

Ireneusz Zdybek

Wpływ jonów chlorkowych na efektywność biologicznej defosfatacji ścieków

Zawartość chlorków w ściekach zależy przede wszystkim od ich ilości w ujmowanej wodzie. Jednorazowe użycie wody do celów bytowo-gospodarczych podnosi średnio ich zawartość o około $100 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$ [1]. Tak więc, wobec ograniczeń ich dopuszczalnej zawartości w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi, zawartość chlorków w większości ścieków bytowo-gospodarczych z reguły nie przekracza $200\text{--}400 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$. Wyższe stężenia chlorków w ściekach komunalnych występować mogą głównie w rejonach nadmorskich, jako efekt infiltracji wód słonych do systemów kanalizacyjnych, splukiwania powierzchni uszczelnionej przez wody deszczowe, bądź eksploatacji rozdzielczych systemów zaopatrzenia w wodę wykorzystujących wody słone, np. do splukiwania toalet. Stężenie chlorków w ściekach komunalnych może być również wyższe w wypadku ich wspólnego oczyszczania z zasolonymi ściekami przemysłowymi, również tymi, które są podatne na biologiczny rozkład, między innymi z rolnictwa, przetwórstwa owoców i warzyw, przemysłu mięsnego, przetwórstwa ryb i owoców morza. Duże stężenia chlorków obserwuje się także w ściekach z szamb oraz w odciekach ze składowisk odpadów. Coraz częściej wskazuje się, iż wzrost zasolenia ścieków może być w przyszłości wynikiem problemów związanych z zagospodarowaniem koncentratów wydzielanych podczas demineralizacji i odsalania wody.

Tak więc, zarówno w wypadku technologii indywidualnego, jak też wspólnego z komunalnymi, oczyszczania niektórych rodzajów ścieków, oczekiwać można czasami podwyższonej zawartości chlorków, co może wpływać na populację mikroorganizmów realizujących proces biologicznego oczyszczania ścieków.

Chlorki mają istotny wpływ na organizmy żywe. Niewiele zwierząt lub roślin na kuli ziemskiej toleruje jednocześnie warunki środowiska zasolonego i niezasolonego [2]. Oddziaływanie chlorków wiąże się zasadniczo ze zmianami ciśnienia osmotycznego, co zakłóca czynności fizjologiczne mikroorganizmów, w tym mechanizmy transportu przez błony komórkowe, przy czym chlorki w zasadzie nie podlegają reakcjom biochemicznym. Badania nad wpływem zasolenia chlorkami na mikroorganizmy i proces osadu czynnego prowadzone były już stosunkowo dawno. Ich zdecydowana część dotyczyła jednak wyłącznie oddziaływania zasolenia na usuwanie związków organicznych [3–8]. Ze względu na szeroki zakres tych badań, ich wyniki często różnią się w znacznym stopniu. Szczególne różnice zaobserwowano w układach z wpracowanym (zaaklimatyzowanym) osadem czynnym, wykazującym dużą tolerancję na wysokie zasolenie oraz

w badaniach nad wpływem uderzeniowych stężeń chlorków, przy których najczęściej stwierdzono istotną wrażliwość na zmianę warunków, skutkującą pogorszeniem efektywności usuwania związków organicznych. W oparciu o źródła literaturowe można uważać, iż klasyczny osad czynny ma dobre zdolności adaptacyjne przy zawartości chlorków w ściekach do około 3% ($30 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$), a czasami nawet znacznie wyższych. Tak więc zasolenie raczej nie stanowi problemu dla biologicznego usuwania związków organicznych ze ścieków.

Rozszerzenie zakresu oczyszczania ścieków o usuwanie związków biogenych spowodowało powrót zainteresowania wpływem zasolenia w odniesieniu do procesów nityfikacji i denityfikacji oraz defosfatacji. Doniesienia literaturowe dotyczące procesów nityfikacji i denityfikacji w silnie zasolonych ściekach nie są całkowicie jednoznaczne [9–17]. Podobnie jak w wypadku oddziaływania na usuwanie związków organicznych, większość badań wskazuje na dużą zdolność aklimatyzacji tych procesów przy zasoleniu chlorkami rzędu $10 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$. Ten nieco niższy zakres tolerancji wynika z większej wrażliwości bakterii nityfikacyjnych, podczas gdy organizmy denityfikujące wykazują wyższą odporność na podwyższone zasolenie ścieków.

