

Iwona ZAWIEJA, Mariusz BARAŃSKI, Mariusz MAŁKOWSKI

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska
Instytut Inżynierii Środowiska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa
e-mail: izawieja@is.pcz.czest.pl

Pozyskiwanie biogazu w procesie stabilizacji beztlenowej termicznie modyfikowanych osadów ściekowych

Wzrost stopnia dezintegracji poddanych termicznej modyfikacji osadów nadmiernych warunkuje ich podatność na biodegradację. Efektem dezintegracji jest zachodzący proces hydrolizy termicznej, wpływający bezpośrednio na szybkość przebiegu fazy hydrolitycznej stabilizacji beztlenowej, a w konsekwencji na efektywność fermentacji metanowej, powodujący wzrost stopnia przefermentowania osadów oraz produkcji biogazu. Celem prowadzonych badań była intensyfikacja produkcji biogazu podczas stabilizacji beztlenowej termicznie kondycjonowanych osadów nadmiernych. Substratem badań był nadmierny osad czynny pochodzący z Centralnej Oczyszczalni Ścieków P.S.W. „WARTA” w Częstochowie. W celu zainicjowania procesu stabilizacji osad nadmierny zaszczerpiono osadem przefermentowanym, stanowiącym 10% mieszaniny badawczej. Na wstępie prowadzonych badań określono najkorzystniejsze warunki termicznej modyfikacji osadów nadmiernych. Przeprowadzono pięć cykli badawczych w temperaturach: 50, 60, 70, 80, 90°C i w przedziale czasowym 0,5÷3 h. W kolejnym etapie badań przeprowadzono proces okresowej stabilizacji beztlenowej w komorze fermentacyjnej, w mezofilowym reżimie temperatur. Natomiast w celu zbadania zachodzących, w kolejnych 10 dobach stabilizacji, zmian parametrów fizyczno-chemicznych osadów proces fermentacji prowadzono w kolbach laboratoryjnych stanowiących komory fermentacyjne. Z badanego zakresu temperatur do dalszych badań wybrano temperaturę 50 i 70°C. Dla temperatury 50°C i najkorzystniejszego czasu kondycjonowania wynoszącego 2,5 h uzyskano odpowiednio ok. 9-krotny oraz 3,5-krotny wzrost wartości ChZT oraz LKT w odniesieniu do wartości początkowych, natomiast dla temperatury 70°C i najkorzystniejszego czasu kondycjonowania wynoszącego 1,5 h odpowiednio ok. 8,5-krotny oraz 3,5-krotny wzrost wartości ChZT oraz LKT. W wyniku poddania osadów procesowi 25-dobowej stabilizacji beztlenowej uzyskano dla badanych osadów następujący stopień przefermentowania: surowe osady nadmierne 45%, osady kondycjonowane termicznie w temperaturze 50 i 70°C przez okres odpowiednio 2,5 oraz 1,5 h: 55 i 46%. Jednostkowa produkcja biogazu dla ww. osadów wyniosła odpowiednio 0,4; 1,92 i 0,7 dm³/g s.m.o.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii (OZE), biogaz, stabilizacja beztlenowa, termiczne kondycjonowanie

Wstęp

Wiele technologii przeróbki i stabilizacji osadów ściekowych bazuje na procesach beztlenowego rozkładu związków organicznych. Fermentacja osadów jest procesem wielofazowym; wyodrębnia się fazy hydrolityczną, acidogenną, octanogenną i metanogenną. Końcowym produktem biochemicznego rozkładu substancji organicznych w warunkach beztlenowych jest, zawierający ok. 60% meta-

nu, biogaz, stanowiący cenny surowiec energetyczny [1]. Fermentacja metanowa jest procesem przebiegającym wolno, wymagającym długiego czasu zatrzymania osadów i dużej objętości komór fermentacyjnych [2]. Fizyczne metody kondycjonowania osadów, do jakich można zaliczyć metodę termiczną, wpływając na wzrost stopnia dezintegracji cząstek osadów, prowadzą do zniszczenia komórek mikroorganizmów, co warunkuje przyspieszenie procesu hydrolizy, która limituje przebieg procesu stabilizacji. Zastosowanie metody termicznej do obróbki osadów nadmiernych przed procesem fermentacji metanowej powoduje skrócenie fazy hydrolitycznej stabilizacji beztlenowej, wzrost stopnia przefermentowania osadów oraz intensyfikację produkcji biogazu [3]. Termiczna obróbka osadów przed procesem mezofilowej stabilizacji beztlenowej wpływa na wzrost ich biodegradowalności [4, 5].

