

Pregledni članak | Review Paper | UDK 628.345.153
 Primljeno (Received): 24.3.2011.; Prihvaćeno (Accepted): 7.7.2011.

BAKTERIJE ODGOVORNE ZA BIOLOŠKO UKLANJANJE FOSFATA IZ OTPADNIH VODA

Prof. dr. sc. Jasna Hrenović,
 dipl. ing. biol.
 Prirodoslovno-matematički
 fakultet Sveučilišta u Zagrebu
 Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb
 jasnah@zg.biol.pmf.hr

Ispuštanje otpadnih voda sa sadržajem fosfata u prirodne prijemnike ubrzava proces eutrofikacije vodenih ekosustava. U svrhu očuvanja površinskih voda, sve se više pažnje posvećuje uklanjanju fosfata iz otpadnih voda do vrlo niskih koncentracija. Za proces biološkog uklanjanja fosfata iz otpadnih voda odgovorne su fosfat-akumulirajuće bakterije (PAB). PAB u aerobnim uvjetima rasta akumuliraju otopljene fosfate prisutne u otpadnoj vodi u obliku netopivih unutarstaničnih zrnaca polifosfata. PAB uključuju filogenetski i taksonomski različite grupe kultivabilnih i nekultivabilnih bakterija. Prosječno uklanjanje fosfata iz otpadne vode ovisi o kapacitetu soja PAB da unutarstanično akumulira fosfate i o brojnosti tog soja u aktivnom mulju.

Ključne riječi: akumulacija fosfata, bakterije, fosfat, otpadna voda, pročišćavanje

1. FOSFATI U OTPADNIM VODAMA

Fosfor je makronutrijent potreban svim živim stanicama. Fosfor u obliku ortofosfata (PO_4^{3-}) je limitirajući nutrijent za rast alga u površinskim vodama. Fosfat je sadržan u otpadnim vodama i pretjerano ispuštanje otpadnih voda u zatvorene vodene ekosustave uzrokuje nepostojanje limitacije razvoja biomase primarnih proizvođača fosfatom. Ovaj je fenomen poznat kao eutrofikacija (slika 1). Eutrofikacija vodenih ekosustava dovodi do značajnih promjena u kvaliteti vode i umanjuje vrijednost površinskih voda za potrebe ljudi. Stoga postoji potreba za uklanjanjem fosfata iz komunalnih i industrijskih otpadnih voda prije njihovog ispuštanja u prirodne prijemnike. U današnje vrijeme velika se pozornost pridaje trećem stupnju pročišćavanja otpadnih voda tijekom kojeg se fosfor iz otpadnih voda uklanja do vrlo niskih koncentracija.



Slika 1: Primjer eutrofikacije vodenog ekosustava nastale zbog pretjeranog ispuštanja otpadnih voda s visokim sadržajem fosfata.

