

Wojciech Janczukowicz, Joanna Rodziewicz, Urszula Filipkowska

WPLYW LOTNYCH KWASÓW TŁUSZCZOWYCH (LKT) NA SZYBKOŚĆ UWALNIANIA I WIĄZANIA FOSFORANÓW W REAKTORZE TYPU SBR

Streszczenie. Przebadano wpływ lotnych kwasów tłuszczowych (LKT) na szybkość uwalniania i wiązania fosforanów w czasie fazy mieszania i napowietrzania w reaktorze SBR. Określono także sprawności procesów usuwania fosforanów i azotanów (V) w zależności od rodzaju zastosowanego kwasu.

Badania przeprowadzono w ramach jednego cyklu pracy SBR (mieszanie – 3 h, napowietrzanie – 4 h i sedymentacja – 1 h) w obecności kwasów: octowego, propionowego, masłowego, izomasłowego, walerianowego, izowalerianowego i kapronowego. Stężenia fosforanów i azotanów na początku cyklu wynosiły odpowiednio $14,1 \text{ mg P}_{\text{PO}_4} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $1,22 \text{ mg N}_{\text{NO}_3} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Stwierdzono, że fosforany uwalniane są z najwyższą szybkością w reaktorach z kwasem octowym ($3,85 \text{ mg P}_{\text{PO}_4} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) i z najniższą ($0,85 \text{ mg P}_{\text{PO}_4} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) w obecności kwasów izowalerianowego i kapronowego. Również wiązanie fosforanów przebiegało najszybciej w reaktorze z kwasem octowym ($5,19 \text{ mg P}_{\text{PO}_4} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$), podczas, gdy najwolniej ($2,86 \text{ mg P}_{\text{PO}_4} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) w obecności kwasu izowalerianowego. Najwyższe szybkości uwalniania i wiązania fosforanów w obecności kwasu octowego były równoznaczne z najefektywniejszym procesem defosfatacji (65,25%). Nie było takiej jednoznacznej zależności w odniesieniu do pozostałych kwasów. Najniższą sprawność usuwania fosforanów, zanotowano w reaktorach dla których zewnętrznym źródłem węgla były kwas izomasłowy (51,06%).

Kwas octowy był także najbardziej efektywnym źródłem węgla w odniesieniu do procesu denitryfikacji (57,38%), a najmniej efektywnym był kwas izomasłowy (29,51%).

Stwierdzono, że w obecności kwasu octowego zarówno proces defosfatacji jak i proces denitryfikacji przebiegały z najwyższą sprawnością. Najmniej sprzyjającym obu procesom był kwas izomasłowy.

Słowa kluczowe: usuwanie biogenów, uwalnianie i wiązanie fosforanów, LKT, SBR.

WPROWADZENIE

Efektywność usuwania fosforu w komorach typu SBR oczyszczających ścieki mleczarskie może być ograniczona niewystarczającą ilością dostępnego węgla organicznego [5]. Jednym ze sposobów jej podwyższenia jest zastosowanie tzw. zewnętrznego źródła węgla [1, 11]. Do komory SBR doprowadza się dodatkowo substancje będące źródłem węgla dla bakterii odpowiedzialnych za usuwanie fosforu, np. lotne kwasy tłuszczowe (LKT).

Wojciech JANCZUKOWICZ, Joanna RODZIEWICZ, Urszula FILIPKOWSKA – Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Obecność azotanów (V) może mieć wpływ na ilość uwalnianych fosforanów w czasie fazy mieszania oraz na ilość fosforanów wiązanych podczas fazy napowietrzania, co wynika ze współzawodnictwa bakterii akumulujących polifosforany z bakteriami denitryfikacyjnymi o substrat organiczny [3]. W zależności od rodzaju dostępnego źródła węgla, azotany (V) mogą wpływać na obniżenie sprawności procesu usuwania fosforanów lub nie wpływać na jego przebieg [2, 10]. Szybkość procesu denitryfikacji, przebiegającego równolegle z uwalnianiem ortofosforanów w trakcie fazy mieszania, jest zależna od rodzaju dostępnego źródła węgla organicznego, a naukowcy są zgodni, że kwas octowy gwarantuje najwyższą efektywność procesu usuwania azotanów (V) [2, 3, 10]. Zdaniem Eilersena [2] niektóre kwasy organiczne (propionowy, izomasłowy, walerianowy i kapronowy) mogą nawet powodować inhibicję denitryfikacji. W ich obecności można zatem spodziewać się zwiększonego uwalniania, wiązania i w konsekwencji usuwania fosforu.

