

KLAUDIUSZ GRÜBEL, ALICJA MACHNICKA

Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

ODDZIAŁYWANIE PROMIENIOWANIA MIKROFALOWEGO NA OSAD CZYNNY

Streszczenie. Dezintegracja mikrofalowa osadu czynnego powoduje uwolnienie materii organicznej z fazy stałej do fazy ciekłej. Proces ten skutkuje wzrostem wartości ChZT w cieczy mniej więcej o 1200 mg O₂ na 1 dm³ i stężenia protein mniej więcej o 500 mg/dm³. Promieniowanie mikrofalowe korzystnie wpływa również na zmniejszenie indeksu objętościowego osadu (IOO) z wartości 195 do 54 cm³/g s.m. Przeprowadzone badania potwierdzają, iż zastosowanie fali elektromagnetycznej może stać się nową, korzystną metodą pozwalającą na udoskonalenie procesów oczyszczania ścieków i przeróbki powstających osadów ściekowych.

Słowa kluczowe: osad czynny, dezintegracja mikrofalowa, ChZT, indeks objętościowy osadu

Wstęp

W ostatnich latach niektóre metody dezintegracji stosowane w biotechnologii, tj. trawienie enzymatyczne, liza detergentami i rozpuszczalnikami organicznymi, krojenie, homogenizacja, sonifikacja, rozcieranie, wirowanie różnicowe, wytrząsanie z kulkami szklanymi, szok osmotyczny oraz zamrażanie/rozmarzanie, znalazły również zastosowanie w procesach przeróbki osadów ściekowych. Niszczenie ścian komórkowych mikroorganizmów, a w konsekwencji uwalnianie do otaczającej cieczy substancji wewnątrzkomórkowych, jest prowadzone z zastosowaniem różnorodnych metod dezintegracji.

Wśród stosowanych i badanych w biotechnologii ścieków metod dezintegracji należy wymienić: użycie energii termicznej (WILSON i NOVAK 2009, APPELS i IN. 2010), użycie enzymów (BARJENBRUCH i KOPLOW 2003, ROMAN i IN. 2006), ozonowanie (WEEMAES i IN. 2000, CAMPOS i IN. 2009), zakwaszenie (WOODARD i WUKASCH 1994), alkaliczowanie (VLYSSIDES i KARLIS 2004), użycie wysokiego ciśnienia (GOGATE i PANDIT 2001, GRÜBEL i IN. 2009, MACHNICKA i IN. 2009), rozdrabnianie mechaniczne

(MÜLLER 2000), użycie energii ultradźwięków (BIEŃ i SZPARKOWSKA 2004, WANG i IN. 2006, ANTONIADIS i IN. 2007, ZHANG i IN. 2007), użycie promieniowania mikrofalowego (RADOSZ 2005, JANOSZ-RAJCYK i TOMSKA 2006, KENNEDY i IN. 2007, DĘBOWSKI i ZIELIŃSKI 2009).

Celem stosowania dezintegracji jest uwolnienie do otoczenia enzymów wewnątrzkomórkowych, które powodują bezpośredni rozkład zanieczyszczeń, udostępnienie substancji organicznych dla pozostałej biomasy, uwolnienie substratu organicznego (z osadu nadmiernego), który może być źródłem łatwo przyswajalnego węgla organicznego w procesie denitryfikacji w sytuacji jego niedoboru w dopływających do bioreaktora ściekach oraz możliwość zastosowania dezintegracji do usuwania piany powstającej w bioreaktorach i likwidowania pienienia w komorach fermentacyjnych i osadnikach wtórnych.

Jedną z metod dezintegracji osadów ściekowych jest stosowanie mikrofal. Promieniowanie mikrofalowe to rodzaj promieniowania elektromagnetycznego o długości fali zawierającej się w granicach od 1 m do około 1 mm. Spektrum fali jest zawarte w przedziale pomiędzy podczerwienią a falami ultrakrótkimi, co oznacza zakres od $3 \cdot 10^{-4}$ do $3 \cdot 10^{-1}$ m, częstotliwość $3 \cdot 10^9$ - $3 \cdot 10^{12}$ Hz, a długości λ od 10^{-4} do 10^{-1} m (CIEŚLAR 2005).