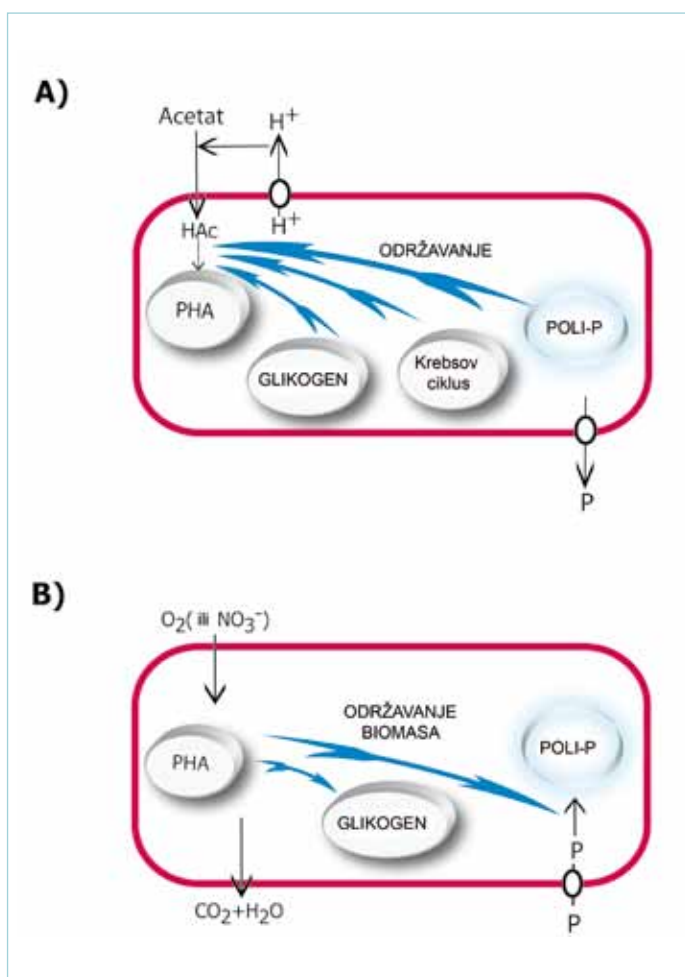
2. BILOŠKO UKLANJANJE FOSFATA IZ OTPADNIH VODA

Tretman otpadnih voda aktivnim muljem je najčešći način biološkog pročišćavanja otpadnih voda. Zadnjih 40-ak godina biološko uklanjanje fosfata (engl. Enhanced biological phosphate removal, EBPR) postalo je preferirani proces uklanjanja fosfata iz otpadnih voda. Proces biološkog uklanjanja fosfata odvija se pomoću mikroorganizama koji su sadržani u aktivnom mulju. Bakterije koje su sposobne akumulirati otopljene fosfate prisutne u otpadnoj vodi u obliku netopivih unutarstaničnih zrnaca polifosfata nazivaju se fosfat-akumulirajuće bakterije (engl. Phosphate-accumulating bacteria, PAB). Polifosfat je polianionski polimer sastavljen od mnogo monomera ortofosfata koji su povezani fosfoanhidridnim vezama, a razina polimerizacije varira kod različitih PAB. PAB su normalno prisutne u aktivnom mulju, ali u manjini zbog niske stope rasta (Sidat i sur., 1999.). Obogaćivanje aktivnog mulja s PAB postiže se specifičnim dizajnom uređaja za pročišćavanje otpadne vode.

Izlaganje aktivnog mulja naizmjeničnim anaerobnim i aerobnim (ili anoksičnim) uvjetima je nužno za postizanje biološkog uzimanja fosfata u PAB (Kern-Jespersen i Henze, 1993.). U odsutnosti kisika PAB transportiraju hlapive masne kiseline (npr. acetat, propionat) u stanicu, konvertiraju ih i skladište u obliku polihidroksialkanoata. Energiju za ovaj transport i skladištenje dobivaju iz: hidrolize unutarstanično pohranjenih polifosfata do ortofosfata, koji se ispuštaju iz stanice u okolni medij; razgradnje glikogena i anaerobnog Krebsovog ciklusa (slika 2a). U aerobnim uvjetima koji slijede, pohranjeni polihidroksialkanoati budu katabolizirani korištenjem kisika (ili nitrata) kao akceptora elektrona da bi se dobila energija za stanični rast, održavanje, formaciju glikogena i sintezu polifosfata (slika 2b), što rezultira uzimanjem fosfata u većem iznosu no što je prethodno otpušteno u anaerobnoj fazi (Comeau i sur., 1987.; Brdjanovic i sur., 1998.; Mino i sur., 1998.; Kortstee i sur., 2000.; Seviour i sur., 2003.).

Poznate su dvije skupine PAB: klasične PAB koje koriste kisik kao akceptor elektrona i denitrificirajuće PAB koje koriste nitrat kao akceptor elektrona. Ovdje treba spomenuti da prisutnost nitrita u otpadnoj vodi rezultira inhibitorynim učinkom na procese anaerobnog otpuštanja fosfata (Meinhold i sur., 1999.) i aerobnog uzimanja fosfata (Weon i sur., 2002.; Hrenovic i sur., 2007.). Fosfat koji je akumuliran unutar PAB u obliku polifosfata se lako uklanja iz sustava za obradu vode s viškom mulja te rezultira dobrim uklanjanjem fosfata iz otpadne vode.