Zupełnie inaczej problem ten należy traktować w odniesieniu do ostatnio coraz chętniej i powszechniej wdrażanej techniki wzmoczonego biologicznego usuwania fosforu (Enhanced Biological Phosphorus Removal – EBPR). W większości źródeł literaturowych, opisujących mechanizmy i czynniki warunkujące występowanie i efektywność tego procesu [1,18–26], brak jest – jak dotąd – jakichkolwiek informacji dotyczących wpływu zasolenia, podczas gdy wyniki niektórych prac badawczych sugerują możliwość bardzo silnej inhibicji procesu wzmoczonego biologicznego usuwania fosforu, już przy stosunkowo niewielkim zasoleniu ścieków. Dla przykładu, w badaniach [16], odnotowano wzmoczone usuwanie fosforanów jedynie przy względnie niskiej zawartości chlorku sodu, tj. $0,03\text{--}0,1\%$. Przy zawartości NaCl $0,2\%$ zaobserwowano już wyraźne pogorszenie efektywności procesu, a jego poprawa możliwa była jedynie przez dawkowanie dodatkowego źródła węgla organicznego w postaci octanów, w ilości podnoszącej ChZT o $100 \text{ gO}_2/\text{m}^3$. Wzrost zawartości chlorków do poziomu $0,5\%$ powodował dalsze problemy w osiągnięciu stabilnego przebiegu defosfatacji. Podobne wyniki uzyskano w pracy [9], gdzie przy wzroście zawartości NaCl do $0,4\%$ wystąpił spadek skuteczności usuwania fosforu z 82% do 25% . Dużą wrażliwość procesu wzmoczonego biologicznego usuwania fosforu na wzrost zasolenia stwierdzono także w czterofazowym (beztlenowo–tlenowo–anoksycychno–tlenowym) układzie oczyszczania ścieków w reaktorze sekwencyjnym (SBR) [17]. Przy wzroście zasolenia ścieków (NaCl) od zera do 6% uzyskano spadek efektywności usuwania fosforu

z 84% do 22%, czemu odpowiadał wzrost zawartości fosforu w ściekach oczyszczonych z 1,3 gP/m³ do 8,3 gP/m³. Zasadnicza inhibicja wystąpiła jednak już przy zasoleniu 0,5%. Analizując pracę systemu A²O przy zmiennej zawartości chlorku sodu (do 30 kgCl⁻/m³), pomimo zapewnienia warunków technologicznych sprzyjających wzmożonemu biologicznemu usuwaniu fosforu, nie zaobserwowano jego eliminacji wykraczającej poza zwyczajny poziom asymilacji [15].

W świetle powyższych wyników badań wydaje się, iż stopień zasolenia ścieków może być istotnym parametrem wpływającym na przebieg i efektywność wzmożonego biologicznego usuwania fosforu ze ścieków, co skłania do przeprowadzenia szczegółowych badań w tym zakresie i było przedmiotem niniejszej pracy.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono w laboratoryjnym układzie trzech niezależnych bioreaktorów sekwencyjnych (SBR). Pojemność robocza pojedynczego reaktora wynosiła 4 dm³, objętość oczyszczanych ścieków – 1,5 dm³, a nienaruszalna pojemność sedymentacyjna – 2,5 dm³. Algorytm pracy dostosowano do wymogów procesu wzmożonego biologicznego usuwania fosforu, zgodnie z którym, po krótkiej fazie napełniania (6 min), następowała faza beztlenowa (2,5 godz.), a w dalszej kolejności fazy napowietrzania (2,5 godz.) i sedymentacji (45 min). Resztę czasu do pełnego cyklu pracy (6 godz.) zajmowała dekantacja ścieków oczyszczonych oraz krótki czas spoczynku. Osad nadmierny odbierany był w każdym cyklu pracy pod koniec fazy tlenowej w objętości 0,25 dm³, co zapewniło teoretyczny wiek osadu na poziomie 4 dób.

