

Klaudiusz GRÚBEL<sup>1</sup> i Alicja MACHNICKA<sup>1</sup>

## ODDZIAŁYWANIE DEZINTEGRACJI MIKROFALOWEJ NA OSAD CZYNNY

### IMPACT OF MICROWAVES DISINTEGRATION ON ACTIVATED SLUDGE

**Abstrakt:** Dezintegracja mikrofalowa osadu czynnego powoduje uwolnienie materii organicznej z fazy stałej do fazy ciekłej. Proces ten skutkuje wzrostem wartości ChZT w cieczy o ok. 614 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Promieniowanie mikrofalowe korzystnie wpływa również na zmniejszenie indeksu objętościowego osadu (IOO) z wartości 195 do 54 cm<sup>3</sup>/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

Niszczenie ścian komórkowych mikroorganizmów, a w konsekwencji uwalnianie do otaczającej cieczy substancji wewnątrzkomórkowych prowadzone jest z zastosowaniem różnorodnych metod dezintegracji. Do najczęściej stosowanych metod destrukcji komórek należy zaliczyć: trawienie enzymatyczne, liżę detergentami i rozpuszczalnikami organicznymi, krojenie, homogenizację, sonifikację, rozcieranie, wirowanie różnicowe, wytrząsanie z kulkami szklanymi, szok osmotyczny oraz zamrażanie/rozmarzanie.

W ostatnich latach niektóre metody dezintegracji stosowane w biotechnologii znalazły również zastosowanie w procesach przeróbki osadów ściekowych. Wśród stosowanych i badanych metod należy wymienić:

- użycie energii termicznej [1, 2],
- użycie enzymów [3, 4],
- ozonowanie [5, 6],
- zakwaszanie [7],
- alkalizowanie [8],
- użycie wysokiego ciśnienia [9, 10],
- rozdrabnianie mechaniczne [11],
- użycie energii ultradźwięków [12, 13],
- użycie promieniowania mikrofalowego [14-16].

Do najważniejszych celów stosowania dezintegracji należy zaliczyć:

- uwolnienie do otoczenia enzymów wewnątrzkomórkowych, które powodują bezpośredni rozkład zanieczyszczeń,
- udostępnienie substancji organicznych, do których pozostała biomasa ma łatwiejszy dostęp (w przypadku dezintegracji części osadu czynnego czy też osadu w komorach fermentacyjnych),

---

<sup>1</sup> Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Wydział Nauk o Materiałach i Środowisku, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biała, tel. 33 827 91 57, fax 33 827 91 01, email: kgrubel@ath.bielsko.pl

- uwolnienie substratu organicznego (w przypadku dezintegracji osadu nadmiernego), który może być źródłem łatwo przyswajalnego węgla organicznego dla procesu denitryfikacji, w sytuacji jego niedoboru w dopływających ściekach do bioreaktora,
- możliwość zastosowania dezintegracji w procesach oczyszczania ścieków 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 zawarte jest w przedziale pomiędzy podczerwienią i falami ultrakrótkimi, co oznacza zakres  $3 \times 10^{-4}$  m do  $3 \times 10^{-1}$  m, częstotliwość  $= 3 \cdot 10^9 \div 3 \cdot 10^{12}$  Hz, a długości  $\lambda = 10^{-4} \div 10^{-1}$  m [17].

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

Fale elektromagnetyczne podlegają wszystkim zjawiskom fizycznym charakterystycznym dla ruchu falowego. Mogą być przepuszczone lub pochłonięte, ulegają odbiciu, załamaniu, ugięciu, interferencji oraz polaryzacji.

Promieniowanie mikrofalowe może być pochłaniane przez materię na drodze polaryzacji dipolowej (dielektryczna), która odpowiada za efekt ogrzewania mikrofalowego oraz poprzez przewodnictwo jonowe.