W wyniku zachodzącej hydrolizy termicznej osadów generowanie lotnych kwasów tłuszczowych (LKT) następuje już na etapie procesu kondycjonowania. Uzyskane lotne kwasy tłuszczowe determinują przebieg hydrolizy biologicznej, stanowiącej pierwszą fazę stabilizacji beztlenowej. Zwiększenie szybkości wytwarzania LKT oraz wzrost ich ilości w kolejnych dobach kwaśnej fermentacji wpływa bezpośrednio na efektywność produkcji biogazu. Wytwarzany w procesie stabilizacji osadów ściekowych biogaz jest istotnym oraz powszechnie dostępnym alternatywnym źródłem czystej energii. W dobie rozwoju niekonwencjonalnych źródeł energii oraz poszukiwania nowych technologii intensyfikacja produkcji biogazu stanowi bardzo ważne zagadnienie badawcze [6].

Podczas prowadzonych badań określono wpływ termicznej modyfikacji osadów nadmiernych na wzrost podatności osadów nadmiernych na biochemiczny rozkład w warunkach beztlenowych, w aspekcie pozyskiwania biogazu. Określono ponadto wzrost stopnia przefermentowania kondycjonowanych osadów. Kryterium oceny przemian fizyczno-chemicznych oraz biologicznych zachodzących w osadach w wyniku zastosowania termicznej metody dezintegracji stanowił wzrost wartości chemicznego zapotrzebowania tlenu (ChZT) oraz lotnych kwasów tłuszczowych (LKT).

1. Materiały i metody badań

1.1. Przebieg badań

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wstępnej obróbki osadów nadmiernych, poprzez zastosowanie metody termicznej, na efektywność i przebieg stabilizacji beztlenowej. W pierwszym etapie badań jako kryterium oceny przemian fizyczno-chemicznych oraz biologicznych zachodzących w osadach w wyniku zastosowania metody termicznej przyjęto zmiany wartości ChZT wody osadowej oraz przyrost wartości LKT. Kondycjonowanie prowadzono w temperaturach: 50, 60, 70, 80, 90°C przez okres 0,5÷3 h.

W związku z tym, że prowadzone badania mają charakter wstępny, w przypadku metody termicznej zastosowanej do obróbki osadów nadmiernych, w celu

przygotowania ich do procesu fermentacji metanowej, wybrano następujące temperatury i czas ekspozycji osadów w łaźni wodnej:

- 50°C przez 2,5 h,
- 70°C przez 1,5 h.

Wybierając temperaturę 70°C i czas 1,5 h, kierowano się kryterium zapewnienia najwyższych przyrostów wartości ChZT i LKT przy możliwie najkrótszym czasie hydrolizy, mając na uwadze zarówno względy ekonomiczne - optymalnie najkrótszy czas kondycjonowania, jak również względy technologiczne - nałożenie się w konsekwencji zachodzącego procesu stabilizacji efektów działania hydrolizy termicznej oraz biologicznej. Dla oceny wpływu czasu kondycjonowania wybrano ponadto najniższą temperaturę kondycjonowania, tj. 50°C, dla której najkorzystniejszym okresem termicznej modyfikacji był $t = 2,5$ h.

Można stwierdzić, że wstępnie wybrane parametry kondycjonowania osadów nadmiernych miały na celu określenie wpływu temperatury i czasu ekspozycji na efekty procesu stabilizacji beztlenowej.