W badaniach zastosowano ścieki syntetyczne, których skład przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny i podstawowe wskaźniki jakości ścieków syntetycznych

Związek	Zawartość g/m ³
Bulion	200,0
Pepton	300,0
NH ₄ Cl	30,0
MgSO ₄	2,0
KH ₂ PO ₄	65,0
NaH ₂ PO ₄	160,0
NaCl	70,0
NaHCO ₃	30,0
CH ₄ N ₂ S	5,0
CH ₃ COONa	212,5

Wskaźnik, jednostka	Wartość
pH,-	6,4
Zasadowość ogólna, gCaCO ₃ /m ³	175
ChZT, gO ₂ /m ³	570
BZT ₅ , gO ₂ /m ³	450
Azot amonowy, gN/m ³	14,0
Azot Kjeldahla, gN/m ³	84,0
Fosforany, gP/m ³	50,0
Fosfor ogólny, gP/m ³	51,0
Chlorki, gCl ⁻ /m ³	200
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	100

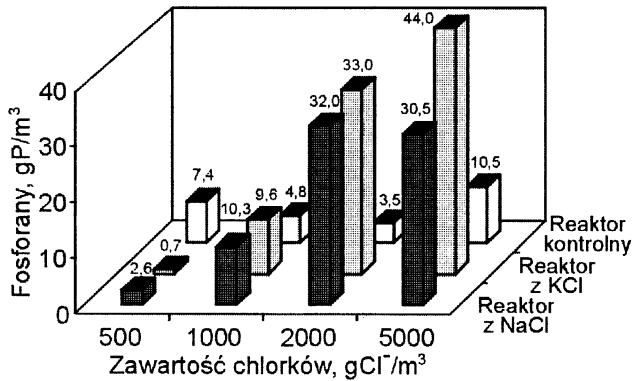
Fracje węgla organicznego stanowiły głównie bulion i pepton. Dodatkowo, do wspomagania procesu, wykorzystano także octan sodu (CH₃COONa) w ilości podnoszącej ChZT ścieków surowych o około 100 gO₂/m³. Zastosowana bardzo wysoka zawartość fosforu (ok. 50 gP/m³) wynikała z doświadczeń badań wstępnych. Na ich etapie, dla kilku niższych zawartości fosforu (począwszy od 15 gP/m³), zaobserwowano całkowite usuwanie fosforu. Możliwość analizy rzeczywistych rozmiarów stymulacji bądź inhibicji procesu wzmożonego biologicznego usuwania fosforu przy zmianach zasolenia wiązała się więc z koniecznością zapewnienia nadmiaru fosforu, w stosunku do granicznych możliwości defosfatacji uzyskanych w przyjętych warunkach realizacji doświadczenia, co wymusiło prowadzenie badań przy tak wysokiej zawartości fosforu. W celu całkowitego wyeliminowania procesu nityfikacji, ze względu na możliwość negatywnego oddziaływania azotanów i azotynów na badany proces, zastosowano dość znaczne dawki tiomocznika (CH₄N₂S). Obecność większości mikroelementów zapewniał skład wody wodociągowej, na bazie której przygotowywano ścieki. Wzrost zawartości chlorków zapewniło dodawanie do podstawowego składu ścieków określonej ilości roztworów chlorku sodu lub chlorku potasu.

Badania oddziaływania chlorków na proces wzmożonego biologicznego usuwania fosforu ze ścieków przeprowadzono w 4 seriach różniących się zawartością chlorków (NaCl, KCl), tj. 500 gCl⁻/m³, 1000 gCl⁻/m³, 2000 gCl⁻/m³ i 5000 gCl⁻/m³. W każdej serii jeden z reaktorów był reaktorem kontrolnym, oczyszczającym ścieki o podstawowym składzie i zawartości chlorków około 200 gCl⁻/m³ (tab. 1). W celu minimalizacji oddziaływania uderzeniowych dawek chlorków i zapewnienia optymalnych warunków aklimatyzacji osadu, badania rozpoczęto od najniższej zawartości chlorków, zwiększając ją w kolejnych seriach badań. Głównie badania oddziaływania chlorków na efektywność defosfatacji ścieków zrealizowano w warunkach stanu stacjonarnego pracy reaktorów, tj. po ustabilizowaniu się efektywności usuwania fosforu. W praktyce stabilizację uzyskano w trakcie kilku dób po zmianie zawartości chlorków, jednak rzeczywisty czas stabilizacji warunków przed realizacją właściwych badań wynosił zawsze więcej niż pięciokrotny wiek osadu, czyli powyżej 20 dób.