Predloženi su različiti biokemijski modeli (Comeau i sur., 1987.; Brdjanovic i sur., 1998.; Mino i sur., 1998.; Kortstee i sur., 2000.) koji objašnjavaju mehanizme biološkog otpuštanja i uzimanja fosfata. Ovi se modeli slažu da hlapive masne kiseline (posebno acetat) imaju ključnu ulogu kao supstrat u mehanizmu EPBR. Općenito, sami anaerobni uvjeti nisu dovoljni da bi se induciralo ispuštanje fosfata iz PAB. Fenomen otpuštanja fosfata je primarno ovisan o vrsti hranjiva više nego o anaerobnim uvjetima kao takvima. PAB otpuštaju fosfate u anaerobnim, anoksičnim i aerobnim uvjetima kada su kao hranjivo prisutne hlapive masne kiseline (Gerber i sur., 1987.). Razina kemijske potrošnje kisika u otpadnoj vodi ne mora biti ključni čimbenik u procesu EBPR ukoliko influent koji dolazi u anaerobnu zonu sadrži dovoljnu količinu hlapivih masnih kiselina. Učinkovitost procesa EBPR je značajno utjecana porastom koncentracije glukoze u influentu, zbog pojave dominacije glikogen-akumulirajućih bakterija zvanih G-bakterije (Cech i Hartman 1993.; Carucci i sur., 1994.; Hrenovic i sur., 2003.), koje uzimaju organski supstrat u anaerobnoj fazi bez ispuštanja fosfata i ne uzimaju fosfat u aerobnoj fazi. Stoga, uspješni proces EBPR se može postići ukoliko je otpadna voda u anaerobnom stupnju bogata hlapivim masnim kiselinama i ukoliko u narednom aerobnom stupnju ne sadrži izvore ugljika.



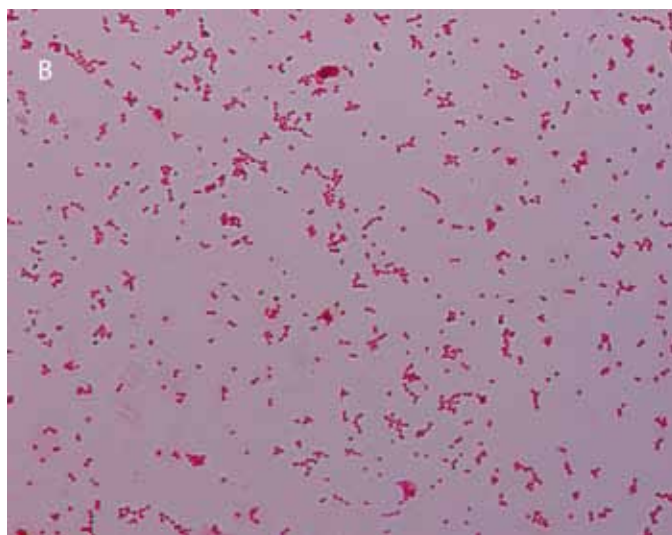
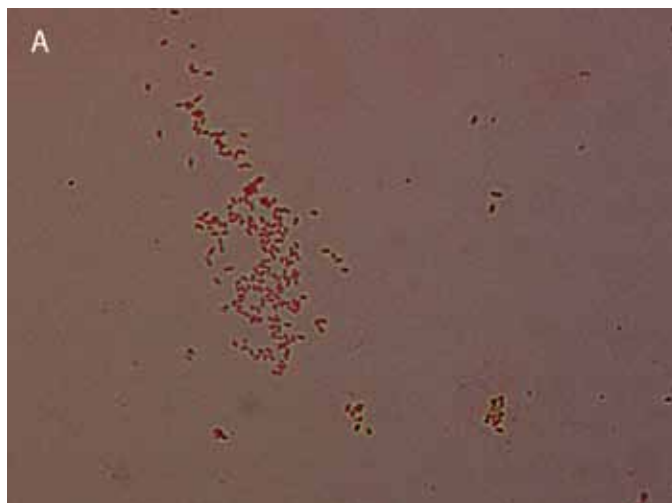
Slika 2: Metabolički procesi bakterija koje su odgovorne za biološko uklanjanje fosfata iz otpadnih voda. A) anaerobni uvjeti, B) aerobni ili anoksični uvjeti. Hac=acetatna kiselina; PHA=polihidroksialkanoat; poliP=polifosfat; P=fosfat.