Emitowane promieniowanie mikrofalowe rozchodzi się w postaci wzajemnie przenikających się drgań elektrycznych i magnetycznych, które różnią się od innych fal elektromagnetycznych tym, iż generują ruch cząsteczek w zmiennym polu elektrycznym bez naruszania trwałości wiązań chemicznych w nich istniejących. Energia niesiona przez promieniowanie mikrofalowe jest znacznie mniejsza niż energia rozpadu wiązania chemicznego.

Fale elektromagnetyczne podlegają wszystkim zjawiskom fizycznym charakterystycznym dla ruchu falowego, czyli mogą być przepuszczone lub pochłaniane, ulegać odbiciu, załamaniu, ugięciu, interferencji oraz polaryzacji. Promieniowanie mikrofalowe może być pochłaniane przez materię w drodze polaryzacji dipolowej (dielektrycznej), która odpowiada za efekt ogrzewania mikrofalowego, oraz przez przewodnictwo jonowe.

Urządzeniem wykorzystanym do generowania promieniowania mikrofalowego jest magnetron. W pracy magnetronu są wykorzystywane elektrony opóźniane, poruszające się po zwijającej się spirali i emitujące promieniowanie mikrofalowe. W magnetronach energia mikrofal jest generowana z energii elektrycznej. Przemianie ulega około 50% energii przy częstotliwości 2,45 GHz i 85% energii przy częstotliwości 0,915 GHz (DĘBOWSKI i ZIELIŃSKI 2009).

Do podstawowych mechanizmów oddziaływania pola elektromagnetycznego na organizmy żywe należą (DĄBROWSKI 2009): bezpośrednie oddziaływanie na ściany (błony) komórek, co może prowadzić do ich deformacji, depolaryzacji (przebiegunowania elektrycznego), perforacji czy obumarcia; oddziaływanie na ruch jonów w elektrolitach (co może mieć niekorzystne konsekwencje dla przewodnictwa nerwowego); bezpośrednie oddziaływanie na wodę zawartą w tkankach; oddziaływanie na substancje zawarte we krwi (np. żelazo w hemoglobinie).

Pole magnetyczne ma bardzo szerokie spektrum oddziaływania na płyny. W roztworach poddanych działaniu mikrofal zmianom ulegają: struktura molekularna cieczy, polaryzacja i uporządkowanie cząsteczek, ładunek elektryczny. Następują również zmiany w przebiegu zjawisk powierzchniowych, intensyfikacja procesów utleniania i redukcji,

zachodzi wybiórcza jonizacja, zmianie podlegają cechy cieczy takie, jak: gęstość, lepkość, absorpcja światła, zwilżalność ciał stałych (DĘBOWSKI i ZIELIŃSKI 2009).

Promieniowanie mikrofalowe jako źródło energii cieplnej może być także zastosowane w procesach inżynierii środowiska. Proces oczyszczania ścieków prowadzi do wytworzenia dużych ilości osadów, których magazynowanie i późniejsze wykorzystanie jest kosztowne i tylko w niewielkim stopniu zostają one zagospodarowane. Osady ściekowe w swej masie zawierają ponad 70% wody, dzięki czemu mikrofały mogą znacznie wpływać na ich cechy i strukturę. Ponadto w osadzie występują liczne bakterie, pierwotniaki, drożdże, grzyby oraz jaja pasożytów, które pod wpływem pola magnetycznego ulegają destrukcji (RADOSZ 2005).

Zastosowanie promieniowania mikrofalowego w technologii oczyszczania ścieków w ostatnich latach skupiło się wokół higienizacji osadów (RADOSZ 2005), suszenia osadów (DĘBOWSKI i ZIELIŃSKI 2009) oraz polepszenia pracy osadu czynnego (JANOSZ-RAJCZYK i TOMSKA 2006, KENNEDY i IN. 2007).