Zasadniczy zakres analityczny badań obejmował kontrolę zawartości podstawowych form fosforu (tj. fosforanów i fosforu ogólnego) w ściekach surowych, oczyszczonych oraz w osadzie. Umożliwiło to prowadzenie kontroli bilansu masy tego pierwiastka w reaktorze i ocenę poprawności uzyskanych wyników. Ponadto wykonano także analizy zmienności zawartości fosforanów w ściekach w trakcie trwania procesu oczyszczania. Pozostałe oznaczenia obejmowały kontrolę ChZT, pH, zawartości tlenu rozpuszczonego, temperatury, przewodności właściwej, potencjału redoks, podstawowych form azotu (tj. amonowego, Kjeldahla, azotanów i azotynów), zawartości mineralnej i organicznej masy osadu oraz rozmiaru unosu zawieszin wraz ze ściekami oczyszczonymi (po sedymentacji). Analizy fizyczno-chemiczne prowadzone były zgodnie ze standardowymi procedurami wg EPA (1995) [27], przy czym do oceny zawartości fosforanów w ściekach wykorzystano metodę kolometryczną z kwasem askorbinowym i molibdenem.

Dyskusja wyników badań

Średnie wyniki pomiarów zawartości fosforanów w ściekach oczyszczonych – w poszczególnych reaktorach i seriach badawczych – przedstawiono na rysunku 1.

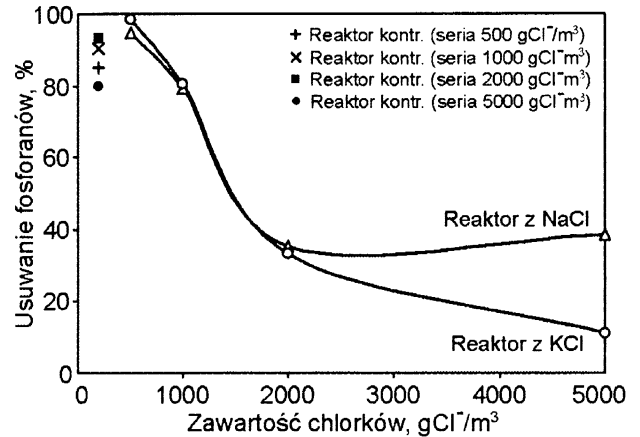


Rys. 1. Zawartość fosforanów w ściekach oczyszczonych w poszczególnych reaktorach i seriach badawczych

W trakcie całego okresu prowadzenia badań zaobserwowano ogólnie niską, w stosunku do wyjściowej (ok. 50 gP/m³), zawartość końcową fosforanów w reaktorze kontrolnym, co świadczyło o występowaniu bardzo skutecznej i w miarę stabilnej biologicznej defosfatacji ścieków w warunkach niskiego zasolenia (ok. 200 gCl⁻/m³). Wyraźne różnice w efektywności defosfatacji ścieków odnotowano natomiast wraz ze wzrostem zawartości soli w reaktorach z NaCl i KCl. Przy zawartości chlorków około 500 gCl⁻/m³ zaobserwowano dla obu soli niższą końcową zawartość fosforanów, świadczącą o poprawie efektywności ich usuwania, w stosunku do reaktora kontrolnego, przy czym efekt stymulacji był nieco bardziej wyraźny w reaktorze z KCl. Obserwacja ta wydaje się korespondować z doniesieniami literaturowymi na temat istotnej roli potasu w mechanizmach akumulacji polifosforanów i możliwościach inhibicji procesu wzmożonego biologicznego usuwania fosforu w wyniku jego niedoboru [28].

