

WPŁYW STAŁEGO POLA MAGNETYCZNEGO NA EFEKTYWNOŚĆ DROBNOPEŁCZERZYKOWEGO NATLENIA CIECZY

Paulina Rusanowska¹, Marcin Zieliński¹, Marcin Dębowski¹

¹ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Inżynierii Środowiska, ul. Warszawska 117, 10-720 Olsztyn, e-mail: paulina.jaranowska@uwm.edu.pl

STRESZCZENIE

Napowietrzanie stanowi główną pozycję w kosztach eksploatacji większości oczyszczalni ścieków. Stale poszukiwane są nowe, wydajne metody aeracji. Nawet niewielki wzrost efektywności przy ogromnej skali procesu daje znaczące oszczędności finansowe. W pracy analizowano możliwość zwiększenia efektywności procesu natleniania poprzez wykorzystanie stałego pola magnetycznego. Celem pracy była ocena wpływu stałego pola magnetycznego na efektywność drobnopęcherzykowego natleniania cieczy. Badania wykonano w stałej temperaturze (24 °C) przy pH 8,25. Intensywność napowietrzania wynosiła 58 l/h. Wartość średnia indukcji magnetycznej wynosiła od 10 mT w serii 1 do 14 mT w serii 2 i 16 mT w serii 3. Wartość OC w przypadku zastosowania najniższej indukcji wynosiła 75,22 g/(m³·h). W serii 2 było to średnio 77,7 g/(m³·h). Natomiast przy zastosowaniu pola magnetycznego o największej indukcji stwierdzono wartość OC na poziomie 92,72 g/(m³·h). Podczas gdy w serii kontrolnej bez zastosowania stałego pola magnetycznego zdolność do natleniania OC badanego układu wynosiła zaledwie 60,5 g/(m³·h). Pozytywne wyniki badań w skali laboratoryjnej skłaniają do podjęcia prac nad możliwością zastosowania stałego pola magnetycznego do poprawy efektywności napowietrzania w urządzeniach przemysłowych.

Słowa kluczowe: napowietrzanie drobnopęcherzykowe, stałe pole magnetyczne, zdolność natleniania

IMPACT OF STATIC MAGNETIC FIELD ON EFFICIENCY OF FINE-BUBBLE AERATION OF LIQUID

ABSTRACT

Aeration is the main item in the operating costs of most wastewater treatment plants. New, efficient methods of aeration are constantly requested. Even a small increase in the efficiency on the larger scale of the process provides significant financial savings. The paper presents the possibility of increasing the efficiency of oxygen transfer through the use of a static magnetic field. The aim of the study was to evaluate impact of static magnetic field on efficiency of fine-bubble aeration of liquid. The experiment were conducted in constant temperature (24 °C) at pH 8.25. The aeration intensity was 58 L/h. The mean magnetic field induction ranged from 10 mT in a series 1, to 14 mT in a series 2 and 16 mT in a series 3. The OC value in case of the use of the lowest induction was 75.22 g/(m³·h). In series 2 the OC value was an average of 77.7 g/(m³·h). In series 3, when magnetic field with the highest induction was used, the OC value was 92.72 g/(m³·h). While in the control series, without the use of static magnetic field, the OC was only 60.5 g/(m³·h). Positive experiments results in laboratory scale tent to research on possibility for application of static magnetic field to enhance the efficiency of aeration in industrial devices.