W reaktorach SBR z zewnętrznym źródłem węgla organicznego, oczyszczających ścieki zawierające niewielkie ilości azotanów (V), dostępne związki organiczne wykorzystywane są w czasie fazy mieszania w pierwszej kolejności przez mikroorganizmy denitryfikacyjne uczestniczące w redukcji azotanów (V) – jako źródło węgla i energii. Odpowiednio długi czas trwania tej fazy oraz obecność znacznych ilości substratu organicznego decydują o tym, że niewiele później, lub nawet równolegle następuje uwalnianie polifosforanów komórkowych przez bakterie fosforanowe. Ilość i szybkość uwalniania polifosforanów są zależne od rodzaju substratu oraz od szybkości jego zużywania przez mikroorganizmy denitryfikacyjne [9].

Celem pracy było określenie wpływu wybranych lotnych kwasów tłuszczowych na szybkość uwalniania i wiązania fosforanów w reaktorze SBR przy niskim początkowym stężeniu azotanów (V) wynoszącym $1,22 \text{ mg N}_{\text{NO}_3} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Zakres pracy obejmował ustalenie szybkości uwalniania i wiązania fosforanów w reaktorze sekwencyjnym w zależności od zastosowanego kwasu z grupy LKT oraz określenie wpływu rodzaju kwasu na efektywność usuwania fosforanów i azotanów (V).

METODYKA BADAŃ

Biomasa użyta w czasie badań pochodziła z komory osadu czynnego typu SBR z oczyszczalni ścieków mleczarskich. W okresie poprzedzającym przeprowadzenie eksperymentu obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń we wspomnianej oczyszczalni było w przedziale od 0,004 do 0,01 $\text{kg BZT}_5 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{sm} \cdot \text{d}^{-1}$, (przy stężeniu osadu $3,8\text{--}4,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), i wiek osadu wynosił około 10,4 d. W komorze SBR uzyskiwano sprawność usuwania: ChZT w przedziale 70–77%, azotu ogólnego w granicach 45–48% i fosforu od 46 do 61%.

Mieszanie osadu czynnego wraz z oczyszczonymi ściekami pobrano z komory SBR oczyszczalni ścieków mleczarskich pod koniec fazy napowietrzania. Po

przetransportowaniu do laboratorium umieszczono ją w reaktorze laboratoryjnym SBR o objętości 45 litrów. W czasie trzech następujących po sobie 8-godzinnych cyklach zawartość reaktora poddawano reżimowi technologicznemu, w którym mieszanie trwało 3,0 godziny, napowietrzanie 4,0 h, a sedymentacja 1,0 godzinę. Do reaktora w tym okresie nie doprowadzano nowych porcji ścieków surowych. W efekcie uzyskano dalsze obniżenie zawartości substancji organicznych. ChZT ścieków w reaktorze, które na początku doświadczenia wynosiło $49 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$.

Badania nad szybkością uwalniania i wiązania fosforanów w obecności lotnych kwasów tłuszczowych w reaktorze sekwencyjnym przeprowadzono z wykorzystaniem zestawów „OxiTop Control” w skład których wchodziły butelki o objętości 0,45 l, stojaki magnetyczne i cieplarki.

W dniu badań do butelek wlewano mieszaninę ścieków i osadu czynnego pobraną z reaktora laboratoryjnego SBR pod koniec fazy napowietrzania. Do butelek dodawano następnie lotne kwasy tłuszczowe: octowy, propionowy, masłowy, izomasłowy, walerianowy, izowalerianowy i kapronowy, w ilościach wynikających z założeń eksperymentu.

Do butelek wprowadzono także roztwór KH_2PO_4 w celu uzyskania odpowiedniego początkowego stężenia ortofosforanów.