Material i metoda

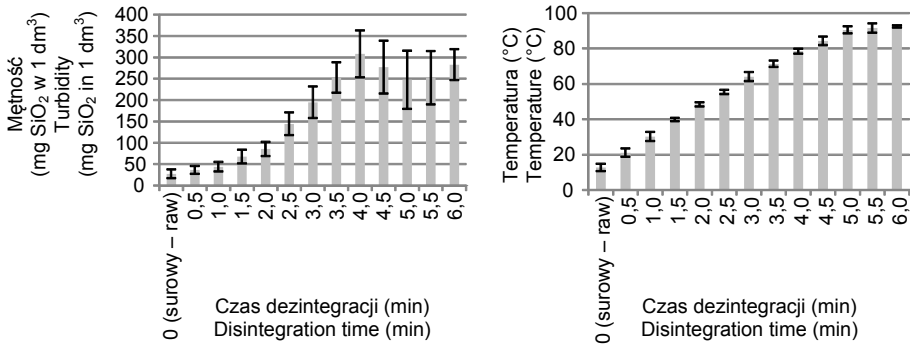
Materiałem do badań był osad czynny z oczyszczalni ścieków stosującej zaawansowane procesy biologicznego oczyszczania ścieków, polegające na równoczesnym usuwaniu związków organicznych oraz związków azotu i fosforu. Oczyszczalnia została zaprojektowana dla przepływu 120 000 m³/d. W chwili obecnej ilość dopływających ścieków wynosi około 90 000 m³/d, czas zatrzymania ścieków – około 14 dni, a stężenie osadu czynnego w bioreaktorze – 4320-4640 mg/dm³.

W pobieranych próbkach osadu czynnego analizowano wartość ChZT (EATON i IN. 2005), oznaczano stężenie protein metodą Lowry (GERHARDT i IN. 2005) oraz zawartość zawiesiny, zmiany mętności i zmiany indeksu objętościowego osadu (IOO) (DOJLIDO i IN. 1999).

Proces dezintegracji prowadzono za pomocą magnetronu z kuchenki mikrofalowej emitującej fale elektromagnetyczne o częstotliwości 2,45 GHz i mocy 900 W. Osad czynny poddawano dezintegracji w interwale czasowym 30 s. Przeprowadzono osiem serii badawczych i obliczono odchylenie standardowe.

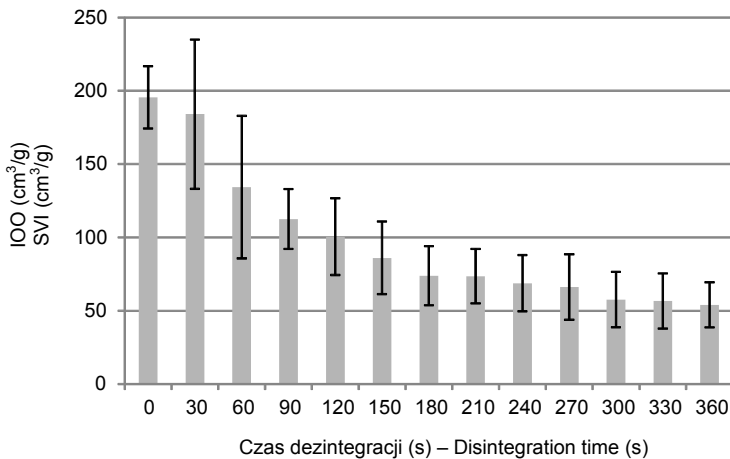
Wyniki i dyskusja

Mikrofalowa dezintegracja osadu czynnego spowodowała zmiany mętności w poszczególnych seriach badawczych, co przedstawia rysunek 1. Wzrost mętności i temperatury był związany z czasem trwania dezintegracji mikrofalowej. Wzrost mętności prób osadu czynnego po destrukcji wskazuje na rozpad kłaczków, niszczenie osłon (ściany komórkowej i błony cytoplazmatycznej) mikroorganizmów, a tym samym uwolnienie materii organicznej do fazy ciekłej. Po 4 min prowadzenia procesu dezintegracji mikrofalowej nastąpił wzrost temperatury próby do około 80°C, co najprawdopodobniej było przyczyną denaturacji białek, a – co za tym idzie – spadku mętności cieczy nadosadowej.



