

*dezintegracja ultradźwiękowa, fermentacja metanowa,
osady ściekowe, biogaz*

Anna HAJDUK*, Marcin DĘBOWSKI*, Marcin ZIELIŃSKI*,
Izabella KŁODOWSKA*, Piotr ROZPONDEK*, Magdalena ROKICKA*,
Karolina KUPCZYK*, Dawid SZWARC*, Beata ŁĄCZYŃSKA**

DEZINTEGRACJA OSADÓW ŚCIEKOWYCH W ULTRADŹWIĘKOWYM REAKTORZE CYRKULACYJNYM

Rozwój nowoczesnych technologii, a także wzrost efektywności procesów biologicznego oczyszczania ścieków bezpośrednio przyczynia się do zwiększenia ilości powstających osadów nadmiernych [3, 6]. Konieczność ograniczenia kosztów związanych z przeróbką i zagospodarowaniem osadów ściekowych wymusza konieczność opracowania metod optymalizujących tego rodzaju procesy [1]. Przykładem tego typu rozwiązania jest zastosowanie ultradźwiękowej dezintegracji, która stymuluje przebieg beztlenowej stabilizacji osadów [4]. W publikacji przedstawiono wyniki prac badawczych nad procesem dezintegracji ultradźwiękowej oraz zaprezentowano jej wpływ na zmiany parametrów fizykochemicznych osadów oraz efektywność procesu fermentacji metanowej osadów ściekowych.

1. WSTĘP

Funkcjonowanie biologicznych systemów oczyszczania ścieków jest nierozwalnie związane z koniecznością prowadzenia odpowiedniej gospodarki osadami ściekowymi. Jednym z kierunków rozwoju metod postępowania z tego typu odpadami jest wykorzystanie biologicznych procesów stabilizacji, opartych na fermentacji metanowej. Jedną z korzyści tego typu rozwiązań jest zwiększenie wydajności produkcji biogazu [5].

* Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Inżynierii Środowiska, ul. Oczapowskiego 2, 10-719 Olsztyn, anna.hajduk@uwm.edu.pl.

** Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Ichtiologii, ul. Oczapowskiego 2, 10-719 Olsztyn.

Zgodnie z obecnie obowiązującym stanem prawnym neutralizacja osadów ściekowych poprzez ich składowanie jest zabroniona [13]. W związku z tym faktem, preferowanym kierunkiem zagospodarowania osadów ściekowych jest ich przyrodnicze lub rolnicze wykorzystanie. Osady przeznaczone do recyklingu w środowisku muszą spełniać odpowiednie wymogi dotyczące składu chemicznego oraz cech higieniczno-sanitarnych. Odpowiednie właściwości fizyko-chemiczne osadów ściekowych przeznaczonych na ten cel można osiągnąć w procesie fermentacji metanowej. Jest to kaskada przemian biochemicznych, podczas której wielkocząsteczkowe związki organiczne ulegają rozkładowi do metanu i dwutlenku węgla [2, 10, 16]. Proces ten przebiega w warunkach beztlenowych w następujących po sobie fazach hydrolizy, kwasogenezy, octanogenezy, metanogenezy prowadzonych przez różne grupy organizmów [14]. Produktem końcowym beztlenowej stabilizacji jest osad pofermentacyjny o zmniejszonej ilości związków organicznych oraz biogaz, składający się głównie z metanu i dwutlenku węgla [1]. Głównym celem prowadzenia fermentacji osadów ściekowych jest ograniczenie ich zdolności do zagniwania oraz uzyskanie osadów podatnych na odwadnianie oraz bezpiecznych pod względem sanitarnym [7]. Proces beztlenowej stabilizacji osadów ściekowych można zintensyfikować dzięki zastosowaniu wstępnej dezintegracji osadów nadmiernych w polu ultradźwiękowym [8].