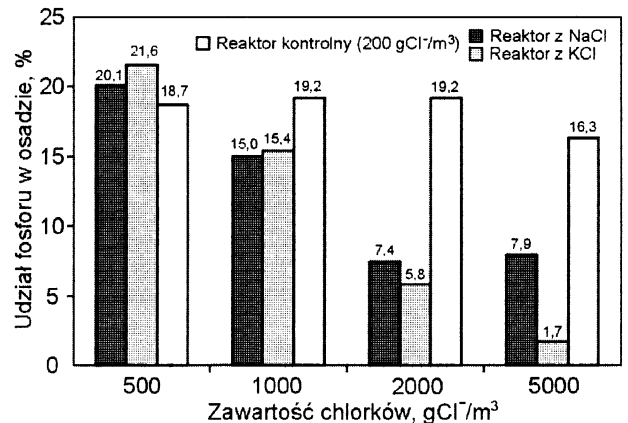
Przy wyższym wroście zasolenia (do ok. 1000 gCl⁻/m³) w obu reaktorach odnotowano natomiast pogorszenie skuteczności usuwania fosforu, zarówno w stosunku do pracy reaktora kontrolnego, jak też do efektywności uzyskanej w tych reaktorach przy niższej zawartości chlorków. Obserwacja ta wskazywała na inhibicję badanego procesu, przy czym stosunkowo mało znaczącą, gdyż w dalszym ciągu duża różnica zawartości fosforu w ściekach surowych i oczyszczonych wskazywała na bardzo skuteczne nadmiarowe usuwanie tego pierwiastka.

Znaczące pogorszenie efektywności pracy układu nastąpiło przy wroście zawartości chlorków do 2000 gCl⁻/m³. Dla obu soli (NaCl i KCl) odnotowano bardzo wyraźny wzrost zawartości fosforanów w odpływie, odpowiednio do 32 gP/m³ i 33 gP/m³. Efektywność defosfatacji ścieków obniżyła się więc ponad 2-krotnie, w stosunku do średniej efektywności osiągananej w reaktorze kontrolnym. Dla najwyższej badanej zawartości chlorków (5000 gCl⁻/m³) zaobserwowano stabilizację w pracy reaktora z chlorkiem sodu. Pomimo istotnych rozmiarów inhibicji układ nadal realizował proces oczyszczania ścieków przebiegający zgodnie z charakterem procesu wzmożonego biologicznego usuwania fosforu, tzn. zaobserwowano beztlenowe wydzielanie i tlenową akumulację fosforanów. Sól potasowa wykazała wyraźnie odmienne działanie, skutkujące dalszym pogorszeniem skuteczności usuwania fosforanów. Ta obserwacja wydaje się wskazywać na istotne znaczenie kationów w występującym mechanizmie inhibicji badanego procesu. Obraz tych zależności, w odniesieniu do skuteczności usuwania fosforu w liniowej skali zmienności zawartości chlorków, zilustrowano na rysunku 2.



Rys. 2. Skuteczność defosfatacji ścieków w zależności od zawartości chlorków w postaci NaCl i KCl

Zaobserwowane (na podstawie analiz ścieków) zależności początkowej stymulacji, a następnie inhibicji procesu wzmożonego biologicznego usuwania fosforu wraz ze wzrostem zasolenia ścieków potwierdzone zostały także w analizie osadów. Na rysunku 3 przedstawiono porównanie zawartości fosforu w suchej masie organicznej osadu czynnego w analizowanych reaktorach.



Rys. 3. Akumulacja fosforu w suchej masie organicznej osadu czynnego w poszczególnych reaktorach i seriach badawczych

Dla niskich zawartości chlorków (ok. 200 gCl⁻/m³) odnotowano bardzo wysoki stopień akumulacji fosforu, wynoszący około 19%. Wzrost efektywności defosfatacji ścieków w serii z zawartością chlorków 500 gCl⁻/m³ spowodował zwiększenie zawartości fosforu w biomase do 20,1% i 21,6%, odpowiednio dla reaktorów z NaCl i KCl. Inhibicja procesu wzmożonego biologicznego usuwania fosforu przy wyższym zasoleniu wpłynęła natomiast wyraźnie na spadek udziału fosforu w osadzie czynnym. Przy zawartości chlorków 1000 gCl⁻/m³ w obu inhibitowanych reaktorach zawartość ta spadła do około 15%. Te wyraźnie niższe wartości, w stosunku do pracy reaktora kontrolnego (19,2%), pomimo podobnych wyników efektywności usuwania fosforu uzyskanych w tej serii, wynikały z nieco wyższej produkcji biomasy, jaką zaobserwowano w reaktorach zasolonych.

