

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2016), 25 (4), 444–452
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2016), 25 (4)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2016), 25 (4), 444–452
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2016), 25 (4)
<http://iks.pn.sggw.pl>

Justyna CZAJKOWSKA¹, Monika KAZIMIERCZAK²

¹Katedra Inżynierii Budowlanej, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Department of Building Engineering, Warsaw University of Life Sciences – SGGW

²Katedra Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie
Department of Environmental Engineering, Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw

Wpływ dezintegracji mikrofalowej na proces tlenowej stabilizacji osadu nadmiernego

The impact of the disintegration of the microwave on the process of aerobic digestion of excess sludge

Słowa kluczowe: dezintegracja, mikrofała, stabilizacja tlenowa

Key words: disintegration, microwaves, aerobic stabilization

Wprowadzenie

Biologiczne procesy oczyszczania ścieków powodują powstawanie osadów ściekowych (wstępnych i nadmiernych), które ze względów środowiskowych muszą podlegać przeróbce. Duże ilości osadu czynnego wytwarzanego w oczyszczalni ścieków jeśli nie są właściwie przetwarzane, stanowią zagrożenie dla środowiska. Koszty stabilizacji i usuwania osadów są jednak duże i mogą stanowić do 60% całkowitych kosztów operacyjnych w oczyszczalni ścieków (Low i in. 2000). Jednym z ważniejszych etapów przeróbki osadów ściekowych

jest stabilizacja. Powszechnie stosowanymi metodami są stabilizacja tlenowa i stabilizacja beztlenowa. Stabilizacja tlenowa jest procesem, w którym podczas mieszania i napowietrzania osadów ściekowych następuje rozkład substancji organicznych przez mikroorganizmy bytujące w osadzie. Wydajność tych procesów jest często ograniczona przez hydrolizę, która jest uważana za etap ograniczający szybkość procesu stabilizacji. Aby przyspieszyć hydrolizę, a tym samym poprawić przebieg procesów stabilizacji, stosuje się wiele metod zwanych procesami dezintegracji. Wśród metod dezintegracji wyróżniamy metody: mechaniczne (homogenizacja, ultradźwięki, mikrofała), chemiczne (ozonowanie, kwaśna i zasadowa hydroliza), biologiczne (enzymy, autoliza, grzyby, bakterie), termiczne (niskotemperaturowe, wysokotemperaturowe). Głównym

celem tych metod obróbki wstępnej jest rozpuszczenie i zmniejszenie rozmiarów cząstek związków organicznych tak, aby były bardziej podatne na degradację biologiczną (Sadecka, 2010).

Metody obróbki wstępnej (dezintegracji) mimo że zwiększają szybkość stabilizacji to jednak często generują większe koszty eksploatacji i konserwacji, problemy z korozją, a często długi czas reakcji ogranicza praktyczne zastosowanie tych technik. Niektóre badania opisywane w literaturze koncentrowały się na wykorzystaniu fal mikrofalowych do zastosowań w inżynierii środowiska, głównie ze względu na fakt, że stosując ogrzewanie mikrofalowe, można szybciej osiągnąć żadaną temperaturę, zużycie energii jest mniejsze, a także ich użycie ma mniejszy potencjał emisji niebezpiecznych substancji (Iskra i Miodoński, 2014).

Mechanizm oddziaływania mikrofal na osad składa się z dwóch efektów: termicznego i pozatermicznego. Efekt termiczny jest wywołany interakcją zmiennego pola elektrycznego z cząstkami dipolarnymi, takimi jak: woda, białka, tłuszcze i inne cząstki organiczne. Powoduje to rotację cząstek i ostatecznie prowadzi do ogrzania osadu. Efekt pozatermiczny przypisywany jest dipolom gwałtownie zmieniającym orientację w spolaryzowanych łańcuchach bocznych makrocząstek, co daje możliwość zerwania wiązań wodorowych. W wyniku tego procesu następuje rozpad kłaczków i zmiana w drugo- oraz trzeciorzędowych strukturach białek w błonie komórkowej mikroorganizmów, a to z kolei prowadzi do ich obumierania (Eskicioglu i in., 2007; Appels i in., 2013; Houtmeyers i in., 2014).

