

EFEKTYWNOŚĆ OCZYSZCZANIA ODCIEKÓW Z BEZTLENOWEJ STABILIZACJI OSADÓW Z OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW MLECZARSKICH NA ZŁOŻU BIOLOGICZNYM

Wojciech Dąbrowski¹, Magdalena Horysz¹

¹ Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, e-mail: dabrow@pb.edu.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących możliwości zastosowania złoża biologicznego z wypełnieniem z tworzywa do oczyszczania ścieków charakteryzujących się wysokim stężeniem azotu amonowego. Badania prowadzono z zastosowaniem odcieków, powstających w trakcie beztlenowej stabilizacji osadów w oczyszczalni ścieków mleczarskich. Są one z reguły zwracane do głównego ciągu oczyszczania. Ich duża ilość powoduje zakłócenia w pracy oczyszczalni ścieków mleczarskich. BZT₅ odcieków było porównywalne z wartościami charakterystycznymi dla ścieków bytowych, natomiast stężenie azotu amonowego zmieniało się od 145,0 do 390,0 mg N-NH₄⁺/l, a fosforu ogólnego od 16,0 do 38,0 mg P/l. W badaniach wykorzystano układ badawczy CE701e firmy Gunt umożliwiający kontrolę podstawowych parametrów procesu. Złoże biologiczne w układzie niskoobciążonym umożliwiło znaczne obniżenie zawartości substancji organicznej oraz azotu ogólnego i amonowego. Średnia efektywność usuwania azotu amonowego wynosiła od 73,6 do 80,3%. W przypadku azotu Kjeldahla średnia efektywność usuwania wynosiła od 74,4 do 79,8%. Ze względu na warunki tlenowe panujące w trakcie oczyszczania efektywność usuwania fosforu była niska i zmieniała się od 32,0 do 33,7%. Wykonane badania potwierdziły skuteczność złoża biologicznego w oczyszczaniu ścieków charakteryzujących się dużym stężeniem azotu amonowego.

Słowa kluczowe: złoże biologiczne, odcieki z przeróbki osadów, efektywność.

APPLICATION OF TRICKLING FILTER FOR SEWAGE TREATMENT WITH HIGH AMMONIA NITROGEN CONCENTRATION

ABSTRACT

The article presents the results of research about the possibility of using trickling filter for high ammonia concentration sewage treatment. The study was conducted with the use of reject water generated during anaerobic sewage sludge stabilization in dairy wastewater treatment plant (WWTP). They are usually returned to the beginning of WWTP. The value of BOD in reject water was approximately the same as in domestic and municipal sewage. Ammonia nitrogen concentration was varied from 145,0 to 390,0 mgN-NH₄⁺/l and phosphorus from 16.0 to 38.0 mgP/l. The study used the Gunt test system CE701e, which allows controlling basic parameters of the treatment with trickling filter. Significant reduction of organic matter, total nitrogen and ammonium was observed during treatment. Average removal efficiency of ammonia nitrogen ranged from 73.6 to 80.3%. In the case of the Kjeldahl nitrogen removal efficiencies ranged from 74.4 to 79.8%. Because of the aerobic conditions during the treatment of phosphorus removal efficiency was low and varied from 32.0 to 33.7%. The research confirmed the efficiency of trickling filter for treatment sewage with high concentration of ammonia nitrogen.

Keywords: trickling filter, reject water from sewage treatment, efficiency.

WPROWADZENIE

Wraz ze wzrostem efektywności oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych można zaobserwować wzrost ilości osadów ścieko-

wych. Są one odpadem występującym w każdej biologicznej oczyszczalni ścieków. Taka sytuacja prowadzi do zwiększającego się oddziaływania odcieków z przeróbki osadów na proces oczyszczania. Problem ten dotyczy w szczególności

obiektów stosujących beztlenową stabilizację osadów. Odcieki mogą charakteryzować się dużą zawartością substancji organicznej oraz wysokim stężeniem azotu [Dąbrowski 2014, Fux 2002, Fux 2006, Gajewska 2011, Xinying 2016].