Szczelnie zamknięte butelki umieszczono na stojakach magnetycznych, w cieplarni zapewniającej utrzymanie w czasie eksperymentu temperatury na poziomie 20°C . Zawartość butelek mieszano przez trzy godziny za pomocą mieszadełek magnetycznych, a następnie napowietrzano przez cztery godziny sprężonym powietrzem. Potem butelki odstawiano do jednogodzinnej sedymentacji. Analizom poddawano ścieki po fazie mieszania i sedymentacji. Badania prowadzono w dwóch powtórzeniach.

Stężenie początkowe fosforu ogólnego w reaktorach było zbliżone do obserwowanego w ściekach mleczarskich dopływających do oczyszczalni, z której pochodziła biomasa użyta w czasie badań. Dawki kwasów przyjęto kierując się zaleceniami literaturowymi [9]. Zgodnie z nimi dla niezawodnego usuwania fosforu potrzebna jest ilość LKT większa od $4 \text{ mg LKT} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ P}$.

W tabeli 1 przedstawiono warunki początkowe doświadczenia – bezpośrednio przed dodaniem lotnych kwasów tłuszczowych.

Tabela 1. Warunki technologiczne na początku doświadczenia przed dodaniem do reaktorów lotnych kwasów tłuszczowych**Table 1.** Technological conditions at the beginning of the experiment before VFA addition to the reactors

Wskaźnik	Jednostka	Wartość
Odczyn	pH	7,91
ChZT	mg O ₂ ·dm ⁻³	45,4
Fosfor ogólny	mg P·dm ⁻³	15,5
Ortofosforany	mg P _{PO4} ·dm ⁻³	14,1
Azot azotanowy (V)	mg N _{NO3} ·dm ⁻³	1,22
Azot amonowy	mg N _{NH4} ⁺ ·dm ⁻³	0,06
Stężenie zawiesin w osadzie czynnym	g·dm ⁻³	4,1

W czasie badań wykonano następujące analizy fizyczno-chemiczne:

- ChZT metodą dwuchromianową [PN74/C-04578/03],
- azot amonowy metodą miareczkową [PN 73/C-04576/02], metodą kolorymetryczną z odczynnikami Nesslera [PN 73/C-04576/01],
- azot azotanowy (V) metodą kolorymetryczną z kwasem fenolodwusulfonowym [PN 73/C-04576/08],
- ortofosforany metodą kolorymetryczną z kwasem askorbinowym [PN 88/C-04537/04],
- fosfor ogólny [PN 91/C-04537/09].

WYNIKI

W pracy przeanalizowano wpływ lotnych kwasów tłuszczowych na szybkość uwalniania i wiązania fosforanów odpowiednio w czasie fazy mieszania i napowietrzania w reaktorze typu SBR. Przeanalizowano także wpływ rodzaju kwasu na sprawność procesu usuwania fosforanów i azotanów (V).

Wyniki badań nad szybkościami uwalniania i wiązania fosforanów przedstawiono na rysunku 1 i 2. Najwyższe szybkości uwalniania fosforanów stwierdzono w reaktorach, do których doprowadzano kwas octowy i kwas propionowy (rys. 1), wynosiły one odpowiednio 3,85 i 3,33 mg P_{PO4}·dm⁻³·h⁻¹. W przypadku kwasów masłowego, izomasłowego i walerianowego szybkości procesu uwalniania były prawie dwukrotnie niższe niż dla kwasu octowego i wynosiły odpowiednio 2,00, 2,12 i 1,80 mg P_{PO4}·dm⁻³·h⁻¹. W obecności kwasów izowalerianowego i kapronowego wartości tego parametru były jeszcze niższe i nie przekraczały 1,00 mg P_{PO4}·dm⁻³·h⁻¹ (0,85 mg P_{PO4}·dm⁻³·h⁻¹).