Dezintegracja osadów jest procesem mającym na celu doprowadzenie do rozerwania wiązań między komórkami mikroorganizmów, zniszczenie tych komórek wraz z uwolnieniem substancji organicznych w nich zawartych oraz wody biologicznej, co wpływa pozytywnie na dalsze etapy przeróbki tych osadów. Proces ten prowadzi także do przyspieszenia procesu hydrolizy poprzez uwolnienie enzymów zawartych w komórkach [12, 15]. Wyróżnić można dwa rodzaje efektów dezintegracji ultradźwiękowej, a mianowicie bezpośrednie i technologiczne. Do pierwszych zalicza się hydrolizę i rozdrobnienie cząstek fazy stałej osadów. Ocenę efektów bezpośrednich dokonuje się na podstawie wskaźników dezintegracji m.in.: w oparciu o ChZT w cieczy osadowej, odwadnialność osadów, a także badanie aktywności oddechowej, zawartości białek oraz analizę zmian struktury i wielkości kłaczków [11, 10]. Efekty technologiczne z kolei obserwuje się i bada w kolejnych etapach przeróbki osadów. W przypadku fermentacji metanowej efektem oczekiwanym jest wzrost produkcji biogazu, zwiększenie koncentracji metanu w biogazie, ograniczenie ilości osadów przefermentowanych oraz poprawa podatności na odwadnianie [17]. Osad wstępny powstaje w wyniku procesów mechanicznych i stanowi głównie zawieszinę łatwo opadającą, która jest podatna na procesy biologicznego rozkładu w warunkach. Z tego względu obróbce wstępnej poddaje się zwykle strumień osadu nadmiernego.

Celem przedstawionych zagadnień i wykonanych badań jest analiza wpływu procesu dezintegracji ultradźwiękowej osadów ściekowych na zmiany parametrów fizykochemicznych osadów oraz przebieg fermentacji metanowej.

2. MATERIAŁY I METODY

W badaniach wykorzystano wstępnie zagęszczony surowy osad nadmierny. Charakterystykę osadów surowych wykorzystanych w badaniach przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Charakterystyka surowych osadów ściekowych testowanych podczas eksperymentów

Parametr	Jednostka	Wartość
pH	-	6,23
CSK	[s]	92
ChZT odcieku	mgO ₂ ·dm ⁻³	262
Sucha masa	g·dm ⁻³	45,89
Sucha masa organiczna	g·dm ⁻³	34,8
Sucha masa mineralna	g·dm ⁻³	11,09

Podczas eksperymentów stosowano dezintegrator ultradźwiękowy składający się z komory wyposażonej w głowice ultradźwiękowe o wymiarach 0,68 x 0,08 (wys. x szer.), dopływu i spustu osadów oraz stacji zasilającej. Urządzenie to posiada dziesięć głowic ultradźwiękowych o następujących parametrach: napięcie zasilające 230 V 50 Hz, częstotliwość ultradźwięków 35 kHz ± 5% oraz gęstość mocy 5 W·cm².

Podczas wykonywania eksperymentu osad surowy pozyskiwany z oczyszczalni ścieków „Łyna” w Olsztynie wstępnie poddawany był procesowi homogenizacji trwającej 5 minut. Do przeprowadzenia tego procesu wykorzystano mieszadło mechaniczne IKA RW 16 Basic ze śmigłem mieszadła IKA 074100IKA R 1242. Następnie do reaktora podłączona została pompa obiegowa Type SK 71S/4TFGetriebebau NORD, której zadaniem było nieustanne mieszanie osadów ściekowych znajdujących się w dezintegratorze.

Eksperyment został podzielony na pięć wariantów. Kryterium podziału był czas zatrzymania osadów ściekowych w obszarze narażonym na działanie fal ultradźwiękowych. Wyróżniono następujące warianty badawcze: wariant 1 – 0 minut, wariant 2 – 5 minut, wariant 3 – 10 minut, wariant 4 – 15 minut, wariant 5 – 20 minut, wariant 6 – 25 minut, wariant 7 – 30 minut.

Podczas badań wykonano następujące analizy fizykochemiczne: ChZT, czas ssania kapilarnego (CSK), zawartość suchej masy, suchej masy mineralnej, suchej masy organicznej. Pomiar czasu ssania kapilarnego osadów ściekowych wykonano przy pomocy urządzenia CST Timer firmy Klimapol Sp. z o. o. Wartość wskaźnika ChZT oznaczona została przy użyciu spektrofotometru HACH Lange 5000 z wykorzystaniem testu LCK 914. ChZT oznaczone było w odcieku osadów surowych i osadów po dezintegracji.