3. VRSTE FOSFAT-AKUMULIRAJUĆIH BAKTERIJA

U aerobnim uvjetima heterotrofne PAB skladište intracelularno polifosfate koji im koriste kao izvor fosfora i energije u periodu kada je fosfor limitirajući element za razvoj bakterija (Sidat i sur., 1999.). Bakterije koje preferiraju anorganske fosfate kao izvor fosfora imaju kompleksni sistem za preživljavanje kod uvjeta s limitom fosfora. PAB pokazuju brzu i znatnu akumulaciju polifosfata kada fosfati budu dodani stanicama prethodno podvrgnutim stresu s limitom fosfata. Kako polifosfati mogu služiti kao izvor fosfora tijekom uvjeta s limitom fosfora, vjerojatno je da je akumulacija polifosfata obrambeni mehanizam bakterija za preživljavanje tijekom gladovanja (Ohtake i sur., 1998.). Akumulirani polifosfati u stanici služe kao zaliha energije u aerobnim i anaerobnim uvjetima. Tijekom perioda s limitom fosfora, stanice PAB koje su bogate polifosfatima preživljavaju duže nego stanice siromašne polifosfatima (Ubukata i Takii, 1998.).

Zajednice PAB nisu identične u različitim uređajima koji pokazuju svojstva EBPR sustava i mijenjaju se od mjesta do mjesta i variraju u istim uređajima s vremena na vrijeme (Mino i sur., 1998.). Anaerobno otpuštanje i aerobno uzimanje fosfata opaženo je kod bakterija, kvasaca i gljivica. PAB uključuju filogenetski i taksonomski različite grupe kultivabilnih i nekultivabilnih bakterija (Mino, 2000.). PAB se nazivaju sojevi bakterija koji mogu akumulirati više od 10^{-12} mg P po stanici. Prosječno uklanjanje fosfata iz otpadne vode ovisi će o kapacitetu soja PAB da unutarstanično akumulira fosfate i o brojnosti tog soja u aktivnom mulju. Mnoge različite vrste PAB dokazane su u aktivnom mulju i u uređajima s EBPR, mnoge različite grupe bakterija odgovorne su za EBPR. Pokazalo se da muljevi sa EBPR sadrže α -, β -, i γ - subklase koljena Proteobacteria, i koljeno Actinobacteria – Gram-pozitivne bakterije s visokim sadržajem C+G DNA (Sudiana i sur., 1999.; Mino, 2000.; Mudaly i sur., 2000.). Kultivabilne PAB uključuju rodove Gram-negativnih: *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Enterobacter*, *Lamprospedia*, *Moraxella*, *Pseudomonas* (Fuhs i Chen, 1975.; Stante i sur., 1997.; Sidat i sur., 1999.) i Gram-pozitivnih bakterija: *Bacillus*, *Micrococcus*, *Microlunatus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* (Nakamura i sur., 1995.; Sidat i sur., 1999.). Prema recentnoj metagenomskoj analizi, uklanjanje fosfata u uređajima s EBPR se primarno odvija pomoću nekultivabilnih vrsta bakterija kao što je *Candidatus Accumulibacter phosphatis* (Hesselmann i sur., 1999.; Seviour i sur., 2003.; Martin i sur., 2006.).

Bakterije roda *Acinetobacter* su postale modelni organizam za EBPR otkada su izolirane iz uređaja s aktivnim muljem za uklanjanje fosfata (Fuhs i Chen, 1975.). Postoje oprečne hipoteze da su *Acinetobacter*