Podczas fazy napowietrzania obserwowano proces wiązania fosforanów. Z najwyższą szybkością przebiegał on w reaktorach z kwasem octowym, a następnie pro-

pionowym – odpowiednio 5,19 i 4,63 mg $P_{PO_4} \cdot dm^{-3} \cdot h^{-1}$ (rys. 2). W obecności kwasów masłowego, izomasłowego i walerianowego szybkości wiązania były w przedziale od 3,69 do 3,39 mg $P_{PO_4} \cdot dm^{-3} \cdot h^{-1}$. Najniższe wartości zanotowano w reaktorach z kwasem izowalerianowym i kapronowym – odpowiednio 2,86 i 2,91 mg $P_{PO_4} \cdot dm^{-3} \cdot h^{-1}$.

W obecności kwasu octowego zanotowano zarówno najwyższe wartości szybkości uwalniania jak i wiązania fosforanów. Następny w kolejności, w odniesieniu do obu szybkości, był kwas propionowy. Takiej jednoznacznej zależności nie stwierdzono w przypadku większości pozostałych kwasów. Fosforany były uwalniane i wiązane z najniższą szybkością w obecności kwasu izowalerianowego.

Najwyższą sprawność usuwania fosforanów, wynoszącą 65,25%, uzyskano w reaktorze do którego doprowadzano kwas octowy (rys. 3). W przypadku tego kwasu najwyższa sprawność procesu defosfatacji wynikała z najwyższych wartości szybkości uwalniania i wiązania fosforanów. Nie stwierdzono jednak już takiej zależności w odniesieniu do kwasu propionowego – efektywność usuwania fosforanów w obecności tego kwasu, wynosząca 60,03%, była niższa niż dla kwasów masłowego (62,06%), izowalerianowego (63,12%) i kapronowego (64,54%), chociaż w reaktorach z powyżej wymienionymi kwasami szybkości obu procesów były niższe niż odpowiadające im wielkości w reaktorze z kwasem propionowym. Niższe sprawności usuwania fosforanów, od tej uzyskanej w obecności kwasu propionowego, zanotowano w reaktorach dla których zewnętrznym źródłem węgla były kwas izomasłowy (51,06% – najniższa sprawność) i kwas walerianowy (57,8%).

Najniższy poziom azotanów (V) w ściekach oczyszczonych (rys. 4) zanotowano w reaktorze z kwasem octowym (0,52 mg $N_{NO_3} \cdot dm^{-3}$). Okazał się on być najbardziej efektywnym źródłem węgla w odniesieniu do procesu denitryfikacji (57,38%). Następne w kolejności były kwas propionowy, masłowy, kapronowy i izowalerianowy (odpowiednio 54,92; 54,10; 49,18 i 41,80%). Dla tych kwasów sprawność wynosiła ponad 40%. Niższe wartości uzyskano dla kwasu walerianowego (37,70%) i izomasłowego – 29,51% (najniższa wartość). Należy zwrócić uwagę na fakt, że w ściekach oczyszczonych – bez względu na rodzaj doprowadzonego kwasu, stężenie azotanów (V) nie przekraczało 0,90 mg $N_{NO_3} \cdot dm^{-3}$ (najwyższa wartość – 0,86 mg $N_{NO_3} \cdot dm^{-3}$, dla kwasu izomasłowego).

Stwierdzono, że w obecności kwasu octowego zarówno proces defosfatacji jak i proces denitryfikacji przebiegały z najwyższą sprawnością. Najmniej sprzyjającym obu procesom był kwas izomasłowy, o czym świadczą najniższe sprawności usuwania fosforanów i azotanów (V). Nieznacznie efektywniejszym źródłem węgla od kwasu izomasłowego, był kwas walerianowy. W przypadku pozostałych kwasów nie stwierdzono takich jednoznacznych zależności – niektóre z nich były lepiej wykorzystywane przez bakterie denitryfikacyjne (propionowy, masłowy) a inne bardziej przydatne do wspomagania procesu biologicznej defosfatacji (kapronowy, izowalerianowy).

DYSKUSJA

Wyniki badań będące przedmiotem niniejszej pracy pokazały, że w reaktorach typu SBR, w których proces usuwania substancji biogenych prowadzony jest z wykorzystaniem lotnych kwasów tłuszczowych jako zewnętrznym źródłem węgla – zarówno szybkości uwalniania i wiązania fosforanów, jak i końcowa sprawność procesu defosfatacji zależą od rodzaju organicznego substratu. Także efektywność procesu usuwania azotanów (V) jest konsekwencją rodzaju doprowadzonego kwasu.