Osady nadmierne po obróbce termicznej doprowadzano do warunków temperaturowych odpowiadających mezofilowej stabilizacji beztlenowej i następnie mieszano z osadem zaszczepiającym.

W drugim etapie badań przeprowadzono proces 10-dobowej oraz 25-dobowej mezofilowej stabilizacji beztlenowej surowych oraz kondycjonowanych termicznie osadów nadmiernych.

Określono stopień przefermentowania osadów oraz jednostkową produkcję biogazu.

Proces 10-dobowej fermentacji kwaśnej prowadzono w kolbach laboratoryjnych ($V = 0,5$ dm³), stanowiących komory fermentacyjne, które zamknięto szklanym korkiem wyposażonym w rurkę fermentacyjną i umieszczono w cieplarni w temperaturze 37°C.

Komorę fermentacyjną, w której prowadzono proces 25-dobowej stabilizacji dla osadów niepoddanych kondycjonowaniu oraz osadów preparowanych termicznie w temp. 70°C i czasie ekspozycji 1,5 h, wykonano w postaci szklanego walca o pojemności czynnej 5 dm³, natomiast dla osadów kondycjonowanych termicznie w temp. 50°C i czasie zatrzymania w łaźni wodnej 2,5 h pojemność czynna bioreaktora wynosiła 6,5 dm³. Zarówno jeden, jak i drugi układ wyposażono w instalację, która utrzymuje stałą temperaturę procesu, urządzenie zapewniające optymalne tempo mieszania oraz instalację do poboru biogazu. Na zewnątrz umieszczony jest płaszcz wodny służący do podgrzewania osadu wypełniającego komorę. Odpowiednią temperaturę 37°C zapewniała termoelektroda platynowa umieszczona wewnątrz komory. Biogaz ujmowano za pomocą układu, w skład którego wchodzi: cylinder o pojemności 2 dm³, wypełniony nasyconym roztworem chlorku sodowego, oraz butla wyrównawcza o pojemności 5 dm³. Cylinder umożliwiał odczyt ilości wytworzonego biogazu, zgromadzony w nim biogaz wypierał, na zasadzie naczyń połączonych, nadmiar cieczy z cylin-

dra do butli wyrównawczej. Kontrolę przebiegu fermentacji wykonywano codziennie na podstawie pomiaru ilości wyprodukowanego biogazu.

1.2. Substrat badań

Podstawowym substratem badań był osad nadmierny (90%) oraz osad przefermentowany (10%), pełniący rolę zaszczezu. Osady pobrano z Centralnej Oczyszczalni Ścieków P.S.W. „WARTA” w Częstochowie. Ogólną charakterystykę surowych osadów nadmiernych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Ogólna charakterystyka surowych osadów nadmiernych

Oznaczenie Rodzaj osadu	Uwodnienie	Sucha masa	Sucha masa org.	Sucha masa min.	Lotne kwasy tłuszczowe (LKT)	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT)
	%	g/dm ³	g/dm ³	g/dm ³	mgCH ₃ COOH/dm ³	mgO ₂ /dm ³
Nadmierny osad czynny	98,88	11,21	8,42	2,79	86	160

Stabilizacji beztlenowej poddano następujące mieszaniny:

- mieszanina A (surowy osad nadmierny + osad przefermentowany),
- mieszanina B (osad nadmierny kondycjonowany termicznie w temp. 50°C przez 2,5 h + osad przefermentowany),
- mieszanina C (osad nadmierny kondycjonowany termicznie w temp. 70°C przez 1,5 h + osad przefermentowany).

1.3. Metody analityczne

Dla badanych prób osadowych wykonano następujące oznaczenia fizyczno-chemiczne:

- pH przy użyciu pH-metru firmy Cole Palmer 59002-00 [7],
- suchej masy, suchej masy organicznej, suchej masy mineralnej [8],
- lotnych kwasów tłuszczowych LKT metodą destylacji z parą wodną [9],
- zasadowości ogólnej [10],
- kwasowości [11],
- chemicznego zapotrzebowania tlenu metodą dwuchromianową [12],
- azotu ogólnego Kjeldahla [13],
- azotu amonowego [14],
- czasu ssania kapilarnego (CSK) [15],
- oporu właściwego filtracji [16].