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu udziału osadu dezintegrowanego mikrofalami na proces tlenowej stabilizacji. Przeprowadzone badania są badaniami wstępnymi i należy potwierdzić uzyskane wyniki badań w kolejnych seriach, a także rozszerzyć badania o inne proporcje.

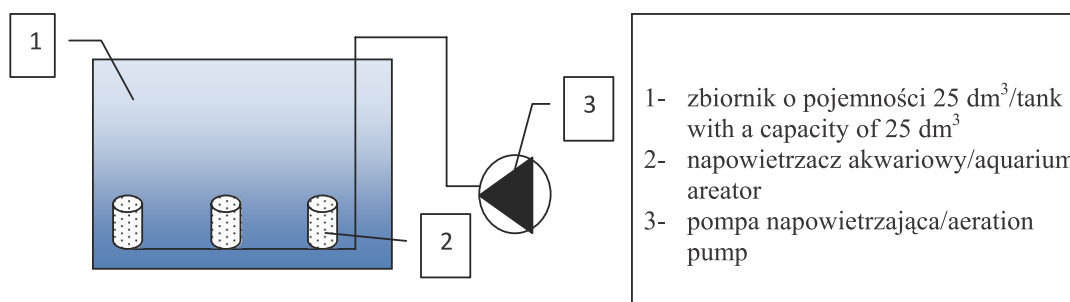
Material i metody

Do badań wykorzystano osad ściekowy pochodzący z oczyszczalni ścieków bytowych „Mokre Łąki” w gminie Izabelin. Jest to oczyszczalnia pracująca wykorzystująca technologię z zastosowaniem osadu czynnego. Materiał pobierano z pompowni po osadniku wtórnym, a następnie po przetransportowaniu do laboratorium poddawano badaniom wstępnym w celu wybrania odpowiedniego czasu dezintegracji mikrofalowej osadów. Wybór optymalnego czasu dezintegracji osadów do badań kolejnego etapu (stabilizacji tlenowej) wykonywano w następujący sposób. Dezintegracji poddawano osady ściekowe w porcjach po 500 cm³. Do dezintegracji użyto kuchenki mikrofalowej o mocy 700 W i częstotliwości 2,45 GHz. Badania wstępne obejmowały dwie serie pomiarowe z dwóch różnych poborów w celu wybrania najbardziej optymalnego czasu dezintegracji dla osadów z tej oczyszczalni ścieków. Pobór serii 1 nastąpił 28.12.2015 roku, przy temperaturze otoczenia 8°C, a pobór serii 2 odbył się 5.01.2016 roku przy temperaturze otoczenia -19°C. Oznaczano temperaturę, indeks osadu oraz w cieczy nadosadowej mętność i ChZT w funkcji czasu dezintegracji. Oznaczenia wykonano po doprowadzeniu prób do temperatury 20°C.

Kolejnym etapem badań było prowadzenie procesu stabilizacji tlenowej osadów ściekowych. Przywieziona z oczyszczalni ścieków porcja osadu (próba pobrana 05.05.2016 r., przy temperaturze otoczenia 15°C) była zagęszczana – usunięcie cieczy nadosadowej w ilości 40% objętości całej próby, a następnie dzielona na dwie równe porcje. Pierwsza z nich stanowiła próbę kontrolną, a jej objętość wynosiła 15 dm³. Druga natomiast była ponownie dzielona na dwie równe części (po 7,5 dm³), z których jedna była poddawana dezintegracji porcjami o objętości 500 cm³ przez czas $t = 4$ min (optymalny czas uzyskany po przeprowadzeniu pierwszego etapu badań). Następnie obie części mieszano, uzyskując proporcję objętościową osadu niezdezintegrowanego do zdezintegrowanego równą 1 : 1. Tak przygotowane

osad był napowietrzany za pomocą zestawu napowietrzającego składającego się z pompki i kamieni napowietrzających pełniących rolę filtrosów. Schemat istniejącego układu technologicznego przedstawiono na rysunku 1.