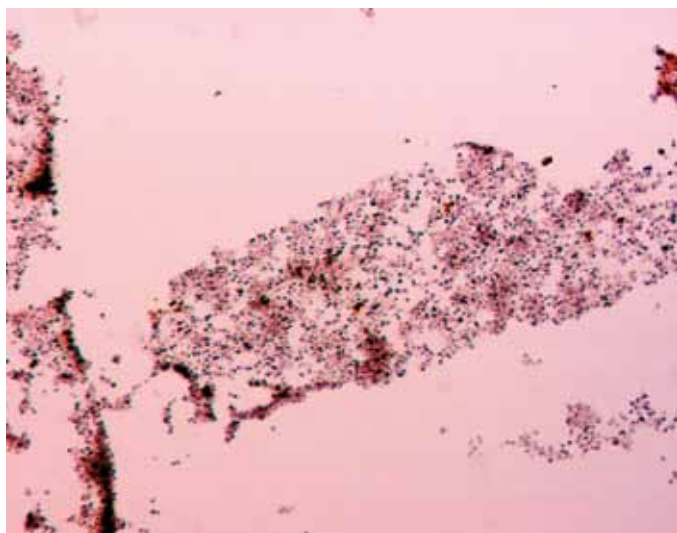


Slika 3: Štapičaste stanice *A. junii* u logaritamskoj fazi rasta (A) i sferične stanice u stacionarnoj fazi rasta (B)

spp. predominantni mikroorganizmi uključeni u EBPR. Neki istraživači koji su vodili studije na uređajima za pročišćavanje otpadne vode izvijestili su da su *Acinetobacter* spp. činile 50–70% ukupne populacije izolirane iz aktivnog mulja (Buchan, 1983.; Lotter i Murphy, 1985.; Beacham i sur., 1990.). Identifikacija EBPR aktivnog mulja pokazala je da je više od 90% bakterijske populacije sastavljeno od *Acinetobacter* spp. (Wentzel i sur., 1988.). Druge studije na aktivnom mulju s EBPR ukazale su da su *Acinetobacter* spp. činile 1–10% (Hiraishi i sur., 1989.), 4–5% (Sudiana i sur., 1999.) ili manje od 9% (Mudaly i sur., 2000.) bakterijskih zajednica. Sidat i sur. (1999.) pronašli su da iako su *Acinetobacter* spp. bile prisutne u ekstremno malim brojevima, njihov je kapacitet da unutarstanično akumuliraju polifosfate bio najveći od svih bakterijskih izolata iz uređaja s aktivnim muljem. Ovdje treba napomenuti da manje od 10% ukupnog broja bakterija prisutnog u aktivnom mulju još uvijek predstavlja nekoliko milijuna stanica

po gramu biomase. Ukoliko ovaj mali broj bakterija ima visoki kapacitet unutarstanične akumulacije polifosfata, one će predstavljati značajan doprinos procesu EBPR. PAB roda *Acinetobacter* uključuju vrste: *A. baumannii*, *A. baylyi*, *A. bouvetii*, *A. calcoaceticus*, *A. gernerii*, *A. jonsonii*, *A. junii*, *A. lwoffii*, *A. tandoii*, *A. tjernbergiae*, *A. towneri* (Carr i sur., 2003.).

Najviše istraživana PAB iz roda *Acinetobacter* je vrsta *A. junii*. *A. junii* dobro raste na temperaturama od 25 do 41°C, no ne raste na 44°C. Stanice su štapičaste u logaritamskoj fazi rasta (0.9–1.6 µm širine i 1.5–2.5 µm dužine), a postaju sferične u stacionarnoj fazi rasta (slika 3). Akumulacija zrnaca polifosfata u stanicama događa se u stacionarnoj fazi rasta (slika 4). Stanice se boje Gram-negativno, ne formiraju spore, nisu pokretne, aerobni su sa striktno respiratornim tipom metabolizma i kisikom kao terminalnim akceptorom elektrona, oksidaza su negativne i katalaza pozitivne. Stanice posjeduju polarne fimbrije i proizvode ekstracelularne supstance sastavljene od polisaharida, što im pomaže da se priljubljuju uz čvrste površine.



Slika 4: Plavo obojana (bojanje po Neisseru) zrnca polifosfata koja su akumulirana unutar sferičnih stanica *A. junii*.