Proces fermentacji metanowej prowadzono w modelowych komorach fermentacyjnych firmy WTW, które składają się z komór reakcyjnych połączonych szczelnie z urządzeniami pomiarowo-rejestrującymi. Analizy wykonano w trzech wariantach.

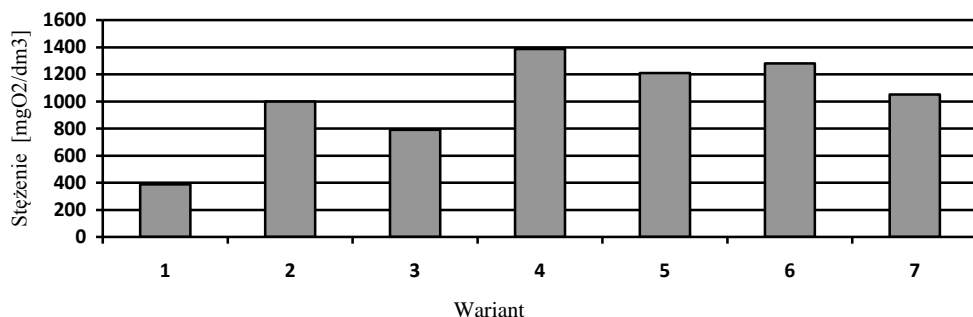
W wariancie pierwszym wykonana została próba zerowa, w której do komór fermentacyjnych wprowadzony został osad beztlenowy. W wariancie drugim do inoculum bakterii beztlenowych wprowadzono osad beztlenowy niepoddany procesowi dezintegracji. W wariancie trzecim użyto inoculum bakterii beztlenowych w połączeniu z osadem po 15 minutowej dezintegracji ultradźwiękami. Do badań respirometrycznych użyto wariant, w którym oceniona na podstawie ChZT rozpuszczonego efektywność dezintegracji była najwyższa. Zastosowana metoda badawcza pozwoliła na określenie podatności stosowanych substratów organicznych na biodegradację oraz ilość i skład gazowych produktów metabolizmu. Urządzenia rejestrowały i analizowały zmiany ciśnienia parcjalnego w komorze pomiarowej wywołanego produkcją biogazu w beztlenowych procesach prowadzonych przez mikroorganizmy. Charakterystykę inoculum bakterii beztlenowych stosowanego w eksperymencie przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Charakterystyka inoculum bakterii beztlenowych

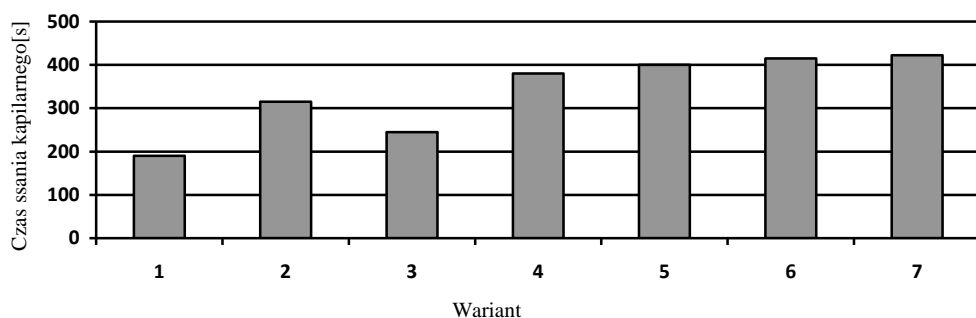
Parametr	Jednostka	Wartość średnia	Odchylenie standardowe
pH	-	7,98	0,10
Uwodnienie	[%]	96,6	0,20
Sucha masa	[%]	3,4	0,2
Substancje lotne	[% s.m.]	49,18	2,63
Popiół	[% s.m.]	50	1,86
CSK	[s]	479	9,20

3. WYNIKI BADAŃ

Wartość ChZT osadu surowego wynosiła $388 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Najwyższą wartość ChZT po procesie dezintegracji uzyskano w wariancie 4 i wynosiła ona $1386 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, a najniższą w wariancie 3 i wynosiła ona $790 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. W pozostałych wariantach wartość ChZT kształtowała się na podobnym poziomie. Stwierdzono, iż wartość CSK w wariancie 1 była najniższa i wyniosła 190 s. W wariancie 2 kształtowała się na poziomie bliskim 300 s, w wariancie 3 wynosiła 245 s. W wariantach od 4 do 7 oscylowała blisko wartości 400 s. Uzyskane wartości suchej masy testowanych osadów oraz jej poszczególnych frakcji kształtowały się na zbliżonym poziomie. Najwyższą zawartość suchej masy odnotowano w osadzie poddawanym 30 minutowej dezintegracji, natomiast najniższą w wariancie 2, w którym osad poddawany był 10 minutowej dezintegracji (tabela 3).