Stopień przefermentowania osadów (R) wyrażony zmniejszeniem ilości związków organicznych obliczono zgodnie z równaniem [17]

$$R = \frac{c - \frac{ab}{100 - b}}{c} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

R - stopień przefermentowania osadów, %; a - nieorganiczna substancja w procentach suchej masy początkowej, b - organiczna substancja w procentach suchej masy końcowej, c - organiczna substancja w procentach suchej masy początkowej.

2. Omówienie wyników badań

Wstępna obróbka termiczna osadów przed procesem fermentacji metanowej miała na celu zniszczenie mikroorganizmów osadu nadmiernego, uwolnienie zawartych w nich substancji organicznych i enzymów, a także zmniejszenie wielkości cząstek osadu. Efektem wzrostu stopnia dezintegracji osadów kondycjonowanych badaną metodą było skrócenie hydrolitycznej fazy fermentacji oraz przyspieszenie i intensyfikacja procesów zachodzących w kolejnych fazach stabilizacji beztlenowej. Na podstawie otrzymanych wyników badań stwierdzono, że dla $T = 80^{\circ}\text{C}$ przy czasie ogrzewania 2,5 h uzyskano ok. 11-krotny oraz ok. 3,5-krotny wzrost odpowiednio wartości ChZT i LKT w odniesieniu do wartości tych wskaźników przed procesem kondycjonowania. Dla obydwu badanych temperatur, tj.: $T = 50^{\circ}\text{C}$ oraz 60°C , przy czasie ogrzewania odpowiednio 2,5 i 3 h uzyskano ok. 9-krotny oraz ok. 3,5-krotny wzrost wartości ChZT i LKT w odniesieniu do wartości tych wskaźników przed procesem kondycjonowania. Natomiast dla $T = 70^{\circ}\text{C}$ oraz 90°C przy czasie ogrzewania odpowiednio 1,5 i 2,5 h uzyskano ok. 8,5-krotny oraz ok. 10,5-krotny wzrost wartości ChZT. W przypadku ww. temperatur przyrost wartości LKT był ok. 3-krotny oraz ok. 4-krotny.

W tabeli 2 przedstawiono dane dotyczące wpływu czasu preparowania osadów metodą termiczną w zakresie temperatur $50\text{--}90^{\circ}\text{C}$ na zmiany wartości ChZT oraz LKT.

Tabela 2

Zmiany wartości ChZT i LKT w osadach w zależności od czasu i temperatury dezintegracji termicznej

Temperatura	Najkorzystniejszy czas ogrzewania, h	$\text{ChZT}_T/\text{ChZT}_0$	$\text{LKT}_T/\text{LKT}_0$
$T = 50^{\circ}\text{C}$	2,5	9	3,5
$T = 60^{\circ}\text{C}$	3	9	3,5
$T = 70^{\circ}\text{C}$	1,5	8,5	3
$T = 80^{\circ}\text{C}$	2,5	11	3,5
$T = 90^{\circ}\text{C}$	2,5	10,5	4

Procesowi 10-dobowej fermentacji kwaśnej poddano mieszaninę A - niekondycjonowanych osadów nadmiernych oraz mieszaniny B i C, w przypadku których zastosowano termiczną metodę kondycjonowania osadów, tj. odpowiednio temperaturę 50 oraz 70°C. W tabeli 3 zestawiono najkorzystniejsze wartości ChZT i LKT uzyskane podczas 10-dobowej fermentacji surowych osadów nadmiernych oraz osadów poddanych termicznej obróbce. Podczas fermentacji surowych osadów nadmiernych - mieszanina A - w 4 dobie procesu odnotowano wartość maksymalną lotnych kwasów tłuszczowych (LKT) 497 mgCH₃COOH/dm³, natomiast w przypadku fermentacji osadów nadmiernych poddanych termicznej modyfikacji, zarówno dla mieszaniny B, jak i C maksymalną wartość LKT, wynoszącą odpowiednio 925 mgCH₃COOH/dm³ oraz 840 mgCH₃COOH/dm³, odnotowano w 2 dobie procesu.