Rys. 1. Zmiana mętności i temperatury cieczy nadosadowej w czasie dezintegracji
 Fig. 1. Change of turbidity and temperature in liquid phase during disintegration

W trakcie badań określano również wpływ promieniowania mikrofalowego na właściwości sedymentacyjne osadu czynnego. Zmiany wartości badanego wskaźnika – IOO – wraz z wydłużeniem czasu działania pola mikrofalowego na próby przedstawiono na rysunku 2.



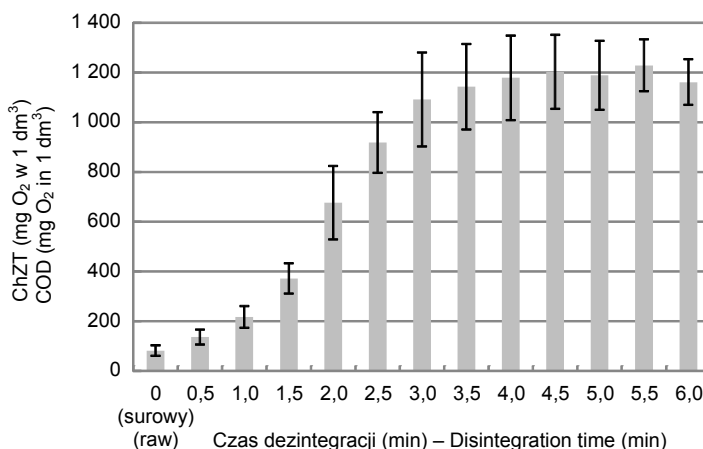
Rys. 2. Zmiana indeksu objętościowego osadu (IOO) w czasie dezintegracji
 Fig. 2. Change of sludge volume index (SVI) during disintegration

Średnie wartości indeksu objętościowego kształtowały się w przedziale 195,5-54,1 cm³/g_{sm}. Jak przedstawiono na rysunku 2, największy spadek wartości indeksu osiągnięto do 3. minuty dezintegracji mikrofalami, uzyskując zmianę o 136,4 cm³/g, co świadczyło o zdecydowanym polepszeniu właściwości sedymentacyjnych osadu, gdyż małe wartości indeksu objętościowego, wynoszące około 100 cm³/g_{sm}, świadczą o dużej zdolności osadu do odwadniania. Dalsze wydłużanie czasu działania promieniowania mikrofalowego nie wpłynęło w decydujący sposób na zmianę analizowanego parametru.

Destrukcyjna mikrofalowa kłaczków i mikroorganizmów osadu czynnego powoduje uwolnienie wody związanej, dzięki czemu następuje szybsze odwodnienie osadu i lepsze jego zagęszczenie. Z przeprowadzonych badań wynika, że potraktowanie osadu czynnego polem elektromagnetycznym przyczynia się do zmiany jego właściwości sedimentacyjnych, tzn. wraz z wydłużaniem czasu dezintegracji mikrofalowej następuje coraz większe zagęszczenie osadu czynnego. Ograniczenie objętości powstającego osadu w skali technicznej mogłoby wpłynąć korzystnie na procesy przeróbki osadów i możliwości ich zagospodarowania, co byłoby pozytywne w aspekcie ekonomicznym.

Efektom destrukcyjnego działania promieniowania mikrofalowego na mikroorganizmy osadu czynnego było uwalnianie do cieczy nadosadowej substancji organicznych wyrażonych wartościami ChZT i stężeniem protein. Z przeprowadzonych badań wynika, że efektywność stosowanego pola elektromagnetycznego jest zależna przede wszystkim od dawki promieniowania (czasu działania). Najskuteczniejszą dawką (czasem działania) było zastosowanie 3-minutowej ekspozycji osadu na działanie mikrofal (rys. 3, 4).