Rys. 1. Wartości ChZT w odcieku w kolejnych wariantach eksperymentu



Rys. 2. Czas ssania kapilarnego w kolejnych wariantach eksperymentu

Tabela 3. Wartość suchej masy, suchej masy mineralnej, suchej masy organicznej w osadzie po dezintegracji

Wariant	Sucha masa [g·dm ⁻³]	Sucha masa mineralna [g·dm ⁻³]	Sucha masa organiczna [g·dm ⁻³]
1	41,78	9,44	32,34
2	41,68	9,91	31,77
3	39,24	9,00	30,24
4	41,61	9,10	32,21
5	45,75	10,83	34,92
6	49,50	11,39	38,11
7	49,82	11,51	38,31

Podczas badań respirometrycznych przeanalizowana została produkcja biogazu oraz zawartość metanu w wyprodukowanym biogazie. W przedstawionej poniżej tabeli widać wyraźnie, jak wzrastała produkcja biogazu. Najniższą ilość biogazu odnotowano w próbie pierwszej, gdzie fermentacji został poddany osad beztlenowy. W pró-

bie numer dwa badana była produkcja biogazu z osadu beztlenowego połączonego wraz z badanymi osadami ściekowymi surowymi. Najwyższą wydajność produkcji biogazu odnotowano w próbie trzeciej, gdzie do analizy użyto osad beztlenowy w połączeniu z osadem po 15 minutowej dezintegracji ultradźwiękami. Różnica między próbą pierwszą a trzecią wynosi $183,8 \text{ m}^3 \cdot \text{t s.m.}^{-1}$ przy przyjętym obciążeniu $2,0 \text{ kg s.m.o.} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$. Z zebranych w tabeli wyników widać również, iż zawartość metanu w badanych próbach różniła się nieznacznie. Najniższą zawartość metanu w wyprodukowanym biogazie zanotowano w próbie pierwszej, zaś najwyższą w próbie trzeciej. Różnica między tymi próbami wynosiła 3,3%.

Tabela 4. Produkcja biogazu i zawartość metanu

Próba	Produkcja biogazu [$\text{m}^3 \cdot \text{t s.m.}^{-1}$]	Zawartość metanu [%]
1	$413,1 \pm 47,1$	$63,8 \pm 4,1$
2	$499,3 \pm 71,2$	$66,2 \pm 3,3$
3	$596,9 \pm 31,5$	$67,1 \pm 2,8$

4. WNIOSKI

Analizując uzyskane wyniki, pod kątem ChZT rozpuszczonego, można stwierdzić, że najwyższą wartość tego wskaźnika uzyskujemy w próbie poddanej 15 minutowej dezintegracji. Wariant ten w połączeniu z inoculum bakterii beztlenowych został wykorzystany w badaniach respirometrycznych, skutkując najwyższym uzyskiem biogazu.

Obecne trendy w technologiach oczyszczania ścieków i unieszkodliwiania osadów opierają się głównie na zmniejszenie energochłonnych kosztów eksploatacji oczyszczalni. Metodą, która pozwala osiągnąć ten cel, jest dezintegracja ultradźwiękowa przed procesem fermentacji metanowej. Jej efekty zależą od wielu czynników, tj. typu i charakterystyki osadów, stężenia suchej masy, ilości energii dostarczonej do procesu. Warto jest więc, zarówno przed jak i po zastosowaniu tej metody sprawdzić dokładne właściwości fizyko-chemiczne osadów.

LITERATURA

- [1] ANDREOLI C.V., SPERLING M., FERNANDES F., *Sludge treatment and disposal*, IWA publishing, Vol 6. Chapter 4, Biological wastewater treatment series, 2007.
- [2] BIEN J., WORWAĞ M., NECZAJ E., KACPRZAK M., MILCZAREK M., GAŁWA-WIDERA M., *Kofermentacja odpadów tłuszczowych i osadów ściekowych*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 2008, T.11, s. 73–82.