Tabela 3

Zestawienie najkorzystniejszych wartości ChZT i LKT uzyskanych podczas 10-dobowej fermentacji metanowej osadów nadmiernych poddanych termicznej obróbce

Parametr	Fermentacja kwaśna osadów	Mieszanina A (surowe osady nadmierne)	Osady nadmierne poddane termicznej modyfikacji	
			Mieszanina B (T = 50°C)	Mieszanina C (T = 70°C)
LKT ₀ , mgCH ₃ COOH/dm ³ (przed procesem stabilizacji beztlenowej)		86	291	257
LKT _{max} , mgCH ₃ COOH/dm ³ (wartość max uzyskana w ciągu 10 dób prowadzenia procesu fermentacji kwaśnej)		497 (4 doba)	925 (2 doba)	840 (2 doba)
ChZT ₀ , mgO ₂ /dm ³ (przed procesem stabilizacji beztlenowej)		160	1210	1150
ChZT _{max} , mgO ₂ /dm ³ (wartość max uzyskana w ciągu 10 dób prowadzenia procesu fermentacji kwaśnej)		460 (4 doba)	1320 (2 doba)	1300 (2 doba)

Wyniki badań dotyczące wybranych parametrów fizyczno-chemicznych poszczególnych mieszanin (A, B i C) zestawiono w tabelach 3-6. Dobową i summaryczną produkcję biogazu dla surowych osadów nadmiernych, a także osadów kondycjonowanych metodą termiczną przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

W przypadku przeprowadzonych procesów 25-dobowej fermentacji metanowej mieszanin A, B i C uzyskano odpowiednio następujący stopień przefermentowania osadów: 45, 55 i 46%. Zawartość lotnych kwasów tłuszczowych przed procesem fermentacji metanowej osadów niekondycjonowanych wynosiła 86 mgCH₃COOH/dm³, natomiast w ostatniej dobie procesu 205 mgCH₃COOH/dm³ (tab. 4). W przypadku mieszanin B i C przed procesem

stabilizacji beztlenowej uzyskano następujące wartości LKT: 291 i 257 mgCH₃COOH/dm³ (tab. 3). W ostatniej dobie procesu otrzymano 205 mgCH₃COOH/dm³ dla mieszaniny B (tab. 5) oraz 222 mgCH₃COOH/dm³ w przypadku mieszaniny C (tab. 6).

Wartość początkowa ChZT wody osadowej dla osadów niepreparowanych wynosiła 160 mgO₂/dm³, gdy w przypadku osadów kondycjonowanych termicznie wartość ChZT osiągnęła wartość 1130 mgO₂/dm³ - mieszanina B i 1150 mgO₂/dm³ - mieszanina C. Natomiast w ostatniej 25-dobie prowadzonego procesu fermentacji wartość tego parametru wyniosła 120 mgO₂/dm³ dla mieszaniny A oraz odpowiednio 210 i 245 mgO₂/dm³ dla mieszanin B i C.

W przypadku osadów niekondycjonowanych opór filtracji przed procesem fermentacji metanowej wynosił 5,07·10¹³ m/kg, a w ostatniej dobie procesu uzyskano wartość 3,67·10¹³ m/kg. Dla osadów poddanych termicznej obróbce wartość oporu filtracji przed procesem stabilizacji beztlenowej wynosiła 6,55·10¹³ i 6,93·10¹³ m/kg odpowiednio dla mieszanin B i C. Po zakończeniu procesu fermentacji, tj. w 25 dobie, uzyskano następujące wyniki: 3,62·10¹³ m/kg - mieszanina B oraz 2,95·10¹³ m/kg - mieszanina C.