Keywords: fine-bubble aeration, static magnetic field, oxygen transfer capacity

WSTĘP

Oczyszczanie ścieków zachodzi poprzez usunięcie z nich zawiesin, związków organicznych i biogennych, a także azotu amonowego i drobnoustrojów patogennych. Aby umożliwić zajście procesów biologicznych konieczne jest dostar-

czenie tlenu niezbędnego do wzrostu mikroorganizmów. Bakterie wykorzystują tlen do rozkładu substancji organicznych zawierających węgiel do dwutlenku węgla i wody. W przypadku braku tlenu, biodegradacja zachodzi wolno, prowadzi do niekompletnego rozkładu zanieczyszczeń podczas którego powstają odory. Z powyższych wzglę-

dów napowietrzanie jest najbardziej krytycznym parametrem podczas oczyszczania ścieków z wykorzystaniem osadu czynnego. Ponadto koszt napowietrzania stanowi główną pozycję w kosztach eksploatacji oczyszczalni ścieków dlatego natlenienie ścieków powinno zachodzić intensywnie. Dobrze zaprojektowany system napowietrzania jest kluczem do szybkiego, ekonomicznego i efektywnego oczyszczania ścieków. Alternatywną formą intensyfikacji procesu oczyszczania ścieków, może być wykorzystywanie zjawisk fizycznych takich jak pole magnetyczne.

Wykorzystanie pola magnetycznego w celu uzdatniania wody i oczyszczania ścieków jest znane od wieków. Woda zostaje magnetycznie naładowana kiedy pozostaje w kontakcie z magnezem o odpowiedniej indukcji przez odpowiednio długi czas. Zmiana właściwości cieczy płynących przez pole magnetyczne jest związana ze zmianami w strukturze cząsteczkowej cieczy, polaryzacji oraz zmianą ładunku elektrycznego [Krzemieniewski i in. 2004, Krzemieniewski i in. 2003, Szczypiorkowski, Nowak 1995, Łebkowska 1991]. Bezpośrednie działanie stałego pola magnetycznego wpływa na selektywną jonizację, powstanie prądów wirowych oraz generowanie pola elektrycznego i magnetycznego. Stałe pole magnetyczne zmienia również przewodność elektryczną cieczy oraz wywołuje dodatkowe momenty magnetyczne. Podczas oddziaływania silnym polem magnetycznym na ciecz zmieniają się jej właściwości takie jak napięcie powierzchniowe, gęstość, lepkość i zwilżalność ciał stałych [Bień i in. 1995, Szczypiorkowski 1993]. Większość z tych modyfikacji występuje okresowo i zanika stopniowo w okresie kilku sekund do kilkudziesięciu godzin, w wyniku ruchu cieczy oraz kontaktu z atmosferą. W przypadku, gdy w namagnesowanych cieczach zachodzą procesy wtórne zmiany te są nieodwracalne [Krzemieniewski i in. 2004, Krzemieniewski i in. 2003, Bień i in. 1995].

W zakresie oczyszczania ścieków pole magnetyczne znajduje wiele zastosowań. Pole magnetyczne było stosowane do usuwania barwy i metali ciężkich [Zaidi i in. 2014]. Zastosowanie pola magnetycznego w przypadku oczyszczania ścieków pozwoliło między innymi, na wydzielenie z cieczy cząstek mikronowych wielkości, odzysk enzymów, zmniejszenia czasu opadania cząstek z oleju. Zastosowanie pola magnetycznego wpływa na wydajny proces koagulacji [Gokon i in. 2002], który może być wykorzystany do usunięcia zawiesin i fosforanów z roztworów wod-

nych. Pole magnetyczne i elektromagnetyczne z pozytywnym skutkiem wykorzystywano również jako element wspomagający kondycjonowanie i odwadnianie osadów ściekowych [Krzemieniewski i in. 2003b, Dębowski i in. 2002, Bień i in. 2000, Bień, Kamizela 2000, Wolny, Trzepizur 1999]. Nowatorskim zabiegiem jest zastosowanie stałego pola magnetycznego w celu poprawienia przebiegu reakcji Fentona w degradacji związków organicznych w ściekach i osadach ściekowych [Dębowski i in. 2007].

Możliwości aplikacyjne pola magnetycznego są szerokie, ale jak podkreśla wielu autorów niezbędne jest poszerzenie wiedzy dotyczącej wpływu pola magnetycznego na właściwości cieczy. Ze względu na właściwości pola magnetycznego zbadano wpływ wielkości indukcji pola magnetycznego na efektywność natleniania cieczy (OC).