W celu zmniejszenia oddziaływania zawracanych odcieków na proces oczyszczania można zastosować ich wydzielone podczyszczanie. Do najbardziej znanych metod sprawdzonych w skali rzeczywistej należy m.in. metoda SHARON. Jest ona efektywna jednak wysokie koszty związane z budową i eksploatacją systemu ograniczają jej zastosowanie [Janus 1997]. Wykonane badania, których wyniki przedstawiono w artykule miały na celu określenie możliwości zastosowania klasycznego złoża biologicznego do wydzielonego oczyszczania odcieków z beztlenowej stabilizacji osadów ściekowych. Złóża biologiczne były szeroko stosowane w latach 70-i 80-tych ubiegłego wieku. Zaniechanie ich używania w Polsce wynikało z wprowadzenia w 1991 roku wymagań, co do intensywnego usuwania związków biogennych. Spowodowało to praktycznie zanik tej technologii na rzecz osadu czynnego. W przeciwieństwie do Polski oczyszczalnie ze złożem biologicznym są z powodzeniem stosowane np. w Wielkiej Brytanii gdzie złoża obrotowe uzupełnione o systemy hydrofitowe zdominowały oczyszczanie ścieków komunalnych z małych miejscowości [Obarska-Pempkowiak i inn. 2010]. Doświadczenia z zastosowaniem złożeń obrotowych do oczyszczania odcieków ze składowisk potwierdzają, iż możliwe jest efektywne

wykorzystanie technologii złożeń biologicznych do oczyszczania nie tylko ścieków bytowych czy też komunalnych [Siegrist i inn. 1998]. Technologia ta w przeciwieństwie do osadu czynnego jest znacznie prostsza i tańsza w eksploatacji. W trakcie pracy złożeń nie powstają odpady charakterystyczne dla metody osadu czynnego [Post 2002, Henrich 2013]. Złóża biologiczne umożliwiają usuwanie związków azotu głównie w procesie nityfikacji, co potwierdza celowość ich zastosowania do oczyszczania odcieków charakteryzujących się bardzo wysokim stężeniem azotu amonowego [Godoy-Olmos 2016, Henrich 2013].

METODYKA BADAŃ

W badaniach laboratoryjnych zastosowano układ składający się ze złoża biologicznego wypełnionego kształtkami z tworzywa sztucznego. Oprócz złoża układ wyposażony był w zbiornik ścieków surowych, osadnik wtórny, pompy zasilające i recyrkulacyjne, urządzenia do pomiaru ilości ścieków, a także system sztucznego napowietrzania zastosowany w fazie wpracowania błony biologicznej. Rysunek 1 przedstawiono widok całego układu badawczego.

Układ badawczy został wpracowany zgodnie z wytycznymi eksploatacji producenta przy użyciu mieszaniny ścieków i osadu czynnego z oczyszczalni biologicznej. Po wpracowaniu rozpoczęto zasilanie układu ściekami bytowymi do momentu uzyskania stabilnego efektu ich oczysz-



Rys. 1. Widok instalacji badawczej użytej w badaniach
[Źródło: Instrukcja obsługi CE 701, G.U.N.T. Gerätebau, Barsbüttel]
Fig. 1. Overall view of experiment device

czania. Następnie rozpoczęto badania właściwe z zastosowaniem odcieków z beztlenowej przeróbki osadów ściekowych, pobieranych z oczyszczalni ścieków mleczarskich należących do firmy S.M. Mlekovita w Wysokim Mazowieckim. Jest to jedna z największych w Polsce oczyszczalni ścieków mleczarskich, maksymalna przepustowość obiektu wynosi 7500 m³/d, przy równoważnej ilości mieszkańców (RLM) sięgającej 350000. Oczyszczanie wstępne ścieków mleczarskich realizowane jest z wykorzystaniem procesu flotacji ciśnieniowej, następnie ścieki trafiają do reaktorów biologicznych umożliwiających intensywne usuwanie związków biogenych. W procesie stabilizacji zastosowano reaktor beztlenowy typu Biobulk, do którego oprócz osadu nadmiernego doprowadzane są osady poflotacyjne ze wstępnego oczyszczania ścieków oraz niewielkie ilości serwatki. Po procesie stabilizacji osady są odwadniane przy użyciu wirówki i używane do nawożenia gleby. Ocieki kierowane są do studni zbiorczej. Trafiają do niej także ocieki z procesu wstępnego zagęszczania osadu nadmiernego. Ilość odcieków jest bardzo duża i sięga 10-20% ilości ścieków surowych dopływających do oczyszczalni. W chwili obecnej ocieki bez oczyszczania są zawracane na początek procesu oczyszczania ścieków mleczarskich. Badania laboratoryjne oczyszczania odcieków prowadzono w temperaturze 14–20°C. Ze względu na skład odcieków charakteryzujących się wysokim stężeniem azotu amonowego (tabela 1) badania prowadzono w układzie niskoobciążonego złoża biologicznego. Wykonano dwie serie badań – pierwsza seria przy obciążeniu hydraulicznym 0,4 m³/m²d i druga przy obciążeniu 0,8 m³/m²d. W każdej serii określono parametry 10 próbek ścieków przed i po procesie biologicznego oczyszczania. W celu oceny efektywności procesu określono zawartość substancji organicznej mierzonej wartościami BZT₅ i ChZT, stężenie azotu amonowego, azotu Kjeldahla azotanów (III i V), oraz także fosforu ogólnego. Kontrolowano stężenie zawiesin ogólnych, odczyn, przewodność oraz stężenie tlenu rozpuszczonego. Badania prowadzono zgodnie z obowiązującymi normami w laboratorium Katedry Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska Politechniki Białostockiej. Rezultaty badań poddano obróbce statystycznej. Zakres badań jak i przyjęte w ich trakcie parametry procesu wynikał z braku danych literaturowych odnośnie oczyszczania odcieków z przeróbki osadów z zastosowaniem złóż biologicznych.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki przeprowadzonych badań z zastosowaniem układu badawczego przedstawiają tabele 1 i 2. Oprócz wartości średnich podano także wartości minimalne i maksymalne, oraz odchylenie standardowe.