Nađeno je da su za uklanjanje fosfata u nekoliko uređaja s EBPR uglavnom odgovorne bakterije iz rodova *Aeromonas* i *Pseudomonas* koji su činili do 50% mikrobnog populacije (Brodisch i Joyner, 1983.), a prisutnost ovih rodova je kasnije potvrđena i u drugim studijama (Florentz i Hartemann, 1984.; Lotter i Murphy, 1985.). Identifikacija EBPR aktivnog mulja pokazala je da su *Aeromonas* spp. i *Pseudomonas* spp. činile svaka manje od 4% ukupne bakterijske populacije aktivnog mulja (Mudaly i sur., 2000.).

U mikroaerofilnim uvjetima s čistim kulturama bakterija, za koje se vjerovalo da pripadaju rodu *Micrococcus*, izoliran je novi rod i vrsta bakterija *Microlunatus phosphorovorius* (Gram-pozitivni kok s visokim G+C DNA sadržajem) (Nakamura i sur., 1995.), koje su bile sposobne uzimati fosfate u oksidirajućim uvjetima bez organskog supstrata u mediju i otpušati fosfate kada su bile hranjene glukozom u anaerobnim uvjetima. Ubukata (1994.) su nezavisno izolirali sličnu bakteriju i pokazali da bakterija anaerobno koristi i aerobno akumulira polifosfate samo nakon naizmjeničnih anaerobnih i aerobnih uvjeta i uzima organski supstrat anaerobno iako je obligatni aerob, što je ukazalo da enzimski sistem za metabolizam polifosfata nije konstitutivan, nego inducibilan.

Lampropedia spp. (Gram-negativni, Neisser pozitivni koki) izolirana je iz EBPR aktivnog mulja. U testovima rasta u anaerobnim uvjetima na Na-acetatu *Lampropedia* spp. uzimala je acetat i skladištila polihidroksialkanoate uz otpuštanje fosfata. S obzirom na navedeno ponašanje *Lampropedia* spp. klasificirana je u PAB (Stante i sur., 1997.).

Zajednica aktivnog mulja s EBPR karakteristikama iz reaktora hranjenog acetatom bila je dominirana bakterijama filogenetski bliskim rodu *Rhodocyclus* unutar β -Proteobacteria (81% stanica). U zajednici EBPR aktivnog mulja hranjenog kompleksnim medijem ova filogenetska grupa bila je također predominantna, ali u manjem iznosu (23% stanica). Iz reaktora hranjenog acetatom izolirana su dva klona bliska rodu *Rhodocyclus*, R1 i R6–koji je bio dominantni tip bakterija. Iako je R6 tip bakterija bio blizak rodu *Rhodocyclus*, nije rastao fototrofno te je stoga za tu bakteriju preporučeni novi rod *Canidatus* i vrsta *Accumulibacter phosphatis* (Hesselmann i sur., 1999.).

4. ZAKLJUČAK

Za proces biološkog uklanjanja fosfata iz otpadnih voda odgovorne su filogenetski i taksonomski različite grupe kultivabilnih i nekultivabilnih bakterija. Kultivabilne PAB uključuju rodove Gram-negativnih: *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Enterobacter*, *Lampropedia*, *Moraxella*, *Pseudomonas* i Gram-pozitivnih bakterija: *Bacillus*, *Micrococcus*, *Microlunatus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*. Nekultivabilne vrste PAB predstavljene su vrstom *Canidatus Accumulibacter phosphatis*. U različitim uređajima s karakteristikama EBPR mogu se pojaviti različite vrste PAB. Uspješno uklanjanje fosfata iz otpadnih voda pomoću PAB postiže se ukoliko je otpadna voda u anaerobnom stupnju bogata hlapivim masnim kiselinama i ukoliko u narednom aerobnom stupnju ne sadrži izvora ugljika. ■