Eksperyment udowodnił, że w ściekach zawierających azotany (V) w małych ilościach ($1,22 \text{ mg N}_{\text{NO}_3} \cdot \text{dm}^{-3}$), doprowadzanie związków organicznych w dawkach przekraczających $4 \text{ mg LKT} \cdot \text{mg}^{-1} \text{P}$ zapewnia uzyskanie sprawności usuwania fosforanów powyżej 50% (przedział od 51 do 65%) – bez względu na rodzaj kwasu. W równoległe przebiegającym procesie denitryfikacji zakres sprawności procesu był większy – od 29,5 do 57,4%. Nie potwierdziły się doniesienia Eilersena [2] zdaniem którego kwas propionowy, izomasłowy, walerianowy czy kapronowy mogą powodować inhibicję denitryfikacji. W obecności wymienionych kwasów obserwowano usuwanie azotanów (V), a kwas propionowy był jednym z najbardziej efektywnych. Ale efektywności denitryfikacji w obecności kwasu izomasłowego i walerianowego były najniższe z zanotowanych, co potwierdza częściowo doniesienie Eilersena, że kwasy te są zużywane w mniejszym stopniu przez mikroorganizmy denitryfikacyjne.

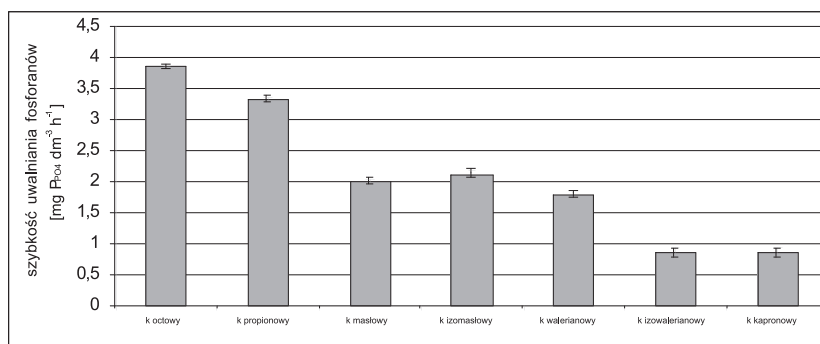
Dominacja kwasu octowego nad pozostałymi kwasami – jako najefektywniej wykorzystywanego przez organizmy odpowiedzialne za przebieg procesu defosfatacji i denitryfikacji, potwierdzona niniejszymi badaniami, opisywana była wielokrotnie w literaturze [3, 4, 14, 15]. Według Randalla i in. [12] dominacja kwasu octowego nad innymi kwasami z grupy LKT wynika ze sposobu, w jaki wnika on do łańcuchów osadu czynnego. Szybkość transportu kwasu octowego jest wypadkową szybkości procesu dyfuzji i aktywnego transportu, natomiast w przypadku kwasów tłuszczowych o dłuższych łańcuchach ma miejsce tylko to ostatnie zjawisko [12].

Określone w czasie badań szybkości uwalniania i wiązania fosforanów dowodzą, iż ilość fosforanów wiązanych w czasie fazy napowietrzania i w konsekwencji sprawność procesu defosfatacji, nie zawsze zależą od ilości fosforanów uwolnionych w czasie fazy mieszania. Tak było w przypadku kwasu kapronowego i izowalerianowego – szybkości uwalniania i wiązania fosforanów w ich obecności były niższe niż w reaktorach z pozostałymi kwasami, podczas gdy sprawności usuwania fosforanów wyższe. Takie samo zjawisko opisano w pracy Rustriana i in. [13] i Kargi i in. [6]. Kargi i in. donosili, że jedną z wyższych sprawności usuwania fosforanów zanotowano w obecności mieszaniny kwasu octowego i glukozy, chociaż szybkość uwalniania i wiązania fosforanów w tym reaktorze była znacznie niższa niż w obecności innych przebadanych substratów. Podobne wnioski wynikają z pracy Hood i Randalla [4] – sprawność procesu defosfatacji nie zawsze zależy od szybkości uwalniania i wiązania fosforanów.