Mikrofałe w sposób negatywny oddziałują na organizm żywy. Do podstawowych mechanizmów oddziaływania pola elektromagnetycznego na organizmy należą [18]:

- bezpośrednie oddziaływanie na ściany (błony) komórek, co może prowadzić do ich: deformacji, depolaryzacji (przebiegunowania elektrycznego komórki), perforacji czy obumarcia komórki;
- 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).

Promieniowanie mikrofalowe jako źródło energii cieplnej zastosowane zostało także 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 mikrofałe 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 [14].

### **Materiał i metodyka badań**

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  $120\,000\text{ m}^3/\text{d}$ . Obecnie ilość dopływających ścieków wynosi

ok 90 000 m<sup>3</sup>/d, czas zatrzymania ścieków ok. 14 dni, a stężenie osadu czynnego w bioreaktorze 4320÷4640 mg/dm<sup>3</sup>.

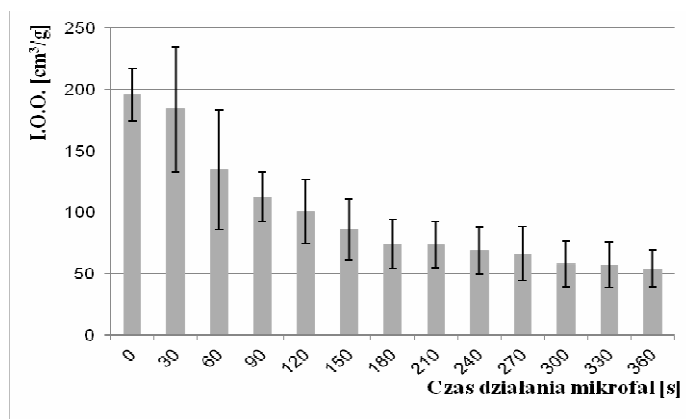
W pobieranych próbkach osadu czynnego analizowano wartość ChZT [18], oznaczano stężenie protein metodą Lowry [19] oraz zawartość zawiesiny, zmiany mętności i zmiany indeksu objętościowego osadu (IOO). Proces dezintegracji prowadzono przy pomocy mikrofalówki emitującej fale elektromagnetyczne o częstotliwości 2,45 GHz i mocy 900 W. Osad czynny poddawano dezintegracji w interwale czasowym 30 s. Przeprowadzono 10 serii badawczych i obliczono odchylenie standardowe.

### Omówienie wyników badań

Mikrofalowa dezintegracja osadu czynnego spowodowała zmiany mętności w poszczególnych seriach badawczych. Wzrost mętności związany był z czasem trwania dezintegracji mikrofalowej, która w znaczący sposób wpływała na rozpad kłaczków, rozpad komórek mikroorganizmów i uwalnianie materii organicznej do badanej cieczy.

W trakcie badań określano również wpływ promieniowania mikrofalowego na właściwości sedymentacyjne osadu czynnego.

Średnie wartości indeksu objętościowego kształtowały się w przedziale 195,5÷54,1 cm<sup>3</sup>/g s.m. Jak przedstawiono na rysunku 1, największy spadek wartości indeksu osiągnięto do 3 minuty dezintegracji mikrofalami, uzyskując zmianę o 136,4 cm<sup>3</sup>/g, co świadczyło o zdecydowanym polepszeniu właściwości sedymentacyjnych osadu, gdyż małe wartości indeksu objętościowego, w granicach 100 cm<sup>3</sup>/g s.m., świadczą o dużej zdolności osadu do odwadniania. Dalsze wydłużanie czasu działania promieniowania mikrofalowego nie wpłynęło w decydujący sposób na zmianę analizowanego parametru.