- [3] BIEŃ J., SZPARKOWSKI I., *Wpływ kondycjonowania osadów nadmiernych na stężenie lotnych kwasów tłuszczowych w procesie stabilizacji beztlenowej*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2005, No. 7–8, 39–46.
- [4] FUKAS-PŁONKA Ł., JANIK M., *Fermentacja osadów nadmiernych*, EkoTechnika, 2006, No. 1.
- [5] ISKRA K., Miodoński S., *Dezintegracja osadu nadmiernego-dobra praktyka czy konieczność?* [w:] Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska, Tom 4, pod red. T.M. TRACZEWSKIEJ i B. KAŻMIERCZAKA, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014.
- [6] KRZANOWSKI S., WAŁĘGA A., *Ocena przebiegu procesu nityfikacji w oczyszczaniu ścieków z osadem czynnym przy wykorzystaniu różnych metod obliczania wieku osadu*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2009, No. 2, 29–34.
- [7] MAGREL L., *Prognozowanie procesu fermentacji metanowej mieszaniny osadów ściekowych oraz gnojowicy*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2004.
- [8] NEIS U., NICKEL K., TIEHM A., *Enhancement of anaerobic sludge digestion by ultrasonic disintegration*, Water Science and Technology, 2000, Vol. 42, No. 9, 73–78.
- [9] PODEDWORNA J., UMIEJEWSKA K., *Technologia osadów ściekowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008, 114–115.
- [10] RAI C.L., STRUENKMANN G., MUELLER J., Rao P.G., *Influence of ultrasonic disintegration on sludge growth reduction and its estimation by respirometry*, Environ. Scien. Technol., 2004, Vol. 38, No. 21, 5779–5785.
- [11] TIEHM A., NICKEL K., ZELHORN M., NEIS U., *Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization*, Water Research, 2001, Vol. 35, No. 8, 2003–2009.
- [12] TIEHM A., NICKEL K., NEIS U., *The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge*, Water Science and Technology, 1997, Vol. 36, No. 11, 121–128.
- [13] TYTŁA M., ZIELEWICZ E., *Badanie wpływu warunków prowadzenia dezintegracji ultradźwiękowej osadów ściekowych na uzyskane efekty*, [w:] Inżynieria Środowiska – Młodym Okiem, Tom 5 Ścieki i Osady Ściekowe, pod red. I. SKOCZKO, J. PIEKUTIN i K. KŁOZA, Oficyna Politechniki Białostockiej, Białystok 2014, 70–97.
- [14] WORWAŃ M., BRZESKA K., ZAWIEJA I., BIEŃ J., *Stabilizacja beztlenowa osadów ściekowych pochodzących z przemysłu celulozowo-papierniczego*, Proceeding of ECOpole, 2008, Vol. 2,2, 493–498.
- [15] ZAWIEJA I., WOLNY L., *Wpływ mocy procesora ultradźwiękowego na biodegradowalność osadów ściekowych*, Rocznik Ochrona Środowiska, 2011, Vol. 13, 1719–1730.
- [16] ZHANG G., ZHANG P., YANG, CHEN Y., *Ultrasonic reduction of excess sludge from the activated sludge system*, Journal of Hazardous Materials, 2007, Vol. 145, 515–519.
- [17] ZIELEWICZ E., *Ultradźwiękowe wspomaganie hydrolizy osadów nadmiernych*, Przegląd Komunalny, 2010, No. 12, 74–77.

DISINTEGRATION SLUDGE IN A LOOP REACTOR

Development of new technologies and increase the efficiency of biological wastewater treatment processes contributes to increase the amount of excess sludge formed [1,2]. The main challenge, which need to be addressed now, is to reduce the amount of sediment deposited. In view of the fact that the cost of reworking and disposal of sewage sludge represent a significant part of the total costs associated with the operation of such facilities observe a need for methods to intensify these processes [3]. An example of this is the ultrasonic disintegration being adjunct anaerobic sludge stabilization, which, due to the presence of resistant organisms anaerobic processes difficult fermentable [4]. In article will be discussed the issue of ultrasonic disintegration, its impact on the process of fermentation of sewage sludge and sediment physicochemical parameters change.