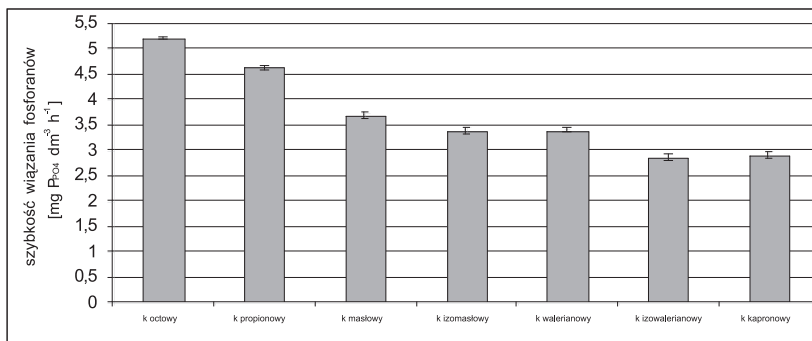
Najwyższe zanotowane szybkości uwalniania i wiązania fosforanów dla kwasu octowego – wynoszące odpowiednio 3,85 i 5,19 $\text{mg P}_{\text{PO}_4} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ były wyraźnie niższe niż uzyskane dla mieszaniny glukozy i kwasu cytrynowego, ale wyższe niż dla pozostałych mieszanin użytych w badaniach Kargi i in. [6].

Na konsekwencje obecności azotanów (V) wskazywał Kern i Henze [7]. Azotany (V) mogą wpływać na niższą szybkość wiązania fosforanów. Uzyskane w czasie eksperymentu wartości szybkości wiązania fosforanów (od 2,86 do 5,19 $\text{mg P}_{\text{PO}_4} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) w przeliczeniu na biomasa osadu w reaktorze wynosiły od 1,55 do 2,81 $\text{mg P}_{\text{PO}_4} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{smo} \cdot \text{h}^{-1}$ były wyższe od wartości z cytowanej pracy i niewiele wyższe od wartości jakie ustaliła dla ścieków miejskich Klimiuk [8].

Badania nie potwierdziły ustaleń Patela i Nakhala [10] w świetle których, przy stężeniu azotanów (V) w reaktorze przekraczającym 0,8 $\text{mg N}_{\text{NO}_3} \cdot \text{dm}^{-3}$ fosforany nie są uwalniane podczas mieszania. W obecności wszystkich przebadanych kwasów obserwowano znaczne szybkości uwalniania fosforanów, mimo tego, że pod koniec fazy napowietrzania stężenie azotanów (V) w reaktorach nie spadało poniżej 0,52 $\text{mg N}_{\text{NO}_3} \cdot \text{dm}^{-3}$ (z poziomu wyjściowego 1,22 $\text{mg N}_{\text{NO}_3} \cdot \text{dm}^{-3}$). Równocześnie należy zwrócić uwagę, iż w reaktorze w którym stężenie końcowe azotanów (V) było wyższe od 0,8 $\text{mg N}_{\text{NO}_3} \cdot \text{dm}^{-3}$ (kwas izomasłowy) osiągnięto najniższą efektywność procesu defosfatacji i denitryfikacji.

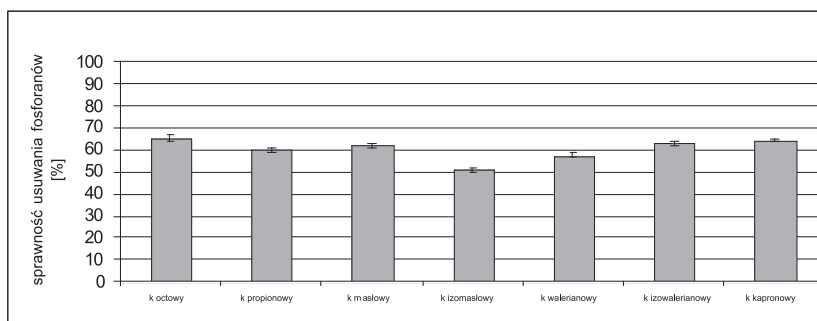


Rys. 1. Szybkość uwalniania ortofosforanów w obecności lotnych kwasów tłuszczowych
Fig. 1. Phosphate release rate with different type of VFA applied