LITERATURA

- Beacham A.M., Seviour R.J., Lindrea K.C., Livingston I. (1990.): Genospecies diversity of *Acinetobacter* isolates obtained from a biological nutrient removal pilot plant of a modified UTC configuration. *Wat. Res.* 24, 23-29.
- Brdjanovic D., van Loosdrecht M.C.M., Hooijmans C.M., Mino T., Alaerts G.J., Heijnen J.J. (1998.): Bioassay for glycogen determination in biological phosphorus removal systems. *Wat. Sci. Tech.* 37, 541-547.
- Brodisch K.E.U., Joyner S.J. (1983.): The role of organisms other than *Acinetobacter* in biological sludge process. *Wat. Sci. Tech.* 15, 117-125.
- Buchan L. (1983.): Possible biological mechanism of phosphorus removal. *Wat. Sci. Tech.* 15, 87-103.
- Carr E.L., Kampfer P., Patel B.K.C., Gurtler V., Seviour R.J. (2003.): Seven novel species of *Acinetobacter* isolated from activated sludge. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 53, 953-963.
- Carucci A., Majone M., Ramadori R., Rossetti S. (1994.): Dynamics of phosphorus and organic substrates in anaerobic and aerobic phases of sequencing batch reactor. *Wat. Sci. Tech.* 30, 237-246.
- Cech J.S., Hartman, P. (1993.): Competition between polyphosphate and polysaccharide accumulating bacteria in enhanced biological phosphate removal systems. *Wat. Res.* 27, 1219-1225.
- Comeau Y., Rabinowitz B., Hall K.J., Oldham W.K. (1987.): Phosphate release and uptake in enhanced biological phosphorus removal from wastewater. *Journal WPCF* 59, 707-715.
- Florentz M., Hartemann P. (1984.): Screening for phosphate accumulating bacteria isolated from activated sludge. *Env. Tech. Letters* 5, 457-463.
- Fuhs G.W., Chen M. (1975.): Microbiological basis of phosphate removal in the activated sludge process for the treatment of wastewater. *Microb. Ecol.* 2, 119-138.
- Gerber A., Villiers R.H., de Mostert E.S., Riet C.J. (1987.): The phenomenon of simultaneous phosphate uptake and release, and its importance in biological nutrient removal. In: Ramadori R., editor, Biological phosphate removal from wastewaters. Oxford: Pergamon Press, 440 p.
- Hesselmann R.P.X., Werlen C., Hahn D., van der Meer J.R., Zehnder A.J.B. (1999.): Enrichment, phylogenetic analysis and detection of a bacterium that performs enhanced biological phosphate removal in activated sludge. *Syst. Appl. Microbiol.* 22, 454-465.
- Hiraishi A., Masamune K., Kitamura H. (1989.): Characterisation of the bacterial population structure in an anaerobic-aerobic activated sludge system on the basis of respiratory quinone profiles. *Appl. Microbiol.* 55, 897-901.
- Hrenovic J., Orhan Y., Buyukgungor H. (2003.): Characterization of enhanced biological phosphorus release and removal by activated sludge. *Acta Chim. Slov.* 50, 697-714.
- Hrenovic J., Orhan Y., Buyukgungor H., Horvaticek M. (2007.): Influence of ammonium, nitrate and nitrite on the performance of the pure culture of *Acinetobacter junii*. *Biologia* 62, 517-522.
- Kern-Jespersen J.P., Henze M. (1993.): Biological phosphorus uptake under anoxic and aerobic conditions. *Wat. Res.* 27, 617-624.
- Kortstee G.J.J., Appeldorn K.J., Bonting C.F.C., van Niel E.W.J., van Veen H.W. (2000.): Recent developments in the biochemistry and ecology of enhanced biological phosphorus removal. *Biochem.-Moscow* 65, 332-340.
- Lotter L.H., Murphy M. (1985.): The identification of heterotrophic bacteria in an activated sludge plant with particular reference to polyphosphate accumulation. *Water SA* 11, 179-184.
- Martin H.G., Ivanova N., Kunin V., Warnecke F., Barry K.W., McHardy A.C., Yeates C., He S., Salamov A.A., Szeto E., Dalin E., Putnam N.H., Shapiro H.J., Pangilinan J.L., Rigoutsos I., Kyrpides N.C., Blackall L.L., McMahon K.D., Hugenholtz P. (2006.): **Metagenomic analysis of two enhanced biological phosphorus removal (EBPR) sludge communities.** *Nature Biotech.* 24, 1263-1269.
- Meinhold J., Arnold E., Isaacs S. (1999.): Effect of nitrite on anoxic phosphate uptake in biological phosphorus removal activated sludge. *Wat. Res.* 33, 1871-1883.
- Mino T. (2000.): Microbial selection of polyphosphate-accumulating bacteria in activated sludge wastewater treatment processes for enhanced biological phosphate removal. *Biochem.-Moscow* 65, 341-348.
- Mino T., van Loosdrecht M.C.M., Heijnen J.J. (1998.): Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process. *Wat. Res.* 32, 3193-3207.
- Mudaly D.D., Atkinson B.W., Bux F. (2000.): Microbial community profile of a biological excess phosphorus removal (BEPR) activated sludge system using a cultivation-independent approach. *Water SA* 26, 343-352.
- Nakamura K., Hiraishi A., Yoshimi Y., Kawaharasaki M., Masuda K., Kamagata Y. (1995.): *Microlunatus phosphorovorius* gen. nov., sp. nov., a new gram-positive polyphosphate-accumulating bacterium isolated from activated sludge. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 45, 17-22.
- Ohtake H., Kato J., Kuroda A., Wu H., Ikeda T. (1998.): Regulation of bacterial phosphate taxis and polyphosphate accumulation response to phosphate starvation stress. *J. Biosci.* 23, 491-499.
- Seviour R.J., Mino T., Onuki, M. (2003.): The microbiology of biological phosphorus removal in activated sludge systems. *FEMS Microbiol. Rev.* 27, 99-127.