MATERIAŁY I METODY

Do zlewki o pojemności 1 litra wprowadzono wodę wodociągową. Badania prowadzono w temperaturze $24 \pm 1^\circ\text{C}$, przy pH 8,25. Wodę odtleniono za pomocą siarczanu (IV) sodu w obecności katalizatora, którym były jony Co^{+2} . Ilość katalizatora potrzebną do całkowitego odtlenienia wody obliczono według wzoru:

$$A = C \times V \times k \quad (1)$$

gdzie: C – stężenie tlenu oznaczone w wodzie przed odtlenieniem ($\text{mg O}_2/\text{l}$),
 V – objętość odtlenionej wody w komorze napowietrzania (l),
 k – stechiometryczna ilość siarczanu (IV) sodu odpowiadająca 1 mg usuwanego tlenu (siarczan bezwodny $k = 8$)

Napowietrzanie odbywało się przez dyfuzor drobnopęcherzykowy z intensywnością 58 l/h. Pomiar wartości stężenia tlenu odbywał się w odstępach czasu 1, 3, 5, 7, 10 min i dalej co 5 minut za pomocą tlenomierza (NWR OX4000H). Wartość OC obliczono w oparciu o wartość $\text{tg } \alpha$ na podstawie wzoru:

$$\text{tg } \alpha = \frac{\log \frac{C_s - C_0}{C_s - C_t}}{t - t_0} \quad (2)$$

gdzie: C_s – stężenie tlenu w stanie maksymalnego nasycenia wody,
 C_0 – stężenie tlenu w czasie $t=0$,
 C_t – stężenie tlenu w kolejnych odstępach czasu.

Następnie, ze względu na temperaturę prowadzenia doświadczenia, zdolność natleniania obliczono ze wzoru:

$$OC = 26,1 \cdot \text{tg } \alpha \cdot 0,77 \quad (3)$$

W celu indukcji pola magnetycznego w doświadczeniu wykorzystano magnesy neodymowe o parametrach wymienionych w tabeli 1.

Badania podzielono na trzy serie badawcze różniące się zastosowaną wielkością indukcji magnetycznej oraz serią kontrolną bez indukcji magnetycznej. W serii 1 w dolnej części zlewki zamontowano jeden magnes, w serii 2 dwa magnesy, w serii 3 trzy magnesy. Dodatkowo przy pomocy teslomierza cyfrowego LZ-641H zbadano wielkość indukcji pola magnetycznego wewnątrz układu. W tym celu zanurzano teslomierz w cieczy zaczynając od krawędzi zlewki przy centralnej części zamontowanego magnesu, aż do przeciwnego boku. Odległość między pomiarami wynosiła 2 cm. Punkty pomiarowe w płaszczyznach zlewki A-A, B-B, C-C oraz miejsca zamontowania magnesów przedstawiono na rys. 1.