Na podstawie wyników badań prezentowanych w tabelach 1 i 2, na podstawie wartości średnich obliczono efektywność procesu oczyszczania w odniesieniu do BZT₅, ChZT, zawiesin ogólnych, azotu Kjeldahla, azotu amonowego oraz fosforu. Otrzymane rezultaty przedstawia rysunek 2.

Analizując efektywność układu stwierdzono wysoki efekt usuwania substancji organicznej w obu seriach. W pierwszej serii zaobserwowano obniżenie zawartości BZT₅ ze 122,3 do 37,8 mgO₂/dm³, w drugiej serii ze 112,6 do 48,6 mg O₂/dm³, co przekładało się na efektywność usuwania 69,1% oraz 56,8%. W przypadku ChZT wartość na wlocie wynosiła średnio 210, 8 i na wylocie 71,6 mg O₂/dm³, w drugiej serii na wartość na wlocie wynosiła średnio 206,4 i na wylocie 97,4 mg O₂/dm³. Efektywność usuwania wyniosła odpowiednio 66,0% oraz 52,8%. Analizując stężenie zawiesin ogólnych w obu seriach uzyskano zbliżone wyniki efektywności usuwania na poziomie 92,6% i 92,3%. Stężenie azotu Kjeldahla oraz azotu amonowego charakteryzowało się podobną tendencją zmian jak przy BZT₅ i ChZT. W pierwszej serii uzyskano obniżenie stężenia azotu amonowego z wartości 246,2 do 48,5 mgN-NH₄⁺/dm³, natomiast w drugiej serii z 237,6 do 62,8 mg N-NH₄⁺/dm³. Dawało to średnią efektywność na poziomie 80,3% i 73,6%. Natomiast w przypadku azotu Kjeldahla średnia efektywność usuwania wynosiła 79,8% oraz 74,4%. Na podstawie wyników badań określono wartość azotu ogólnego obliczonego, jako sumę azotu Kjeldahla oraz azotanów (III i V). Stwierdzono iż, w pierwszej serii stężenie azotu ogólnego z wartości 286,3 obniżone zostało do 66,8 mg N/dm³ (procentowo 76,7%). Analogicznie w drugiej serii były to wartości, na wlocie 280,9 a na wylocie 82,7 mg N/dm³ (procentowo 70,6%). Nieco lepsze efekty procesu nityfikacji uzyskano w drugiej serii badawczej, kiedy to stężenie azotanów (V) po procesie oczyszczania wynosiło średnio 11,2 mg N-NO₃/dm³. W pierwszej serii stężenie to wynosiło 9,0 mg N-NO₃/dm³. W przypadku fosforu ogólnego stwierdzono nieco wyższą efektywność usuwania przy wyższym

Tabela 1. Zestawienie wyników badań odcieków przed i po procesie oczyszczania przy zastosowaniu obciążenia hydraulicznego 0,4 m³/m²d