Przy dalszym wroście zawartości chlorków odnotowano kolejny spadek rozmiarów akumulacji fosforu w osadzie, analogiczny do wyników analiz ścieków. W układzie z podwyższoną zawartością chlorku sodu, w wyniku stabilizacji efektywności defosfatacji, wystąpiła również stabilizacja rozmiarów akumulacji fosforu. Jej poziom w dalszym ciągu wykazywał rozmiar przekraczający poziom asymilacji zwyczajnej,

jakkolwiek był znacznie niższy niż w reaktorach kontrolnych i słabiej zasolonych. W układzie z podwyższoną zawartością chlorku potasu poziom akumulacji fosforu w osadzie spadł ostatecznie, przy najwyższym badanym zasoleniu $5000 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$, do wartości około 1,7%, co praktycznie wskazywało na zwyczajny zakres asymilacji tego pierwiastka przez osad czynny i całkowitą inhibicję mechanizmu wzmożonej biologicznej akumulacji fosforu. Wyniki oznaczeń zawartości fosforu w ściekach i osadach poddane zostały ocenie jakościowej poprzez wykonanie bilansu masy tego pierwiastka na wejściu i wyjściu z reaktora. Uzyskano zadowalającą zbieżność wyników. Różnice nie przekraczały 5%, co dodatkowo potwierdza wiarygodność uzyskanego obrazu oddziaływania chlorków na proces wzmożonego biologicznego usuwania fosforu ze ścieków.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały występowanie stabilnej i bardzo skutecznej defosfatacji ścieków, przebiegającej według charakteru procesu wzmożonego biologicznego usuwania fosforu, w układach zasilanych ściekami o stosunkowo niskiej zawartości chlorków ($200 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$, $500 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$ i $1000 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$). Wyniki te wskazują na brak zasadniczych oddziaływań chlorków na przebieg i efektywność biologicznej defosfatacji w zakresie ich najczęściej spotykanych zawartości w ściekach komunalnych. Zaobserwowana – nieznaczna – poprawa efektywności procesu przy wzroście zawartości chlorków z $200 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$ do $500 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$ wskazuje na pewne korzystne oddziaływanie wzrostu zasolenia, co może być brane pod uwagę w analizie możliwości wspólnego oczyszczania ścieków komunalnych i innych ścieków o wyższym stopniu zasolenia. Przy wyższej badanej zawartości chlorków w ściekach, tj. $2000 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$ i $5000 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$, zaobserwowano natomiast wyraźną inhibicję analizowanego procesu, skutkującą zarówno drastycznym pogorszeniem jakości odpływu (wyraźny wzrost zawartości fosforu), jak też spadkiem rozmiarów akumulacji fosforu w osadzie czynnym. Wyniki te wydają się potwierdzać dotychczasowe informacje literaturowe i wskazują na ograniczone możliwości realizacji biologicznego usuwania fosforu ze ścieków o podwyższonej zawartości chlorków, w szczególności powyżej $1000 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$.

Przeprowadzone badania pozwoliły na dodatkową ocenę różnic oddziaływania kationów sodu i potasu na proces wzmożonego biologicznego usuwania fosforu. Dla niskiego zasolenia, równoważny wzrost zawartości tych jonów powodował korzystniejsze skutki dla poprawy efektywności defosfatacji w przypadku potasu. Przy wyższej zawartości potas wykazywał natomiast wyraźnie bardziej inhibitujące oddziaływanie niż sód, prowadząc do całkowitego załamania procesu przy zawartości KCl odpowiadającej $5000 \text{ gCl}^-/\text{m}^3$. Wyniki te są dowodem istotnej roli kationów potasu w mechanizmie transportu polifosforanów z/do komórek mikroorganizmów realizujących proces wzmożonego biologicznego usuwania fosforu ze ścieków. Problem odnotowania tak silnego – negatywnego – oddziaływania podwyższonej zawartości potasu wydaje się szczególnie interesujący w świetle dotychczasowych doniesień na temat roli tego pierwiastka w procesie akumulacji fosforanów [25,28,29], co sugeruje celowość zainteresowania tym tematem w celu weryfikacji rzeczywistej roli i zapotrzebowania jonów metali w mechanizmach procesu wzmożonego biologicznego usuwania fosforu ze ścieków.