Parametrami kontrolnymi postępu procesu stabilizacji była sucha pozostałość (PN-EN 14346:2011) i strata przy prażeniu (PN-EN 15169:2011), która stanowiła obraz ubytku substancji organicznych w procesie. Dodatkowo w cieczy nadosadowej oznaczano BZT₅ przy użyciu zestawu OXI-Top, ChZT metodą dwuchromianową, oraz mętność przy zastosowaniu mętnościomierza HACH 2100N IS. Przed każdym oznaczeniem powyższych parametrów objętość stabilizowanego osadu uzupełniono wodą destylowaną do wartości 15 dm³, niwelując w ten sposób stratę na skutek parowania.



RYSUNEK 1 Schemat stanowiska badawczego do stabilizacji tlenowej
 FIGURE 1. Diagram of the test for aerobic stabilization

próby (kontrolna oraz mieszana) poddawane były stabilizacji tlenowej w oddzielnych zbiornikach. Czas badań wynosił 35 dób.

Badania prowadzono w zbiornikach o objętości 25 dm³, a objętość każdej z badanych prób osadów wynosiła 15 dm³. Wprowadzony do zbiornika

Wyniki i dyskusja

W tabeli 1 przedstawiono wyniki pierwszego etapu badań obu serii eksperymentu. Na ich podstawie można zauważyć, iż ze wzrostem czasu dezintegracji rośnie wartość temperatury osadów ściekowych. Mętność cieczy nadosadowej do $t = 4,5$ min również rośnie.

TABELA 1. Wyniki oznaczeń osadu poddanego dezintegracji mikrofalami w funkcji czasu
 TABLE 1. The results of determinations of sludge disintegration subjected to microwave radiation as a function of time

Czas oddziaływania promieniowaniem mikrofalowym Microwave irradiation time [min]	Energia Energy [kJ]	Temperatura Temperature [°C]		Mętność Turbidity [NTU]		Indeks objętościowy/ SVI [dm ³ ·g s.m. ⁻¹]		ChZT/ COD [mg O ₂ ·dm ⁻³]	
		Seria 1	Seria 2	Seria 1	Seria 2	Seria 1	Seria 2	Seria 1	Seria 2
0	0	20	20	6,3	5,3	–	–	86,7	107,5
1	42	35	34	27,0	6,4	109,4	–	120,0	100,0
2	84	48	48	40,5	41,2	108,2	–	280,0	180,0
3	126	59	61	96,0	38,1	108,2	–	660,0	380,0
4	168	74	70	99,6	46,6	107,1	75,7	780,0	510,0
4,5	189	76	79	133,0	83,7	101,2	64,9	750,0	550,0
5	210	84	82	97,3	77,1	94,1	62,2	820,0	550,0
5,5	231	89	89	156	81,4	–	83,8	–	–
6	252	98	89	117	69,7	91,8	56,8	1040,0	580,0

Następnie zaobserwowano spadek mętności. Może mieć to związek z przekroczeniem dla $t = 5$ min 80°C, co mogło prowadzić do denaturacji białek, czego efektem był spadek mętności.

Wartość ChZT w cieczy nadosadowej zwiększała się wraz ze wzrostem czasu ekspozycji osadów ściekowych na działanie mikrofal. W przypadku serii 1 wartość ChZT zmieniła się z 86,7 mg O₂·dm⁻³ dla cieczy rzeczywistej aż do 1040 mg O₂·dm⁻³ dla próbki 6-minutowej. W przypadku drugiej serii wzrost ten był mniejszy: z poziomu 107,5 mg O₂·dm⁻³ dla cieczy rzeczywistej do 580 mg O₂·dm⁻³ dla próbki 6-minutowej. Wzrost wartości ChZT związany jest z niszczeniem ścian komórkowych oraz błon cytoplazmatycznych mikroorganizmów i uwalnianiem substancji organicznych do cieczy nadosadowej. Najszybszy wzrost wartości ChZT obserwowano przez pierwsze 4 min, dalej obserwowano nieznaczne zmiany war-

tości badanego parametru. Wartość indeksu osadu maleje wraz ze wzrostem czasu ekspozycji. Podobne obserwacje poczynili Grübel i Machnicka (2011a i b), którzy dezintegrowali osad czynny za pomocą mikrofal. Podobnie jak w badaniach dla osadu ściekowego również dezintegracja mikrofalami osadu czynnego powodowała wzrost stężenia ChZT oraz mętności w cieczy nadosadowej, a także wzrost temperatury oraz spadek indeksu osadu (Ahn i in., 2009; Chang i in., 2011). Podobnie jak w przedstawionych badaniach zaobserwowano spadek mętności po przekroczeniu temperatury 80°C.