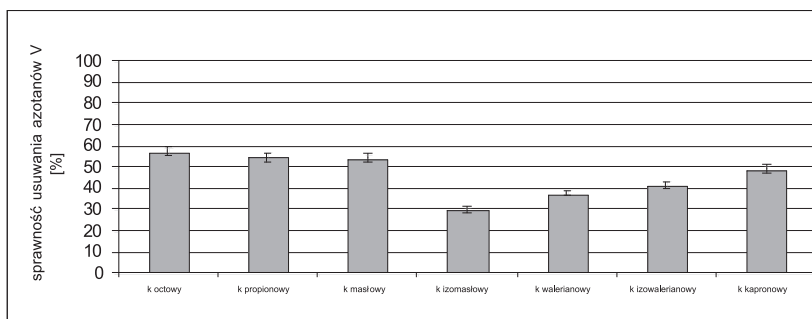


Rys. 2. Szybkość wiązania ortofosforanów w obecności lotnych kwasów tłuszczowych
Fig. 2. Phosphate uptake rate with different type of VFA applied

Wyniki badań pokazały, iż azotany (V) usuwane były najsprawniej w reaktorze, w którym zewnętrznym źródłem węgla był kwas octowy. Niewiele niższe efektywności obserwowano w reaktorach z kwasem propionowym i masłowym. Podobne wnioski przedstawił Gerber [3].



Rys. 3. Sprawność usuwania ortofosforanów w obecności lotnych kwasów tłuszczowych
Fig. 3. Phosphate removal efficiency as affected by the type of VFA applied



Rys. 4. Sprawność usuwania azotanów (V) w obecności lotnych kwasów tłuszczowych
Fig. 4. Nitrate removal rate as affected by the type of VFA applied

WNIOSKI

Na podstawie wyników badań sformułowano następujące wnioski:

- Proces uwalniania i wiązania fosforanów przebiegał najszybciej w obecności kwasu octowego, a następnie propionowego.
- Fosforany były uwalniane i wiązane z najniższymi szybkościami wtedy, kiedy źródłem węgla były kwasy izowalerianowy i kapronowy.
- Dla wszystkich przebadanych kwasów, nie ma jednoznacznej zależności między szybkością wiązania fosforanów, a sprawnością procesu defosfatacji.
- Kwas octowy, propionowy i masłowy były najbardziej efektywnymi źródłami węgla w odniesieniu do procesu denitryfikacji.
- Najwyższą sprawność równoległe zachodzących procesów usuwania azotanów (V) i fosforanów w reaktorze SBR zapewniał kwas octowy.
- Najniższe efektywności procesu usuwania fosforanów i azotanów (V) miały miejsce w obecności kwasu izomasłowego.

BIBLIOGRAFIA

1. Abu-gharach, Z. H., Randall, C. W., 1991. The effect of organic compounds on biological phosphorus removal. *Wat. Sci. Technol.* 23, 585-594.
2. Eilersen, A.M., Henze, M., Kloft, L., 1995. Effect of volatile fatty acids and trimethylamine on denitrification in activated sludge. *Wat. Res.* 29(5), 1259-1266.
3. Gerber, A. Mostert, E.S., Winteler C.T., De Villiers, R.H., 1986. The effect of acetate and other short-chain carbon compounds on the kinetics of biological nutrient removal. *Water SA* 12(1), 7-12.
4. Hood, C.R., Randall, A.A., 2001. A biochemical hypothesis explaining the response of enhanced biological phosphorus removal biomass to organic substrates. *Wat. Res.* 35(11), 2758-2766.
5. Janczukowicz, W., 2005. Usuwanie fosforu ze ścieków mleczarskich w bioreaktorze sekwencyjnym w obecności wybranych lotnych kwasów tłuszczowych (LKT), *Rozprawy i monografie*, 107, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn.
6. Kargi, F., Uygur, A., Baskaya, 2005. **H.S. Phosphate uptake and release rates with different carbon sources in biological nutrient removal using a SBR.** *Journal of Environmental Management.* 76, 71-75.
7. Kern-Jespersen J.P., Henze M. 1993. Biological phosphorus uptake under anoxic and aerobic conditions. *Wat. Res.*, 27: 617-624.
8. Klimiuk E. 1998. Kinetyka przemian związków azotu i fosforu w osadzie czynnym w warunkach beztlenowo-tlenowych. *Rozprawy i Monografie*, Wydawnictwo ART, Olsztyn.
9. Klimiuk E., Łebkowska M., 2003. *Biotechnologia w ochronie środowiska.* Wydawnictwo Naukowe PWN, 43-55.
10. Patel, J., Nakhla, G., 2006. Interaction of denitrification on P removal in anoxic P removal systems. *Desalination* 201, 82-99.
11. Puig, S., Coma, M., Monclus, H., van Loosdrecht, M.C.M., Colprim, J., Balaguer, M.D., 2008. Selection between alcohols and volatile fatty acids as external carbon sources for EBPR. *Wat. Res.* 42, 557-566.