LITERATURA

1. A. L. KOWAL i in.: *Odnowa wody – podstawy teoretyczne procesów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1996.
2. Praca zbiorowa: *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*. PZITS, Poznań 1997.
3. F. J. LUDZAK, D. K. NORAN: Tolerance of high salinities by conventional wastewater treatment process. *J. Wat. Poll. Cont. Fed.*, 1965, Vol. 37, pp. 1404–1416.
4. M. F. HAMODA, M. S. AL-ATTAR: Effects of high sodium chloride concentrations on activated sludge treatment. *Wat. Sci. Tech.*, 1995, Vol. 31, No. 9, pp. 61–72.
5. R. Y. TOKUZ, W. W. ECKENFELDER: The effect of inorganic salt on the activated sludge process performance. *Wat. Res.*, 1979, Vol. 13, pp. 99–104.
6. C. R. WOOLARD, R. L. IRVINE: Treatment of hypersaline wastewater in the sequencing batch reactor. *Wat. Res.*, 1995, Vol. 29, No. 4, pp. 1159–1168.
7. F. KARGI, A. UYGUR: Biological treatment of saline wastewater in a rotating biodisc contactor by using halophilic organisms. *Bioprocess Engineering*, 1997, 17, pp. 81–95.
8. N. GHARSALLAH, L. KHANNOUS, N. SOUISSI, M. NASRI: Biological treatment of saline wastewaters from marine-products processing factories by a fixed-bed reactor. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2002, Vol. 77, pp. 865–870.
9. Z. H. ABU-GHARARAH, J. H. SHERRARD: Biological nutrient removal in high salinity wastewater. *J. Environ. Sci. Health*, 1993, A28(3), pp. 599–613.
10. C. DAHL, C. SUND, G. H. KRISTENSEN, L. VRENDERBREGT: Combined biological nitrification and denitrification of high-salinity wastewater. *Wat. Sci. Tech.*, 1997, Vol. 36, No. 2–3, pp. 345–352.
11. M. F. ROSA, R. T. ALBUQUERQUE, J. M. O. FERNANDES, S. G. F. LEITE, R. A. MENDRONHO: Nitrification of saline effluents. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 1997, Vol. 14.
12. H. J. LEO VRENDERBREGT *et al.*: Fluid bed biological nitrification and denitrification in high salinity wastewater. *Wat. Sci. Tech.*, 1997, Vol. 36.
13. T. PANSWALD, C. ANAN: Specific oxygen, ammonia and nitrate uptake rates of a biological nutrient removal process treating elevated salinity wastewater. *Bioresource Technology*, 1999, Vol. 70, pp. 237–243.
14. A. S. UCISIC, M. HENZE: Biological denitrification of fertilizer wastewater at high chloride concentration. <http://www.wrc.org.za>.
15. T. PANSWALD, C. ANAN: Impact of high chloride wastewater on an anaerobic/anoxic/aerobic process with and without inoculation of chloride acclimated seeds. *Wat. Res.*, 1999, Vol. 33, No. 5, pp. 1165–1172.
16. N. INTRASUNGKHA, J. KELLER, L. L. BLACKALL: Biological nutrient removal efficiency in treatment of saline wastewater. *Wat. Sci. Tech.*, 1999, Vol. 39, No. 6, pp. 183–190.
17. A. UYGUR, F. KARGI: Salt inhibition on biological nutrient removal from saline wastewater in a sequencing batch reactor. *Enzyme and Microbial Technology*, 2004, Vol. 34, pp. 313–318.
18. J. BEVER, A. STEIN, H. TEICHMANN: *Zaawansowane metody oczyszczania ścieków – eliminacja azotu, fosforu, sedimentacja i filtracja*. Projprzem-Eko, Bydgoszcz 1997.
19. C. P. LESLIE JR. GRADY, G. T. DAIGGER, H. C. LIM: *Biological wastewater treatment*. Marcel Dekker Inc., New York 1999.
20. J. ŁOMOTOWSKI, A. SZPINDOR: *Nowoczesne metody oczyszczania ścieków*. Arkady, Warszawa 1999.