WYNIKI I DISKUSJA

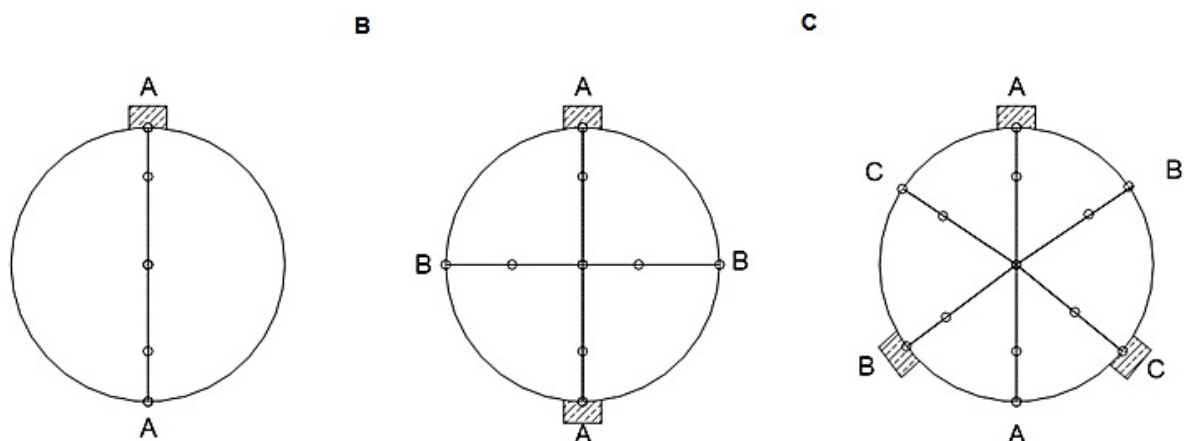
Badano wpływ namagnesowania wody na zdolność natleniania cieczy. W serii 1 wielkość indukcji pola magnetycznego mierzona bez-

pośrednio przy źródle pola wynosiła 20 mT, a w centralnym punkcie zlewki 0,2 mT. Średnia wartość indukcji pola magnetycznego w serii 1 wynosiła 10 mT. W takich warunkach zdolność natleniania w serii 1 wynosiła 75,22 g/(m³·h), a stan maksymalnego nasycenia wody tlenem został osiągnięty w 35 minucie napowietrzania. W serii 2, w której wykorzystano dwa magnesy wartość indukcji pola magnetycznego mierzona bezpośrednio przy źródle pola wynosiła 25,7 mT i spadała równomiernie do osiągnięcia 2 mT w centralnym punkcie zlewki. Średnia wartość indukcji magnetycznej w serii 2 wynosiła 14 mT. Wartość OC w serii 2 wynosiła 77,7 g/(m³·h), a stan maksymalnego nasycenia wody tlenem został osiągnięty, podobnie jak w serii 1, w 35 minucie napowietrzania. Wykorzystanie trzech magnesów spowodowało powstanie pola magnetycznego o indukcji 27 mT (bezpośrednio przy źródle pola), wartość ta spadała równomiernie do 0,8 mT w centralnym punkcie zlewki. Średnia wartość indukcji magnetycznej w serii 3 wynosiła 16 mT. Wartość OC w serii 3 wynosiła 92,57 g/(m³·h), a stan maksymalnego nasycenia wody tlenem został osiągnięty w 25 minucie napowietrzania. W serii kontrolnej bez zastosowania stałego pola magnetycznego zdolność natleniania była najniższa, wynosiła zaledwie 60,5 g/(m³·h). Stan maksymalnego nasycenia wody tlenem w serii kontrolnej został osiągnięty po 35 minucie napo-

Tabela 1. Parametry magnesów neodymowych wykorzystanych w badaniach

Table 1. Parameters of neodymium magnets used in the study

Parametr	Wartość
Średnica	45 ± 0,1 mm
Wysokość	15 ± 0,1 mm
Kierunek magnesowania	wzdłuż wymiaru 15 mm
Powłoka	Nikiel (Ni+Cu+Ni)
Strumień magnetyczny	~61323×10 ⁻³ [mWb], dla K (stała cewki Helmholtz'a) = 4,54×10 ⁻⁴ [m]
Moment magnetyczny	~61323×10 ⁻³ [mWb]×4,54×10 ⁻⁴ [m] = ~27840,642×10 ⁻⁶ [mWb]×[m]
Indukcja magnetyczna w geometrycznym środku powierzchni bieguna magnetycznego przy dystansie 0,7 [mm]	~0,325 [T]
Indukcja magnetyczna blisko krawędzi powierzchni bieguna magnetycznego (maksymalna) przy dystansie 0,7 [mm]	~0,393 [T]
Udźwig	~33,0 [kg]
Gęstość	~7,5 [g/cm ³]
Twardość Vickersa (HV)	~600 [kG/mm ²]
Rezystywność	~144 [uOhm×cm]
Maksymalna temperatura pracy	nie więcej niż 80°C
Indukcja remanencji B _r	1,17–1,21 [T]
Koercja H _{cb}	min. 867 [kA/m]
Koercja H _{cj}	min. 955 [kA/m]
Gęstość energii magnetycznej(BH) _{max}	263–286 [kJ/m ³]