Ponieważ największy skok wartości ChZT zaobserwowano w czasie 4-minutowej dezintegracji, do dalszych badań (tlenowa stabilizacja) wybrano czas dezintegracji wynoszący $t = 4$ min.

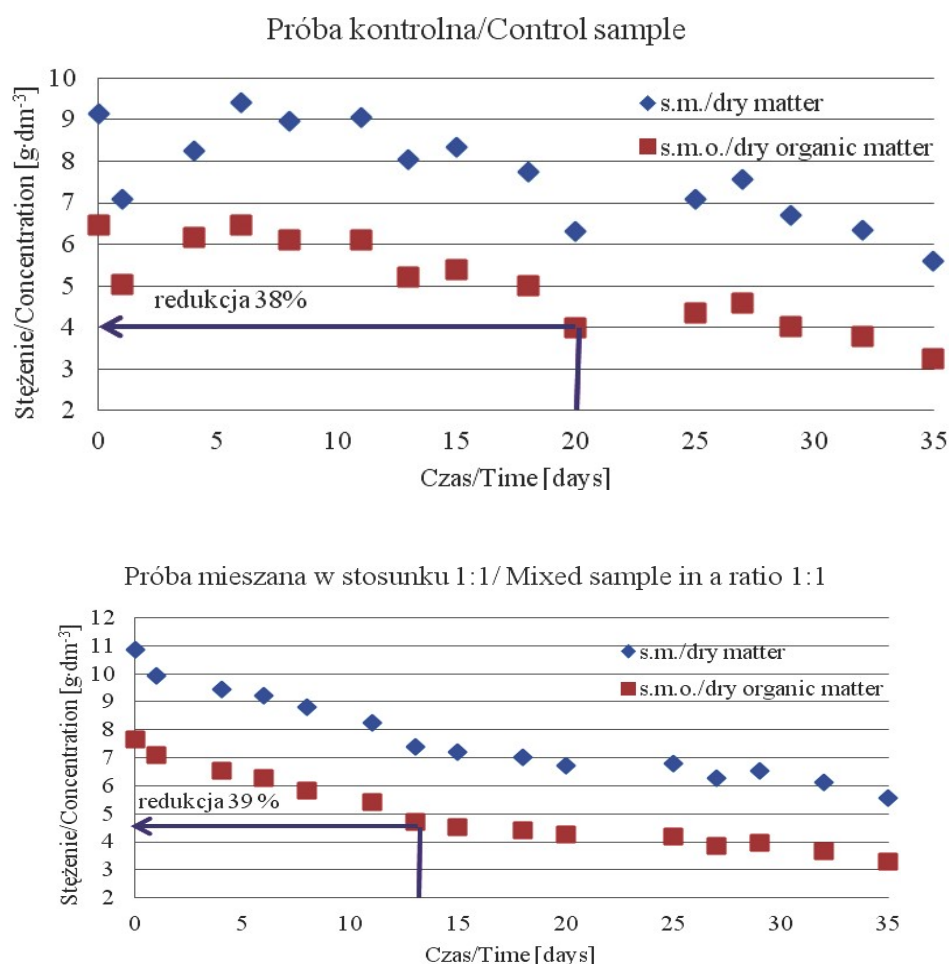
Wyniki stężeń suchej masy oraz suchej masy organicznej uzyskane w czasie prowadzenia procesu stabi-

lizacji tlenowej osadów ściekowych w próbie kontrolnej (osad surowy) oraz w próbie osadu zmieszanego w stosunku 1 : 1 przedstawiono na rysunku 2.

Jak pokazano na rysunku 2 stężenie suchej masy (s.m.) oraz suchej masy organicznej (s.m.o.) w osadach poddanych procesowi stabilizacji tlenowej zarówno dla próby kontrolnej, jak i osadu zmieszanego maleje w kolejnych dobach stabilizacji. Za granicę stabilizacji osadu uznaje się redukcję stężenia suchej masy

organicznych na poziomie 38–40%. (Podedworna i Umiejewska, 2008). W przypadku próby kontrolnej redukcję stężenia na poziomie 38% zaobserwowano po 20 dobach, co zaznaczono na rysunku 2 strzałką. W przypadku próby zmieszanej redukcję stężenia suchej masy organicznej na poziomie 39% zaobserwowano już po 13 dobach.

