenu w strefie beztlenowej może spowodować znaczne obniżenie efektu usuwania ze ścieków fosforu. Tlen w strefie beztlenowej stwarza możliwość tlenowego rozkładu substratów, a nie ich redukcję co powoduje ograniczenie ilości produkowanych kwasów tłuszczowych, które intensyfikują rozwój bakterii kumulujących fosfor. Dopuszczalne stężenie tlenu w strefie beztlenowej wynosi $0,3 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$.

Czas zatrzymania ścieków w strefie beztlenowej powinien być na tyle długi, aby mogła powstać odpowiednia ilość produktów fermentacji, zwykle wynosi on od 1 do 2 h.

Efektywność usuwania fosforu zależy również od sprawności działania osadnika wtórnego, ponieważ wraz ze zwiększeniem się ilości odprowadzanych w ściekach oczyszczonych zawiesin wzrasta ilość fosforu og. w odpływie z oczyszczalni, a tym samym zmniejsza się sprawność procesu eliminacji fosforu.

3. WARUNKI BIOLOGICZNEJ DEFOSFATACJI ŚCIEKÓW

Maksymalną efektywność biologicznej defosfatacji można uzyskać w sytuacji, kiedy ścieki surowe dopływające do oczyszczalni zawierają duże ilości łatworozkładalnych substancji organicznych oraz przy możliwie niskich stosunkach P/BZT_5 i N/BZT_5 .

Niezbędnym warunkiem zwiększonej akumulacji fosforu w biomase osadu czynnego jest sekwencja warunków beztlenowych i tlenowych.

Do warunków, które sprzyjają biologicznej eliminacji fosforu można zaliczyć:

- stosunek N/BZT_5 w dopływie $\leq 0,25$,
- stosunek $\text{BZT}_1/\text{BZT}_5 > 0,3$ lub $\text{BZT}_5 \text{ filtr.}/\text{BZT}_{5\text{org}} > 0,4$,
- zastosowanie osadnika wstępnego o krótkim czasie przetrzymania ścieków ($0,5 \div 1,0 \text{ h}$),

- mechaniczne zagęszczanie osadu nadmiernego z możliwością recyrkulacji filtratu do komory defosfatacji,
- wykorzystanie zagnitych ścieków dowożonych taborem asenizacyjnym.

Dodatkowo w przypadku, kiedy powyższe warunki nie są możliwe do spełnienia zaleca się:

- celowe zakwaszanie osadu recyrkulowanego poprzez dawkowanie filtratów lub też cieczy nadosadowej z zagęszczaczy,
- minimalizację ilości tlenu doprowadzonego do komory defosfatacji wraz z recyrkulowanym osadem poprzez odpowiedni dobór pomp,
- minimalizację recyrkulacji wraz z osadem nadmiernym azotanów poprzez zastosowanie wysokosprawnego procesu denitryfikacji,
- zastosowanie urządzeń do mechanicznego zagęszczania osadu (wykorzystanie filtratów),
- zastosowanie w miarę możliwości wysokoobciążonych układów technologicznych (krótki wiek osadu czynnego).

4. WADY I ZALETY BIOLOGICZNEJ ELIMINACJI FOSFORU

W porównaniu z powszechnie stosowanym procesem chemicznego strącania fosforu proces biologicznej defosfatacji wymaga dużo mniejszych nakładów eksploatacyjnych (duży koszt reagentów oraz eksploatacji urządzeń do ich magazynowania i dawkowania). Dodatkową zaletą prowadzenia procesu biologicznej defosfatacji w porównaniu z chemicznym strącaniem fosforu jest fakt iż w przypadku usuwania fosforu na drodze chemicznej znacznie zwiększa się ilość powstającego osadu nadmiernego co ma duże znaczenie w przypadku wymiarowania części technologicznej przeróbki osadów ściekowych. Ponadto w procesach chemicznego strącania fosforu w porównaniu z biologiczną defosfatacją znacznie pogarsza się jakość ścieków oczyszczonych (wzrost zasadowości i zasolenia), co jest spowodowane stosowaniem odpowiednich środków chemicznych (FeSO_4 , FeCl_3 itp.).

Wykorzystanie biologicznej eliminacji fosforu obniża koszty energii, która jest niezbędna do napowietrzania w strefie tlenowej, co jest związane z obniżeniem ładunku BZT₅ w strefie beztlenowej. Wykorzystanie strefy beztlenowej i niedotlenionej przed strefą tlenową ogranicza dodatkowo

rozwój organizmów nitkowatych, co wpływa korzystnie na strukturę osadu czynnego poddawanego sedymentacji i zagęszczaniu.

Wadą biologicznej defosfatacji ścieków są duże koszty inwestycyjne związane z budową komory beztlenowej.

5. PODSUMOWANIE

Zastosowanie zwiększonej akumulacji fosforu pozwala usunąć od 30 do 90% fosforu. Efekty biologicznej defosfatacji ścieków zależą w głównej mierze od charakteru i składu oczyszczanych ścieków. Za wyborem biologicznej defosfatacji ścieków przemawiają: tańsza eksploatacja, mniejsza energochłonność oraz co jest najważniejsze wyłączenie stosowania metod biologicznych. Należy jednak dodać, że koszty inwestycyjne układów z biologiczną eliminacją fosforu są jednak większe niż układów z chemicznym strącaniem. Na korzyść metod biologicznego usuwania fosforu przemawia jednak możliwość pełnej integracji usuwania na drodze biologicznej związków biogenych.

LITERATURA

- [1] **BURACZEWSKI G.:** *Biotechnologia osadu czynnego*. Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa 1994.
- [2] **BOLL, R:** *Grundlagen und Verfahren zur biologischen Phosphatelimination*. ATV-Foratbildungskurs F/2,2.-4.11.1988 in Fulda Abwasserreinigung im lichte neuer forderungen
- [3] **Praca zbiorowa:** *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział w Poznaniu, Poznań 1995.
- [4] **Praca zbiorowa pod red. A.L. Kowala:** *Odnowa wody. Podstawy teoretyczne procesów*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1990r
- [5] **BIERNACKA J., KURBIEL J., PAWŁOWSKA L.:** *Usuwanie związków biogenych ze ścieków miejskich*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1992r.