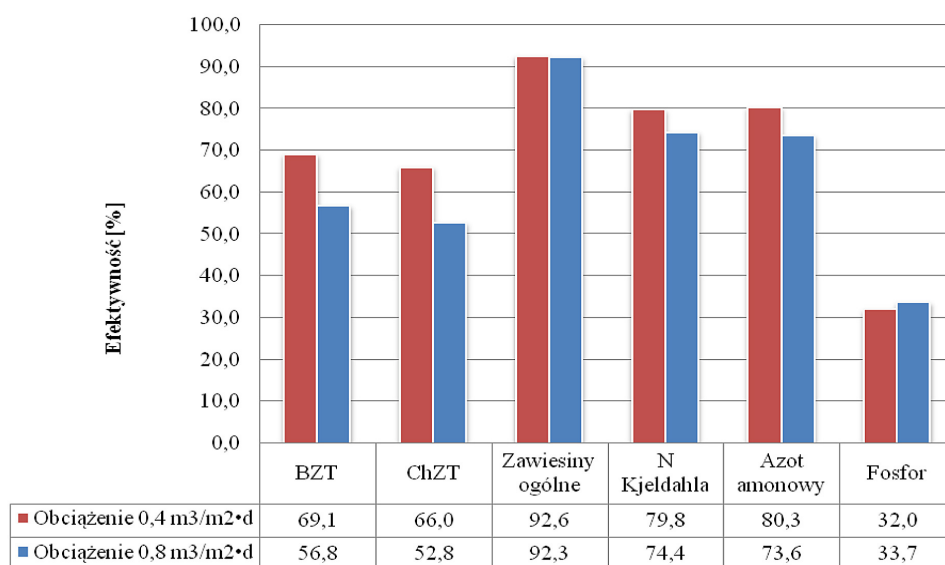
Table 1. Results of reject water treatment with hydraulic load 0.4 m³/m²d

Parametry na dopływie- obciążenie hydrauliczne złoża 0,4 m ³ /m ² d								
Parametr/ wartość	BZT ₅ mgO ₂ /dm ³	ChZT mgO ₂ /dm ³	Zawiesiny ogólne mg/dm ³	Azot Kjeldahla mg N/dm ³	Azot amonowy mgN-NH ₄ ⁺ / dm ³	Azotany V mgN-NO ₃ ⁻ / dm ³	Azotany III mgN-NO ₂ ⁻ / dm ³	Fosfor ogólny mg P/dm ³
Wartość min.	96	180	120	180	145	1,1	0,1	16
Wartość max.	160	250	240	460	390	2,2	0,4	38
Średnia	122,3	210,8	190,5	284,5	246,2	1,6	0,2	24,7
Odchylenie standardowe	20,8	23,9	59,6	96,8	81,6	0,4	0,1	6,8
Parametry na odpływie- odpływ ścieków, obciążenie hydrauliczne 0,4 m ³ /m ² d								
Wartość min.	30	60	10	40	31	6	0,1	11
Wartość max.	45	89	18	70	62	12,9	0,3	26
Średnia	37,8	71,6	14,1	57,6	48,5	9,0	0,2	16,8
Odchylenie standardowe	5,1	8,3	2,4	10,6	10,1	2,5	0,1	5,1

Tabela 2. Zestawienie wyników badań przy zastosowaniu obciążenia hydraulicznego 0,8 m³/m²d

Table 2. Results of reject water treatment with hydraulic load 0.8 m³/m²d

Parametry na dopływie- obciążenie hydrauliczne 0,8 m ³ /m ² d								
Parametr/ wartość	BZT ₅ mgO ₂ /dm ³	ChZT mgO ₂ /dm ³	Zawiesiny ogólne mg/dm ³	Azot Kjeldahla mg N/dm ³	Azot amonowy mgN-NH ₄ ⁺ / dm ³	Azotany V mgN-NO ₃ ⁻ / dm ³	Azotany III mgN-NO ₂ ⁻ / dm ³	Fosfor mg P/dm ³
Wartość min.	90	170	85	187	169	0,7	0,1	21
Wartość max.	150	260	310	490	380	2,6	0,3	35
Średnia	112,6	206,4	166,9	279,1	237,6	1,7	0,2	27,3
Odchylenie standardowe	22,9	28,7	65,9	104,4	72,5	0,7	0,1	6,7
Parametry na odpływie- obciążenie hydrauliczne 0,8 m ³ /m ² d								
Wartość min.	40	85	10	61	50	8	0,1	14
Wartość max.	60	115	17	90	76	16,2	0,2	29
Średnia	48,6	97,4	12,9	71,4	62,8	11,2	0,1	18,1
Odchylenie standardowe	8,2	9,9	2,3	9,1	9,6	2,6	0,0	2,3