Rys. 1. Punkty pomiarowe w płaszczyznach zlewki oraz miejsca zamontowania magnesów w A) serii 1, B) serii 2, C) serii 3

Fig. 1. Measuring points in the planes of the reactor and the position of magnets in A) series 1, B) series 2, C) series 3

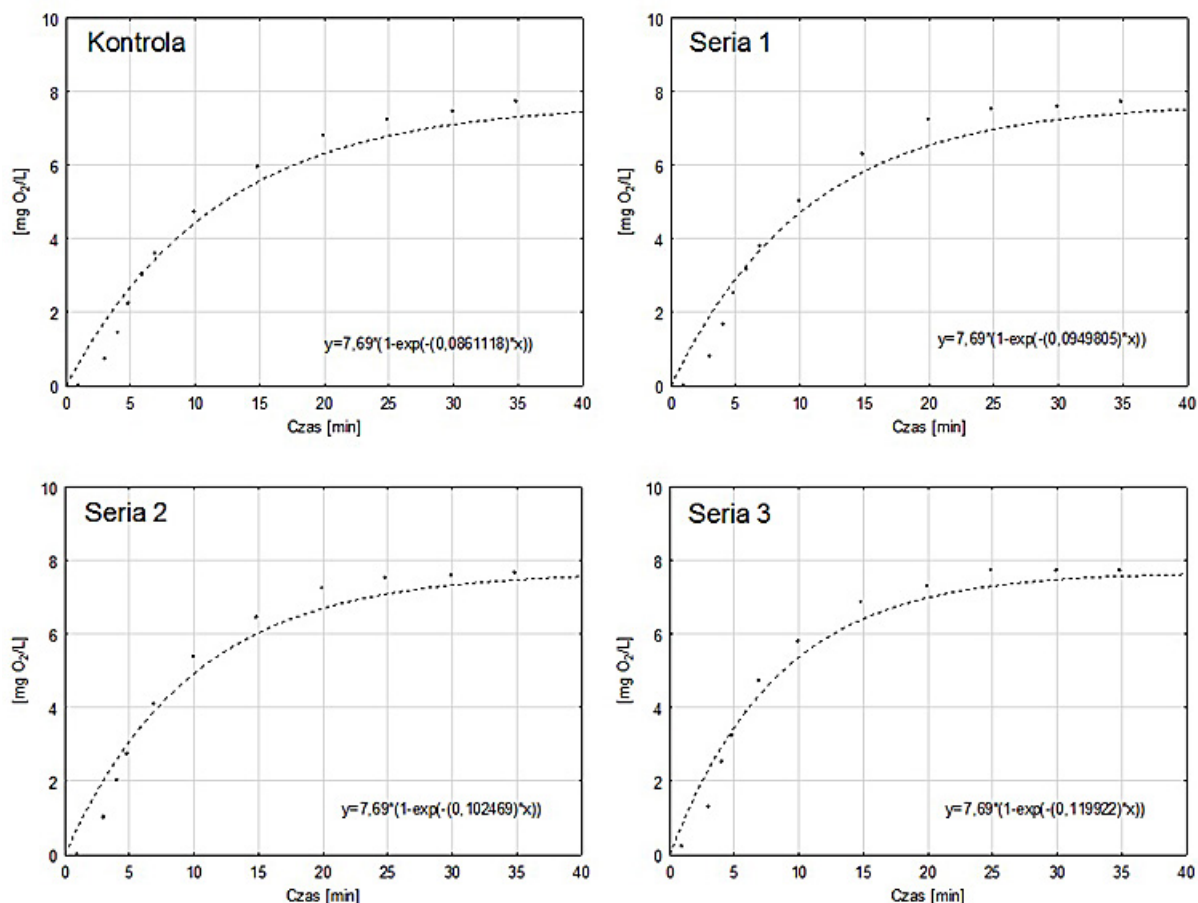
wietrzania. Stan maksymalnego nasycenia tlenem wzrastał wraz ze wzrostem indukcji pola magnetycznego i został osiągnięty najszybciej przy średniej indukcji 16 mT. Na rys. 2 przedstawiono wzrost zawartości tlenu w trakcie przeprowadzonych badań. Wzrost stężenia tlenu w przeprowadzonych doświadczeniach przebiegał według reakcji pierwszego rzędu. Szybkość wzrostu nasycenia wody tlenem w serii kontrolnej wynosiła 0,66 mg/(l·min), w serii 1 0,73 mg/(l·min), w serii 2 0,79 mg/(l·min), a w serii 3 0,92 mg/(l·min).