Porównując cały czas trwania procesu przy badanym stosunku osadu surowego do zdeintegrowanego (1 : 1), można



RYSUNEK 2. Zależność stężenie suchej masy i suchej masy organicznej w osadach stabilizowanych tlenowo od czasu trwania procesu

FIGURE 2. The concentration of dry matter and dry organic matter in aerobic digestion of sewage sludge in time of process

zauważyć, iż różnica w stężeniu suchej masy w badanych seriach jest niewielka. Jednak biorąc pod uwagę duże koszty prowadzenia procesu, redukcja czasu stabilizacji z 20 do 13 dób jest znacząca. W przypadku niniejszych badań pompa napowietrzająca o mocy 8 W pracując 7 dób więcej, zużyła 1,34 kWh, a energia potrzebna do dezintegracji osadu (porcjami po 500 cm³) do zdeintegrowania objętości osadów ściekowych równej 7,5 dm³, przy założonym czasie dezintegracji wynoszącym 4 min na 500 cm³ osadu i mocy kuchenki mikrofalowej 700 W, wyniosła 0,7 kWh. Okazuje się zatem, że na skutek krótszego czasu napowietrzania próby mieszanej, niezbędnego do uzyskania optymalnej redukcji związków organicznych, oszczędza się niemalże 50% energii.

Na początku i na końcu procesu stabilizacji tlenowej analizowano również ciecz nadosadową. W tabeli 2 przedstawiono wyniki cieczy nadosadowej dla próby kontrolnej oraz mieszanej.

Wszystkie badane parametry cieczy nadosadowej w przypadku próby mieszanej są znacząco wyższe od tych dla próby kontrolnej. Wynika z tego, że pewne zanieczyszczenia w wyniku pro-

cesu dezintegracji przechodzą do cieczy nadosadowej. Pozostałe tendencje są podobne. Po procesie stabilizacji zarówno dla próby kontrolnej jak i próby mieszanej obserwuje się spadek wartości BZT₅, co jest spowodowane wyczerpaniem łatwo rozkładalnej substancji organicznej oraz wzrost mętności. Jedynie w przypadku ChZT zaobserwowano tendencję odwrotną. Obserwuje się wzrost stężenia tego parametru po procesie stabilizacji. Może być to związane z przejściem pewnych zanieczyszczeń z osadu do cieczy nadosadowej. Spadek BZT₅ wskazuje jednak na to, że nie są to substancje łatwo rozkładalne na drodze biologicznej.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie pierwszego etapu przeprowadzonych badań określono wpływ procesu dezintegracji mikrofalowej na osad ściekowy pochodzący z oczyszczalni ścieków bytowych. W wyniku analizy okazało się, iż:

- wzrost czasu oddziaływania mikrofalowego powoduje wzrost temperatury badanych osadów z poziomu 20°C dla próby niezdeintegrowanej

TABELA 2. Zawartość ChZT, BZT₅ oraz mętności w cieczy nadosadowej niesączonej
TABLE 2. The content of COD, BOD₅ and turbidity in the non-filtered liquid supernatant

Wskaźnik Indicator		Próba kontrolna Control sample	Próba mieszana Mixed sample
ChZT/COD [mg O ₂ ·dm ⁻³]	początkowe/initial	5,6	440,8
	końcowe/final	134,7	312,5
BZT ₅ /BOD ₅ [mg O ₂ ·dm ⁻³]	początkowe/initial	8,9	>200
	końcowe/final	7,6	76,1
Mętność/Turbidity [NTU]	początkowe/initial	3,4	64,8
	końcowe/final	27,5	420,0

do 98°C dla 6-minutowego czasu ekspozycji,

- wzrost czasu oddziaływania mikrofalowego powoduje wzrost mętności cieczy nadosadowej. W zakresie 0–4,5 min oddziaływania następuje wzrost mętności z poziomu 5,3 NTU (seria 1) oraz 5,3 NTU (seria 2) dla próby niezdezintegrowanej do poziomu 133 NTU (seria 1) i 83,7 NTU (seria 2). Wydłużenie czasu oddziaływania mikrofalowego powoduje spadek mętności do poziomu 117 NTU (seria 1) i 69,7 NTU (seria 2) dla 6-minutowej ekspozycji. Zjawisko to tłumaczone jest denaturacją białek, która następuje przy temperaturze około 80°C,
- wzrost czasu oddziaływania mikrofalowego powoduje spadek wartości indeksu objętościowego osadu,
- wzrost czasu oddziaływania mikrofalowego powoduje wzrost wartości ChZT w cieczy nadosadowej.