Rys. 2. Efektywność usuwania w procesie biologicznego oczyszczania z zastosowaniem układu badawczego
Fig. 2. Removal efficiency of the biological treatment process with research installation

obciążeniu złoza, wynosiła ona 33,7%, natomiast w pierwszej serii było to 32,0%. Według danych literaturowych efektywność złoź biologicznych do oczyszczania ścieków bytowych wynosi dla BZT₅ 95,6%, ChZT 91,7%, zawiesiny ogólne 92,6%, azot Kjeldahla 67,8%, azot amonowy 7,3% oraz fosfor 59,4% [Chmielowski i in. 2010, Przybyła 2011, Wałęga 2010, Yang 2013].

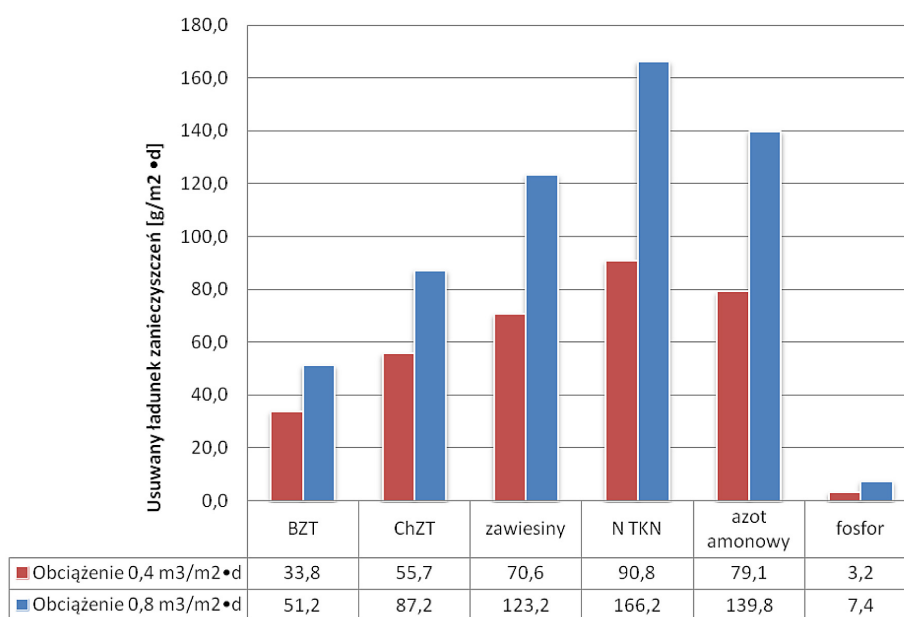
Celem określenia efektywności złoza do oczyszczania odcieków obliczono także ilość usuwanego ładunku zanieczyszczeń w odniesieniu do pola powierzchni przekroju poprzecznego złoza. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 3.

Uzyskane wyniki mogą być zastosowane do obliczeń niezbędnych parametrów technologicznych złoza do oczyszczania odcieków w warunkach rzeczywistych. Wzrost obciążenia hydraulicznego w drugiej serii spowodował znaczny wzrost usuwanego ładunku zanieczyszczeń w odniesieniu do powierzchni pola poprzecznego złoza. Usuwany ładunek zanieczyszczeń obliczono na podstawie wartości średnich na wlocie i wylocie. W przypadku substancji organicznych BZT₅ uzyskano dla pierwszej serii 33,8 g/m²d i 51,2 g/m²d dla drugiej serii. Analizując ładunek azotu amonowego (rys. 3) usuwany w trakcie oczyszczania stwierdzono, iż dwukrotne zwiększenie obciążenia hydraulicznego spowodowało znaczny wzrost efektywności złoza w odniesieniu do pola przekroju poprzecznego. Najmniejszą różnicę w ilości usuwanego ładunku zanieczyszczeń stwierdzono w przypadku fosforu. Niewiel-