21. K. MIKSCH i in.: *Biotechnologia ścieków*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
22. M. HENZE, P. HARREMOES, J. la CIUR JANSEN, E. ARVIN: *Oczyszczanie ścieków – procesy biologiczne i chemiczne*. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2000.
23. T. MINO, M. C. M. VAN LOOSDRECHT, J. J. HEIJNEN: Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process – review paper. *Wat. Sci. Tech.*, 1998, Vol. 32, pp. 3193–3027.
24. D. MULKERRINS, A. D. W. DOBSON, E. COLLERAN: Parameters affecting biological phosphate removal from wastewaters – review. *Environmental International*, 2004, Vol. 30, pp. 249–259.
25. G. J. F. SMOLDERS, J. VAN DER MEIJ, M. C. M. VAN LOOSDRECHT: Model of anaerobic metabolism of the biological phosphorus removal process: stoichiometry and pH influence. *Biotechnology and Bioengineering*, 1994, Vol. 43, pp. 461–470.
26. G. J. F. SMOLDERS *et al.*: Stoichiometric model of aerobic metabolism of the biological phosphorus removal process. *Biotechnology and Bioengineering*, 1994, Vol. 44, pp. 837–848.
27. A. D. EATON, L. S. CLESCER, A. E. GREENBERG: *Standard methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th Edition. American Public Health Association, Washington 1995.
28. D. BRDJANOWIC, C. M. HOOIJMANS, M. C. M. VAN LOOSDRECHT, G. J. ALAERTS, J. J. HEIJNEN: The dynamic effects of potassium limitation on biological phosphorus removal. *Wat. Res.*, 1996, Vol. 30, No. 10, pp. 2323–2328.
29. V. M. PATTARKINE, C. W. RANDALL: The requirement of metal cations for enhanced biological phosphorus removal by activated sludge. *Wat. Sci. Tech.*, 1999, Vol. 40, No. 2, pp. 159–165.

Zdybek, I. Effect of Chloride Ions on the Efficiency of Enhanced Biological Phosphorus Removal from Wastewater. *Ochrona Środowiska* 2005, Vol. 27, No 2, pp. 13–17.

Abstract: The effect of chloride ions on the process of enhanced biological phosphorus removal (EBPR) from wastewater was examined in an anaerobic-aerobic laboratory setup of sequencing batch reactors (SBRs) for two different salts: NaCl and KCl, in the chloride concentration range from about 200 to 5000 gCl⁻/m³. Under such experimental conditions, it was possible to achieve full inhibition of the nitrification process and thus eliminate the adverse influence of nitrate on the EBPR. The experimental results generally showed no significant effect of chlorides on the EBPR process at low concentrations (200 and 500 gCl⁻/m³). The efficiency of phosphate removal was then comparatively high (79.8 to 98.6%), which corresponded with the

relatively low phosphorus concentrations in the treated wastewater (0.7 to 10.0 gP/m³). Phosphate accumulation in the sludge was very high (about 19% VSS). At higher chloride concentration the EBPR was found to be inhibited. Phosphate concentrations in the treated wastewater increased to 30.5 and 44.0 gP/m³ for NaCl and KCl salts, respectively, when the concentration of chlorides approached 5000 gCl⁻/m³. At the same time, the efficiency of the EBPR dropped to 36.0% and 11.1% with NaCl and KCl, respectively, and phosphorus content in the sludge decreased to 7.9% and 1.7% VSS, respectively. The experiments revealed notable differences between the influence of potassium ions and that of sodium ions on the efficiency of the EBPR process.

Keywords: Wastewater treatment, phosphorus removal, enhanced biological phosphorus removal, salinity, chlorides.