Rys. 1. Zmiana IOO osadu wraz z czasem działania dezintegracji mikrofalowej

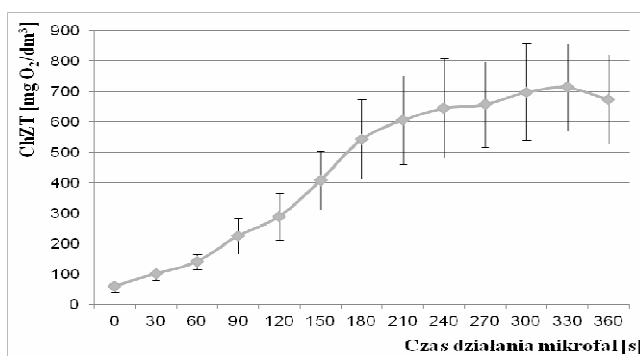
Fig. 1. Changes of sludge volume index with time of disintegration

Destrukcja mikrofalowa kłaczków i mikroorganizmów osadu czynnego powoduje uwolnienie wody związanej, dzięki czemu następuje szybsze odwodnienie osadu i lepsze zagęszczenie. Z przeprowadzonych badań wynika, że potraktowanie osadu czynnego polem elektromagnetycznym przyczynia się do zmiany właściwości sedymentacyjnych osadu

czynnego, tzn. wraz z wydłużaniem czasu dezintegracji mikrofalowej następowało coraz większe zagęszczenie osadu czynnego. Ograniczenie objętości powstającego osadu w skali technicznej mogłoby wpłynąć korzystnie na procesy przeróbki osadów, możliwości ich zagospodarowania, co mogłoby mieć także pozytywne odbicie w aspektach ekonomicznych.

Efektem destrukcyjnego działania promieniowania mikrofalowego na mikroorganizmy osady 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.

Wartości ChZT zmieniały się średnio od  $58,5 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  dla rzeczywistej cieczy nadosadowej aż do  $712,4 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  dla próbki po 5,5-minutowej ekspozycji na promienie mikrofalowe (rys. 2). Największy wzrost wartości ChZT następował w początkowym okresie poddawania próbek działaniu mikrofal, tj. w okresie od 0 do 3 minut, gdzie przyrost wyniósł średnio  $482,7 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . Dalsze poddawanie próbek dezintegracji mikrofalami spowodowało wzrost o kolejne  $171,2 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ . Największy skok wartości ChZT widoczny był przy próbce, która poddana była 3-minutowemu działaniu mikrofal, gdzie wzrost wskaźnika osiągnął  $135,2 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  (pomiędzy 2,5 i 3 minutami).



Rys. 2. Zmiana wartości ChZT cieczy nadosadowej wraz z czasem dezintegracji

Fig. 2. Changes of COD in liquid phase with time of disintegration

Użycie mikrofal wpływa na wzrost stosunku rozpuszczonego ChZT (sCOD - *soluble chemical oxygen demand*) do ChZT całkowitego (tCOD - *total Chemical Oxygen Demand*), czego odzwierciedleniem w osadzie jest podwyższona zawartość substancji organicznych uwolnionych z kłaczków osadu.

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.

Zmiany stężenia protein potwierdziły spostrzeżenie o najwyższej skuteczności oddziaływania promieniowania mikrofalowego w ciągu pierwszych trzech minut na osad czynny.

## Wnioski

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

Poddawanie osadu czynnego działaniu fal magnetycznych powoduje:

- polepszenie właściwości sedimentacyjnych osadu,
- zmniejszenie indeksu objętościowego osadu z wartości 195,5 do 54,1 cm<sup>3</sup>/g s.m.,
- rozbitcie jednolitej struktury osadu i uwolnienie materii organicznej,
- uwolnienie materii organicznej do cieczy nadosadowej, o czym świadczył wzrost wartości ChZT z 58,5 do 673 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>.