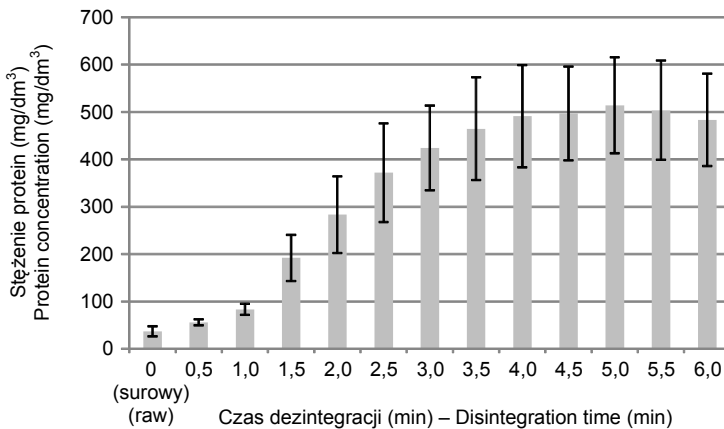
Wartości ChZT zmieniały się średnio od 58,5 mg O₂ w 1 dm³ dla rzeczywistej cieczy nadosadowej aż do 1230 mg O₂ w 1 dm³ dla próbki po 5,5-minutowej ekspozycji na promienie mikrofalowe (rys. 3). Największy wzrost wartości ChZT następował w początkowym okresie poddawania próbek działaniu mikrofal, tj. w okresie od 0 do 3 min, gdzie przyrost wyniósł średnio 1010 mg O₂ w 1 dm³. Dalsze poddawanie próbek dezintegracji mikrofalami spowodowało wzrost wartości ChZT o kolejne 120 mg O₂ w 1 dm³. Największy skok wartości ChZT był widoczny w próbce poddanej 3-minutowemu działaniu mikrofal. Świadczyć to może o tym, iż właśnie ten czas najlepiej wpływa na kłaczkę osadu czynnego i destrukcję komórek mikroorganizmów, a tym samym na uwolnienie materii organicznej do otaczającej cieczy. W rezultacie można wnioskować, iż jest on optymalny dla badanej metody dezintegracji pod względem uwalniania ChZT. Podobne wyniki uzyskali AHN i IN. (2009), wykorzystując mikrofałę o częstotliwości 2,45 GHz i mocy 700 W do dezintegracji. W wyniku prowadzonych



Rys. 3. Zmiana wartości ChZT cieczy nadosadowej w czasie dezintegracji
Fig. 3. Changes of COD value in liquid phase during disintegration

badan uzyskali uwolnienie materii organicznej i wzrost wartości ChZT w cieczy z $0,38 \text{ g/dm}^3$ do $5,52 \text{ g/dm}^3$ po 15 min prowadzenia procesu. DOĞAN i SANIN (2009) uzyskali po 16 min prowadzenia procesu dezintegracji mikrofalowej (częstotliwość 2,45 GHz, moc 600 W) wzrost wartości ChZT w cieczy nadosadowej z 50 mg/dm^3 do 2000 mg/dm^3 . Jeszcze większy wzrost wartości ChZT – do około 4000 mg/dm^3 – uzyskali oni, stosując dwa połączone ze sobą procesy dezintegracji, tj. mikrofae oraz alkalizację próby do pH 12,5.

W celu dodatkowego potwierdzenia uwalniania materii organicznej z osadu czynnego podczas procesu dezintegracji mikrofalowej oznaczano stężenia protein w badanej cieczy nadosadowej. Stężenie protein, podobnie jak zmiana wartości ChZT, wzrastało wraz z czasem prowadzenia procesu dezintegracji mikrofalowej (rys. 4).



Rys. 4. Zmiana stężenia protein w cieczy nadosadowej w czasie dezintegracji

Fig. 4. Change of proteins concentration in liquid phase during disintegration

Stężenie protein do 3. minuty działania mikrofae wzrosło średnio o $284,4 \text{ mg/dm}^3$ w stosunku do zawartości protein w rzeczywistej cieczy nadosadowej, osiągając poziom 424 mg/dm^3 . Dalsza dezintegracja próbek spowodowała wzrost stężenia maksymalnie tylko o 90 mg/dm^3 (rys. 4). Podobnie AHN i IN. (2009) uzyskali wzrost stężenia protein w wyniku dezintegracji mikrofalowej, wykorzystując mikrofae o częstotliwości 2,45 GHz i mocy 700 W. Należy odnotować, iż stężenie protein wzrastało w pierwszych 7 min prowadzenia procesu, a następnie zaczęło się zmniejszać. Prawdopodobnie przyczyną tego była denaturacja białek w wyniku wzrostu temperatury – dla czasu dezintegracji 9 min wspomniani autorzy odnotowali gotowanie próbki.