W drugim etapie badań podczas stabilizacji tlenowej osadu surowego (próba kontrolna) i osadu mieszanego (surowego i zdeintegrowanego) zauważono niewielkie różnice w stężeniu suchej masy organicznej w obydwu seriach podczas 35-dobowego cyklu pomiarowego, ale około 40% redukcji stężenia substancji organicznych w przypadku próby mieszanej (1 : 1) zaobserwowano o 7 dni wcześniej niż w przypadku próby kontrolnej. Skrócenie niezbędnego czasu stabilizacji, po analizie przeprowadzonych badań laboratoryjnych, skutkowałoby zmniejszeniem zużycia energii do procesów natleniania o blisko 50%. Należy zatem przeprowadzić kolejne badania (przy różnym udziale objętościowym osadu zdeintegrowanego) tak,

aby ustalić optymalny stosunek osadów surowych do zdeintegrowanych, przy którym nastąpi wyraźne zmniejszenie zawartości substancji organicznych pozwalające na skrócenie procesu stabilizacji tlenowej.

Literatura

- Ahn, J.-H., Shin, S.G. i Hwang, S. (2009). Effect of microwave irradiation on the disintegration and acidogenesis of municipal secondary sludge. *Chemical Engineering Journal*, 153, 145-150.
- Appels, L., Houtmeyers, S., Degreve, J., Impe, J.V. i Dewil, R. (2013). Influence of a microwave pre-treatment on sludge solubilization and pilot scale semi-continuous anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 128, 598-603.
- Chang, Ch.-J, Tyagi, V.K. i Lo, S.-L. (2011). Effects of microwave and alkali induced pretreatment on sludge solubilization and subsequent aerobic digestion. *Bioresource Technology*, 102, 7633-7640.
- Eskicioglu, C., Terzianb, N., Kennedy, K.J., Drostea, R.L. i Hamodac, M. (2007). Athermal microwave effects for enhancing digestibility of waste activated sludge. *Water Research*, 41, 2457-2466.
- Grübel, K. i Machnicka, A. (2011a). Impact of microwave desintegration on activated sludge. *Ecological Chemistry and Engineering S 18 (1)*, 75-82.
- Grübel, K. i Machnicka, A. (2011b). Oddziaływanie promieniowania mikrofalowego na osad czynny. *Nauka Przyroda. Technologia*, 5, 4, 67.
- Houtmeyers S., Degreve J., Willems K., Dewil R. i Appels L. (2014). Comparing the influence of low power ultrasonic and microwave pretreatments on the solubilisation and semi-continuous anaerobic digestion of waste activated sludge. *Bioresource Technology*, 171, 44-49.
- Iskra, K. i Miodoński, S. (2014). Dezintegracja osadu nadmiernego – dobra praktyka czy konieczność? W T. Traczewskiej i B. Kaźmierczaka (red.), *Interdyscyplinarne zagadnienia*

w inżynierii i ochronie środowiska (strony 326-336). Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.

Low, E.W., Chase, H.A., Milner, M.G. i Curtis, T.P. (2000). Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in the activated sludge process. *Water Research*, 34 (12), 3204-3212.

PN-EN 14346:2011. Charakteryzowanie odpadów. Obliczanie suchej masy na podstawie oznaczania suchej pozostałości lub zawartości wody.

PN-EN 15169:2011. Charakteryzowanie odpadów. Oznaczanie straty prażenia odpadów, szlamów i osadów.

Podedworna, J. i Umiejewska, K. (2008). *Technologia osadów ściekowych*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

Sadecka, Z. (2010). *Podstawy biologicznego oczyszczania ścieków*. Warszawa: Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o.