12. Randall A.A., Benefield L.D., Hill W.E., Nicol J.P. Boman G.K. Jing S.R. 1997. The effect volatile fatty acids on enhanced biological phosphorus removal and population structure in anaerobic/aerobic sequencing batch reactor. *Wat. Sci. Technol.*, 35: 153-160.
13. Rustrian, E., Delgenes, J. P., Moletta, R., 1997. Phosphate release and uptake by pure cultures of *Acinetobacter* sp.: Effect of the Volatile Fatty Acids Concentration, *Current Microbiology*. 34, 43-48.
14. Tam N.F.Y., Wong Y.S., Leung G. 1992. Significance of external carbon source on simultaneous removal of nutrients from wastewater, *Water Sci. Technol.*, 26(5-6): 1047-1055.
15. Wentzel M.C., Ekama G.A., Marais G.V.R. 1991. Kinetics of nitrification, denitrification biological excess phosphorus removal systems - a review, *Wat. Sci. Technol.*, 23: 555 - 565.

EFFECT OF VOLATILE FATTY ACIDS (VFAS) ON THE RATE OF RELEASE AND UPTAKE OF PHOSPHATE COMPOUNDS IN AN SBR TYPE REACTOR

Abstract. The effect of volatile fatty acids (VFAs) on the rate of phosphates release and uptake during stirring and aeration phases in an SBR type reactor was examined in the study. Additional determinations were carried out for the effectiveness of phosphates and nitrates removal as affected by the type of fatty acid applied.

The study was conducted within one working cycle of the SBR (stirring – 3 h, aeration – 4 h and sedimentation – 1 h) in the presence of the following fatty acids: acetic, propionic, butyric, isobutyric, valeric, isovaleric and caproic. Initial concentrations of phosphates and nitrates at the beginning of the cycle accounted for: 14.1 mg P_{PO_4}/dm^3 and 1.22 mg N_{NO_3}/dm^3 , respectively.

Analyses showed that phosphates were released with the highest rate in the reactors with acetic acid (3.85 mg $P_{PO_4}/dm^3 \cdot h$) and with the lowest rate (0.85 mg $P_{PO_4}/dm^3 \cdot h$) in the presence of isovaleric and caproic fatty acids. Also the uptake of phosphates proceeded with the highest rate in the reactor with acetic acid (5.19 mg $P_{PO_4}/dm^3 \cdot h$), and with the lowest rate (2.86 mg $P_{PO_4}/dm^3 \cdot h$) in the presence of isovaleric acid. The highest rates of phosphates release and uptake in the presence of acetic acid were tantamount with the most effective dephosphatation process (65.25%). Such an explicit dependency was not, however, observed in the case of the other fatty acids. The lowest effectiveness of phosphates removal was noted in the reactors in which isobutyric acid was the external source of carbon (51.06%).

Acetic acid was also the most effective source of carbon in the denitrification process (57.38%), whereas isobutyric acid turned out to be the least effective in this respect (29.51%).

The study demonstrated that in the presence of acetic acid both dephosphatation and denitrification process were proceeding with the highest effectiveness. The least facilitating both these processes appeared to be isobutyric acid.

Keywords: nutrient removal, phosphate release and uptake, VFA, SBR.