Sidat M., Bux F., Kasan H.C. (1999.): Polyphosphate accumulation by bacteria isolated from activated sludge. *Water SA* 25, 175-179.

Stante L., Cellamare C.M., Malaspina F., Bortone G., Tilche A. (1997.): Biological phosphorus removal by pure

culture of *Lamproedia* spp. *Wat. Res.* 31, 1317-1324.
Sudiana I.M., Mino T., Satoh H., Nakamura K., Matsuo T. (1999.): Metabolism of enhanced biological phosphorus removal and non-enhanced biological phosphorus removal sludge with acetate and glucose as

BACTERIA RESPONSIBLE FOR BIOLOGICAL PHOSPHATE REMOVAL FROM WASTEWATER

Abstract. Discharge of wastewater containing phosphates into natural receiving bodies accelerates the eutrophication process of water ecosystems. In order to preserve surface waters, increasing attention is paid to phosphate removal from wastewater down to very low concentrations. Polyphosphate-accumulating bacteria (PAB) are responsible for the process of biological phosphate removal from wastewater. In aerobic growth conditions, PAB accumulate dissolved phosphates present in wastewater in the form of insoluble intracellular polyphosphate granules. PAB include phylogenetically and taxonomically different groups of cultivable and uncultivable bacteria. Average removal of phosphates from wastewater depends on the capacity of a PAB species for intracellular accumulation of phosphates and numerosness of this species in activated sludge.

Key words: phosphate accumulation, bacteria, phosphate, wastewater, treatment

DIE FÜR DIE BIOLOGISCHE PHOSPHATENTFERNUNG AUS ABWÄSSERN ZUSTÄNDIGEN BAKTERIEN

Zusammenfassung. Die Einleitung von phosphathaltigen Abwässern in natürliche Rezipienten beschleunigt die Eutrophierung von Wasserökosystemen. Um Oberflächengewässer zu schützen, werden Phosphatgehalte in Abwässern minimiert. Für die biologische Phosphatentfernung aus Abwässern sind phosphatspeichernde Bakterien zuständig. Unter aeroben Wachstumsbedingungen nehmen diese Bakterien die im Abwasser gelösten Phosphate in Form der unlöslichen intrazellulären Polyphosphatkörner auf. Die phosphatspeichernden Bakterien schließen phylogenetisch und taxonomisch verschiedene Gruppen von kultivierbaren und nicht-kultivierbaren Bakterien ein. Durchschnittliche Phosphatentfernung aus Abwässern ist abhängig von der Fähigkeit des Stammes der phosphatspeichernden Bakterien, Phosphate intrazellulär zu speichern, sowie von der Vielzahl dieses Stammes im belebten Schlamm.

Schlüsselwörter: Phosphatspeicherung, Bakterien, Phosphat, Abwasser, Abwasserreinigung