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

## Literatura

- [1] Appels L., Degrève J., van Der Bruggen B., van Impe J. i Dewil R.: *Influence of low temperature thermal pre-treatment on sludge solubilisation, heavy metal release and anaerobic digestion*. Bioresource Technol., 2010, **101**, 5743-5748.
- [2] Wilson CH.A. i Novak J.T.: *Hydrolysis of macromolecular components of primary and secondary wastewater sludge by thermal hydrolytic pretreatment*. Water Res., 2009, **43**, 4489-4498.
- [3] Barjenbruch M. i Kopplow O.: *Enzymatic, mechanical and thermal pre-treatment of surplus sludge*. Adv. Environ. Res., 2003, **7**, 715-720.
- [4] Roman H.J., Burgess J.E. i Pletschke B.I.: *Enzyme treatment to decrease solids and improve digestion of primary sewage sludge*. Afric. J. Biotechnol., 2006, **5**, 963-967.
- [5] Campos J.L., Otero L., Franco A., Mosquera-Corral A. i Roca E.: *Ozonation strategies to reduce sludge production of a seafood industry WWTP*. Bioresource Technol., 2009, **100**, 1069-1073.
- [6] Weemaes M., Grootaerd H.M., Simoens F. i Verstraete W.: *Anaerobic digestion of ozonized biosolids*. Water Res., 2000, **34**, 2330-2336.
- [7] Woodard S.E. i Wukasch R.F.: *A hydrolysis/thickening/filtration process for the treatment of waste activated sludge*. Water Sci. Technol., 1994, **30**, 29-38.
- [8] Vlyssides A.G. i Karlis P.K.: *Thermal-alkaline solubilization of waste activated sludge as a pre-treatment stage for anaerobic digestion*. Bioresource Technol., 2004, **91**, 201-206.
- [9] Gogate P.R. i Pandit A.B.: *Hydrodynamic cavitation reactors: a state of the art review*. Rev. Chem. Eng., 2001, **17**, 1-85.
- [10] Grübel K., Machnicka A. i Suschka J.: *Scum hydrodynamic disintegration for waste water treatment efficiency upgrading*. Ecol. Chem. Eng. S, 2009, **16**(3), 359-367.
- [11] Müller J.: *Disintegration as key-stop in sewage sludge treatment*. Water Sci. Technol., 2000, **41**, 123-139.
- [12] Antoniadis A., Poullos I., Nikolakaki E. i Mantzavinos D.: *Sonochemical disinfection of municipal wastewater*. J. Hazard. Mater., 2007, **146**, 492-495.
- [13] Zhang G., Zhang P., Yang J. i Chena Y.: *Ultrasonic reduction of excess sludge from the activated sludge system*. J. Hazard. Mater., 2007, **145**, 515-519.
- [14] Radosz M.: *Badania nad możliwością zastosowania mikrofal do higienizacji osadów ściekowych*. Gaz, Woda Techn. Sanit., 2005, **2**, 24-26.
- [15] Kennedy K.J., Thibault G. i Droste R.L.: *Microwave enhanced digestion of aerobic SBR sludge*. Water SA, 2007, **33**, 261-270.
- [16] Dębowski M. i Zieliński M.: *Możliwość zastosowania promieniowania mikrofalowego w procesach suszenia osadów powstających podczas oczyszczania ścieków*. Woda i Ścieki 2009, **1**, 8-11.
- [17] Cieślak K.: *Kuchenka mikrofalowa - czy może być niebezpieczna?* Foton 2005, 89, 56-59.
- [18] Eaton A.D., Clesceri L.S., Greenberg A.E. i Franson M.A.H.: *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21<sup>st</sup> ed. American Public Health Association, Washington 2005.

- [19] Gerhardt P., Murray R.G.E., Wood W.A. i Krieg N.R.: Methods for General and Molecular Bacteriology. ASM, Washington 2005.

## **IMPACT OF MICROWAVES DISINTEGRATION ON ACTIVATED SLUDGE**

Institute of Environmental and Protection Engineering, Faculty of Materials and Environment Sciences  
University of Bielsko-Biala

**Abstract:** 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 by ca 614 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Microwave radiation positively influences the *sludge volume index* (SVI) decrease from 195 to 54 cm<sup>3</sup>/g s.s. Our research confirmed that the application of an electromagnetic wave may become a new effective way of improving sewage treatment and processing sewage sludge.

**Keywords:** activated sludge, microwave disintegration, COD, sludge volume index (SVI)