ki efekt usuwania fosforu wynika z tego, iż technologia złoź biologicznych opiera się o tlenowe oczyszczanie ścieków, systemy te nie są przystosowane do efektywnego usuwania tego biogenu.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania miały charakter wstępny, będą one kontynuowane z zastosowaniem złoza biologicznego średnio i wysokobciążonego. Uzyskany efekt usuwania substancji organicznej wynoszący 69,1% w przypadku BZT₅ i 66% dla ChZT można uznać za wysoki. Parametry uzyskane po procesie oczyszczania umożliwiają odprowadzenie ścieków do odbiornika. Jednak ze względu na wysokie stężenie związków biogenych, a w szczególności azotu tak oczyszczone odcieki nie mogą trafiać do odbiornika. Zawrócenie podczyszczonych odcieków może w znacznym stopniu zmniejszyć obciążenie oczyszczalni ścieków mleczarskich ładunkiem zanieczyszczeń. Uzyskane efekty usuwania azotu amonowego sięgające 80,3% świadczą o przydatności technologii złoź biologicznych do oczyszczania ścieków o dużym stężeniu azotu amonowego. Zwiększenie efektywności procesu nityfikacji będzie także celem dalszych badań. Zastosowany układ badawczy umożliwia zastosowanie recyrkulacji ścieków oczyszczonych, co powinno intensyfikować usuwanie zarówno substancji organicznej jak i biogenów. Planowane są



Rys. 3. Usuwany ładunek zanieczyszczeń na złożu biologicznym
Fig. 3. Removed load of pollutants in the biological treatment process

także dalsze badania w układzie hybrydowym z zastosowaniem złoża biologicznego oraz hydrofitowego o przepływie pionowym.

LITERATURA

1. Chmielowski K., Ślizowski R., 2010. Ocena skuteczności oczyszczania ścieków w oczyszczalni ścieków w Nowym Sączu. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 155–168.
2. Dąbrowski W., 2014. A study of the digestion process of sewage sludge from dairy WWTP to determine the composition and load of reject water. *Water Pract. Technol.* 9(1), 71–78.
3. Fux C., Boehler M., Huber P., Brunner I., Siegrist H.; 2002. Biological treatment of ammonium-rich wastewater by partial nitrification and subsequent anaerobic ammonium oxidation (anammox) in a pilot plant. *Journal of Biotechnology*, 99, 293–306.
4. Fux C., Valtin S., Carozzi V., Solley D., Keller J.; 2006. Efficient and stable nitrification and denitrification of ammonium-rich sludge dewatering liquor using SBR with continuous loading. *Water Research*, 40(14), 2765–2775.
5. Gajewska M., Obarska-Pempkowiak H., 2011. The role of SSVF and SSHF beds in concentrated wastewater treatment, design recommendation. *Wat. Sci. Technol.* 64(28), 431–439.
6. Godoy-Olmos S. et al., 2016. Influence of filter medium type, temperature and ammonia production on nitrifying trickling filters performance, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 4, 328–340.
7. Henrich C.D., Marggraff M., 2013. Energy-efficient Wastewater Reuse – The Renaissance of Trickling Filter Technology. 9th International Conference on Water Reuse, 27-31 Oct. 2013, Windhoek, Namibia.
8. Henrich C.D., 2014. German research underway on trickling filter practices. *World Water – Wastewater Treatment* No. 37-5.
9. Janus H.M., Van Der Roest H.F., 1997. Do not reject the idea of treating reject water. *Water Sci. Technol.* 35(10), 27–34.
10. Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E. 2010. *Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
11. Post T., Medlock J., 2002. *Wastewater Technology Fact Sheet Trickling Filters*, EPA
12. Przybyła Cz., Bykowski J., Filipiak J., 2009. Efektywność funkcjonowania gminnych oczyszczalni ścieków. *Środowiskowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska*, Tom 11, art.16, 231–239.
13. Siegrist H., Reithaar S., Koch G., Lais P. 1998. Nitrogen loss in a nitrifying rotating contactor treating ammonium-rich wastewater without organic carbon. *Water Science and Technology*, 38(8–9), 241–248.
14. Wałęga A. i in., 2010. Możliwości zwiększenia efektywności usuwania ze ścieków azotu fosforu w oczyszczalni w Łopusznie. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 1, 111–123.
15. Xinyung Z. et al., 2016. Biofilm characteristics in natural ventilation trickling filters (NVTfS) for municipal wastewater treatment: Comparison of three kinds of biofilm carriers. *Biochemical Engineering Journal* 106, 87–96.
16. Yang Y. et al., 2013. Field Applications for NO_x Removal from Flue Gas in a Biotrickling Filter by *Chelatococcus daeguensis* TAD1. *Aerosol and Air Quality Research*, 1824–1831.