Streszczenie

Wpływ dezintegracji mikrofalowej na proces tlenowej stabilizacji osadu nadmiernego. Tlenowa stabilizacja osadów ściekowych jest jednym z ważniejszych procesów przeróbki stosowanych w małych oczyszczalniach ścieków (do 15 000 RLM). Ze względu na dużą energochłonność tego procesu, związaną z koniecznością ciągłego natleniania, poszukuje się metod wstępnej obróbki mogących go usprawnić. Jedną z takich metod rozwijaną w ostatnich latach stała się dezintegracja. Celem dezintegracji jest zmniejszenie rozmiarów cząstek związków organicznych oraz związków opornych na rozkład substancji biodegradowalnej. Ponadto dezintegracja pozwala na rozerwanie silnych wiązań chemicznych, które utrudniają biodegradację osadów. Powoduje to zmianę w strukturze kłaczków osadu oraz cieczy nadosadowej, a tym samym zwiększa podatności na rozkład w procesie stabilizacji. W pracy przedstawiono badania mające na celu wyznaczenie optymalnego czasu dezintegracji za pomocą mikrofal osadu

nadmiernego, który określono na $t = 4$ min. Przedstawiono także wyniki badań wstępnych osadu stabilizowanego tlenowo, który jest mieszaniną osadu niedezintegrowanego i poddanego dezintegracji mikrofalowej (w ustalonym w pierwszej części eksperymentu czasie) w proporcji objętościowej 1 : 1 w odniesieniu do próby kontrolnej, którą jest osad niepoddany dezintegracji a stabilizowany w tych samych warunkach co próba mieszana. Pozytywny wpływ dezintegracji widoczny jest szczególnie w pierwszych dniach stabilizacji tlenowej, gdzie odnotowano większą redukcję związków organicznych niż w analogicznym czasie w osadzie, który nie był poddawany wstępnej dezintegracji. Ponadto wymagana 38-procentowa redukcja stężenia związków organicznych w przypadku mieszanego osadu nastąpiła wcześniej (w 13. dobie procesu), niż w przypadku osadu nie poddanego dezintegracji (20. doba procesu). Obliczono, że na skutek krótszego czasu napowietrzania próby mieszanej, niezbędnego do uzyskania optymalnej redukcji związków organicznych, oszczędza się niemalże 50% energii.

Summary

The impact of the disintegration of the microwave on the process of aerobic digestion of excess sludge. Aerobic stabilization of sludge is one of the most important processes used in the small wastewater treatment plants (15,000 ENI). Because of the large energy consumption of the process of forcing a continuous oxygenation sought methods of pre-treatment which may improve it. One such method drop down in recent years has become disintegration. The purpose of the disintegration of the particle size reduction of organic compounds and the compounds are resistant to decomposition of the biodegradable. In addition, the disintegration allows for breaking strong chemical bonds that hinder biodegradation deposits. This causes a change in the

structure of sludge flocs and the supernatant liquid, thereby increasing susceptibility to degradation in the stabilization process. The paper presents a study to determine the optimum time for excess sludge disintegration by microwave, which was determined at $t = 4$ min. There were presented the results of preliminary research of sediment stabilized oxygen, which is a mixture of sediment not disintegrated and disintegrated by use of the microwave (at the time specified in the first part of experiment) in the volume ratio 1 : 1 with respect to the control sample, which is not disintegrated sludge and stabilized in the same conditions as the mixed sample. The positive effect of the disintegration is visible especially in the early days of aerobic stabilization, which was saw a greater reduction of organic compounds than the same time in the sludge, which was not disintegrated. And requires 38% reduction in the concentration of organic compounds in the mixed sludge occurred earlier (13th day of the process) than

in a sludge that was not disintegrated (20th day of the process). Calculated that due to shorter aeration time of mixed sample spared nearly 50 % of the energy.

Author's address:

Justyna Czajkowska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Inżynierii Budowlanej
02-787 Warszawa ul. Nowoursynowska 159
Poland
e-mail: justyna_czajkowska@sggw.pl,

Monika Kazimierczak
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego
Wydział Biologii i Nauk o Środowisku
Katedra Inżynierii Środowiska
ul. Wóycickiego 1/3
01-938 Warszawa
Poland
e-mail: m.kazimierczak@uksw.edu.pl