Zmiany stężenia protein potwierdziły spostrzeżenie o największej skuteczności oddziaływania promieniowania mikrofalowego na osad czynny w czasie pierwszych 3 min. AHN i IN. (2009) w prowadzonych przez siebie badaniach stwierdzili, iż optymalnym czasem dezintegracji mikrofalowej (mikrofae o częstotliwości 2,45 GHz i mocy 700 W) jest pierwsze 5 min prowadzenia procesu.

Wnioski

Badania dotyczące możliwości zastosowania promieniowania mikrofalowego do dezintegracji osadu czynnego wykazały, iż działanie pola elektromagnetycznego wpływa destrukcyjnie na kłaczkę i mikroorganizmy osadu czynnego.

Poddawanie osadu czynnego działaniu fal magnetycznych powoduje:

- polepszenie właściwości sedymentacyjnych osadu,
- zmniejszenie indeksu objętościowego osadu z wartości średniej 195 do 54 cm³/g s.m.,
- rozbięcie jednolitej struktury osadu i uwolnienie materii organicznej,
- uwolnienie materii organicznej do cieczy nadosadowej, o czym świadczył wzrost wartości ChZT z 58 do około 1300 mg O₂ w 1 dm³ i stężenia protein z 26 do około 510 mg/dm³.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zastosowanie promieniowania elektromagnetycznego może stać się nową, korzystną metodą udoskonalenia procesów oczyszczania ścieków i przeróbki powstających osadów ściekowych.

Literatura

- AHN J.-H., SHIN S.G., HWANG S., 2009. Effect of microwave irradiation on the disintegration and acidogenesis of municipal secondary sludge. *Chem. Eng. J.* 153: 145-150.
- ANTONIADIS A., POULIOS I., NIKOLAKAKI E., MANTZAVINOS D., 2007. Sonochemical disinfection of municipal wastewater. *J. Hazard. Mater.* 146: 492-495.
- APPELS L., DEGRČVE J., VAN DER BRUGGEN B., VAN IMPE J., DEWIL R., 2010. Influence of low temperature thermal pre-treatment on sludge solubilisation, heavy metal release and anaerobic digestion. *Bioresour. Technol.* 101: 5743-5748.
- BARJENBRUCH M., KOPLOW O., 2003. Enzymatic, mechanical and thermal pre-treatment of surplus sludge. *Adv. Environ. Res.* 7: 715-720.
- BIEŃ J., SZPARKOWSKA J., 2004. Alkaliczne i ultradźwiękowe kondycjonowanie osadu nadmiernego przed procesem stabilizacji beztlenowej. *Gaz Woda Tech. Sanit.* 9: 316-320.
- CAMPOS J.L., OTERO L., FRANCO A., MOSQUERA-CORRAL A., ROCA E., 2009. Ozonation strategies to reduce sludge production of a seafood industry WWTP. *Bioresour. Technol.* 100: 1069-1073.
- CIEŚLAR K., 2005. Kuchenka mikrofalowa – czy może być niebezpieczna? Instytut Fizyki UJ, Kraków.
- DĄBROWSKI J., 2009. Kuchenki mikrofalowe – precz z naszych kuchni. [www.eioba.pl/a/21il/kuchenki-mikrofalowe-precz-z-naszyc-kuchni-jednak-nie-tylko-o-tym-art].
- DĘBOWSKI M., ZIELIŃSKI M., 2009. Możliwość zastosowania promieniowania mikrofalowego w procesach suszenia osadów powstających podczas oczyszczania ścieków. *Woda Ścieki* 1: 8-11.
- DOĞAN I., SANIN F.D., 2009. Alkaline solubilization and microwave irradiation as a combined sludge disintegration and minimization method. *Water Res.* 43: 2139-2148.
- DOJLIDO J., DOŻAŃSKA W., HERMANOWICZ W., KOZIOROWSKI B., ZERBE J., 1999. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady, Warszawa.
- EATON A.D., CLESCERI L.S., GREENBERG A.E., FRANSON M.A.H., 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington.
- GERHARDT P., MURRAY R.G.E., WOOD W.A., KRIEG N.R., 2005. Methods for general and molecular bacteriology. American Society for Microbiology, Washington.