Badania innych autorów również wskazują na wpływ pola magnetycznego na obecność gazów zawartych w namagnesowanej cieczy. Szczypiorowski, Nowak [1995] wskazują na ograniczenie występowania w ściekach miejskich dwutlenku węgla, ozonu, siarkowodoru i chloru pod wpływem pola magnetycznego. Namagnesowane ciecze podczas kontaktu z atmosferą absorbują paramagnetyczne cząsteczki tlenu, co skutkuje wzrostem stężenia tlenu w cieczy. Wzrost zawartości tlenu może bezpośrednio wpłynąć również na intensyfikację rozkładu związków organicznych poprzez obserwowany również wzrost namnażania drobnoustrojów tlenowych, a co za tym idzie większy stopień rozkładu substancji organicznych [Goldsworthy i in. 1999, Krzemieniewski, Filipkowska 1998]. Stymulowanie wzrostu pewnych grup mikroorganizmów zależy od odpowiednio długiego czasu retencji cieczy w układzie technologicznym będącym pod wpływem pola magnetycznego. Badania wskazują na intensywniejsze wykorzystanie substratów organicznych przez bakterie w ściekach poddanych

namagnesowaniu. Łebkowska [1991] opisuje, że w zakresie indukcji od 0,005 do 0,14 T stałe pole magnetyczne intensyfikuje procesy biodegradacji większości testowanych związków organicznych oraz zanieczyszczeń zawartych w ściekach. Ponadto autorka wskazuje, że pozytywny wpływ pola magnetycznego na rozkład związków organicznych utrzymuje się do około 12 godzin od zakończenia ekspozycji.

Zwiększone natlenienie medium uzyskano również w przypadku paliw płynnych i gazowych, w których strefie przepływu swobodnego następuje nasycenie mieszanki paliwowej tlenem [Krzemieniewski i in. 2003a]. Dzięki czemu warunki spalania takiej mieszanki są zbliżone do optymalnych, czego dowodem jest radykalna redukcja toksycznych substancji w spalinach oraz oszczędność zużycia paliw.

Przedstawione przykłady pozwalają stwierdzić, że wykorzystanie pola magnetycznego może być alternatywną metodą pozwalającą na usprawnienie procesów oczyszczania ścieków. Wprowadzenie magnesów do układu wiąże się z korzyściami ekonomicznymi. Magnesy charakteryzują się nieskomplikowaną konstrukcją i nie wymagają zasilania jakkolwiek formą energii. Dzięki prawidłowej eksploatacji wielkość indukcji pola magnetycznego nie ulega osłabieniu w miarę upływu czasu, przez co mogą być one wykorzystywane przez wiele lat. Pozytywne wyniki badań w skali laboratoryjnej skłaniają do podjęcia prac nad możliwością zastosowania stałego pola magnetycznego do poprawy efektywności napowietrzania w urządzeniach przemysłowych.