- GOGATE P.R., PANDIT A.B., 2001. Hydrodynamic cavitation reactors: a state of the art review. *Rev. Chem. Eng.* 17.
- GRÜBEL K., MACHNICKA A., SUSCHKA J., 2009. Scum hydrodynamic disintegration for waste water treatment efficiency upgrading. *Ecol. Chem. Eng. S / Chem. Inż. Ekol. S* 16: 359-367.
- JANOSZ-RAJCYK M., TOMSKA A., 2006. Wpływ pola magnetycznego na proces oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego. *Gaz Woda Tech. Sanit.* 2: 28-31.
- KENNEDY K.J., THIBAUT G., DROSTE R.L., 2007. Microwave enhanced digestion of aerobic SBR sludge. *Water S A (Pretoria)* 33: 261-270.
- MACHNICKA A., GRÜBEL K., SUSCHKA J., 2009. The use of disintegrated foam to accelerate anaerobic digestion of activated sludge. *Arch. Environ. Prot.* 35: 11-19.
- MÜLLER J., 2000. Disintegration as key-stop in sewage sludge treatment. *Water Sci. Technol.* 41: 123-139.
- RADOSZ M., 2005. Badania nad możliwością zastosowania mikrofal do higienizacji osadów ściekowych. *Gaz Woda Tech. Sanit.* 2: 24-26.
- ROMAN H.J., BURGESS J.E., PLETSCHKE B.I., 2006. Enzyme treatment to decrease solids and improve digestion of primary sewage sludge. *Afr. J. Biotechnol.* 5: 963-967.
- VLYSSIDES A.G., KARLIS P.K., 2004. Thermal-alkaline solubilization of waste activated sludge as a pre-treatment stage for anaerobic digestion. *Bioresour. Technol.* 91: 201-206.
- WANG F., LU S., JI M., 2006. Components of released liquid from ultrasonic waste activated sludge disintegration. *Ultrason. Sonochem.* 13: 334-338.
- WEEMAES M., GROOTAERD H.M., SIMOENS F., VERSTRAETA W., 2000. Anaerobic digestion of ozonized biosolids. *Water Res.* 34: 2330-2336.
- WILSON CH.A., NOVAK J.T., 2009. Hydrolysis of macromolecular components of primary and secondary wastewater sludge by thermal hydrolytic pretreatment. *Water Res.* 43: 4489-4498.
- WOODARD S.E., WUKASCH R.F., 1994. A hydrolysis/thickening/filtration process for the treatment of waste activated sludge. *Water Sci. Technol.* 30: 29-38.
- ZHANG G., ZHANG P., YANG J., CHENA Y., 2007. Ultrasonic reduction of excess sludge from the activated sludge system. *J. Hazard. Mater.* 145: 515-519.

IMPACT OF MICROWAVES IRRADIATION ON ACTIVATED SLUDGE

Summary. Microwave disintegration of activated sludge causes organic matter transfer from the solid phase to the liquid phase. This process results in an increase of the COD value in liquid phase about 1200 mg O₂ per 1 dm³ and protein concentration about 500 mg/dm³. Microwave radiation positively influences the sludge volume index (SVI) decrease from 195 to 54 cm³/g d.m. Our research confirmed that the application of an electromagnetic waves may become a new effective way of improving sewage treatment and processing sewage sludge.

Key words: activated sludge, microwaves disintegration, COD, sludge volume index (SVI)

Grübel K., Machnicka A., 2011. Oddziaływanie promieniowania mikrofalowego na osad czynny. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #67.

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Klaudiusz Grübel, Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Poland, e-mail: kgrubel@ath.bielsko.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

16.08.2011

Do cytowania – For citation:

*Grübel K., Machnicka A., 2011. Oddziaływanie promieniowania mikrofalowego na osad czynny. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #67.*