Rys. 2. Zmiana zawartości tlenu w wodzie w trakcie napowietrzania w serii kontrolnej oraz przy użyciu pola magnetycznego

Fig. 2. Changes in oxygen concentration in water during aeration in control series and with static magnetic field

Podziękowania

Badania były finansowane w ramach badań statutowych 18.610.008–300, Katedry Inżynierii Środowiska, Wydziału Nauk o Środowisku, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.

LITERATURA

- Bień J., Hałubek P., Kwiecień P. 1995. Badania wpływu pola elektromagnetycznego na parametry charakteryzujące osady ściekowe przy odwadnianiu mechanicznym. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 6, 207–210.
- Bień J., Kamizela T. 2000. Wpływ czasu ekspozycji pola elektromagnetycznego na parametry osadu ściekowego. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 12, 502–506.
- Bień J., Strzelczyk M., Trzepizur M. 2000. Pole ultradźwiękowe i elektromagnetyczne w preparowaniu osadów ściekowych przed ich odwadnianiem. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 3, 109–113.
- Dębowski M., Janczukowicz W., Krzemieniewski M., Pesta J. 2002. Fale elektromagnetyczne i ich wpływ na procesy oczyszczania ścieków. *Ekotechnika*, 3(23), 26–29.
- Dębowski M., Krzemieniewski, M., Zieliński, M. 2007. Constant magnetic field influence on stabilization of excess sludge with Fenton's reagent. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16 (1), 43–50.
- Gokon N., Shimada A., Kaneko H., Tamaura Y., Ito K., Ohara T. 2002. Magnetic coagulation and reaction rate for the aqueous ferrite formation reaction. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 238, 47–55.
- Goldsworthy A., Whitney H., Morris E. 1999. Biological effects of physically conditioned water. *Water Research*, 33(7), 1618–1626.
- Krzemieniewski M., Filipkowska Z. 1998. Effectiveness of indicator microorganism removal on trickling filter with biofilm in magnetic field. *Polish Journal of Environmental Studies*, 7(4), 201–205.
- Krzemieniewski M., Dębowski M., Janczukowicz W., Pesta J. 2003 a. Changes of tap water and fish-

- pond water properties by magnetic treatment. *Polish Journal of Natural Sciences*, 14(2), 459–474.
10. Krzemieniewski M., Dębowski M., Janczukowicz W., Pesta J. 2003 b. Effect of sludge conditioning by chemical methods with magnetic field application. *Polish Journal of Environmental Studies*, 12(5), 595–605.
 11. Krzemieniewski M., Dębowski M., Janczukowicz W., Pesta J. 2004. Effect of the constant magnetic field on composition dairy wastewater and municipal sewage. *Polish Journal of Environmental Studies*, 13(10), 45–53.
 12. Łebkowska M. 1991. Wpływ stałego pola magnetycznego na biodegradację związków organicznych. *Prace naukowe, Inżynieria Sanitarna i Wodna, Zeszyt 13*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
 13. Szczypiorkowski A. 1993. Magnetyzer – nowoczesne urządzenie ekologiczne. *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 10, 258–260.
 14. Szczypiorkowski A., Nowak W. 1995. Badania nad zastosowaniem pola magnetycznego do intensyfikacji procesów oczyszczania ścieków. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2, 31–36.
 15. Wolny L., Trzepizur M. 1999. Możliwości kondycjonowania osadów ściekowych w polu elektromagnetycznym. *Przegląd Komunalny*, 7–8(94–95), 38–40.
 16. Zaidi N.S., Sohaili J., Muda K., Sillanpää. 2014. Magnetic field application and its potential in water and wastewater treatment systems. *Separation and Purification Reviews*, 43, 206–240.