Tabela 4

Wybrane parametry fizyczno-chemiczne mieszaniny A (90% osad nadmierny +10% zaszczepu) poddanej procesowi 25-dobowej stabilizacji beztlenowej

Wskaźnik/Jednostka	Czas fermentacji metanowej, d	
	0	25
Sucha masa, g/dm ³	9,2	5,7
Sucha masa organiczna, g/dm ³	7,65	4,1
Sucha masa mineralna, g/dm ³	1,55	1,6
Kwasowość, meq/dm ³	6,8	2,4
Zasadowość, mgCaCO ₃ /dm ³	240	1200
ChZT, mgO ₂ /dm ³	160	120
Lotne kwasy tłuszczowe (LKT) mgCH ₃ COOH/dm ³	85	205
Azot Kjeldahla, mgN/dm ³	64,4	288,4
Azot amonowy, mgN-NH ₄ ⁺ /dm ³	53,2	316,4
pH	7,45	7,38
CSK, s	51	98
Wydajność filtracji, kg/m ² h	3,840	2,023
Prędkość filtracji, dm ³ /h	1,092	0,804
Opór filtracji, m/kg	5,07·10 ¹³	3,67·10 ¹³

Parametry charakteryzujące odwadnialność osadu zmieniły się w sposób znaczący, zaobserwowano wydłużenie się czasu ssania kapilarnego i zmniejszenie wartości takich parametrów, jak: wydajność filtracji, prędkość filtracji i opór filtracji. Na podstawie uzyskanych wyników dotyczących powyższych parametrów, na tym etapie badań, stwierdzono pogorszenie podatności osadów na odwadnianie.

Największą dobową produkcję biogazu ($0,16 \text{ dm}^3/\text{d}$) w przypadku osadów niekondycjonowanych zaobserwowano 8 dnia procesu. Dla osadów preparowanych metodą termiczną już w 5 dobie prowadzenia procesu uzyskano maksymalną produkcję wynoszącą $1,25 \text{ dm}^3/\text{d}$ dla mieszaniny B oraz $0,39 \text{ dm}^3/\text{d}$ dla mieszaniny C w 4 dobie procesu.

Sumaryczna produkcja biogazu dla mieszanin A, B i C wyniosła odpowiednio $1,4 \text{ dm}^3$ w przypadku osadów niekondycjonowanych oraz $8,5$ i $2,55 \text{ dm}^3$ dla osadów poddanych obróbce termicznej.

Tabela 5

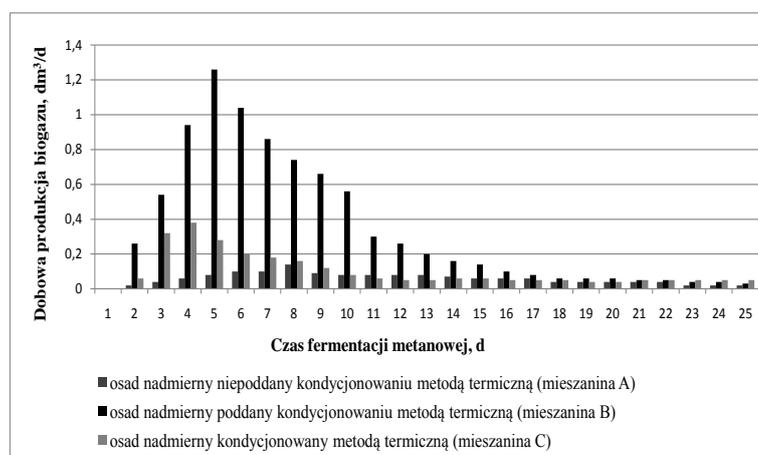
Wybrane parametry fizyczno-chemiczne mieszaniny B (90% os. nadmierny kondycjonowany termicznie przez 2,5 h w temp. $50^\circ\text{C} + 10\%$ zaszczeptu) poddanej procesowi 25-dobowej stabilizacji beztlenowej

Wskaźnik/Jednostka	Czas fermentacji metanowej, d	
	0	25
Sucha masa, g/dm^3	10,4	6,4
Sucha masa organiczna g/dm^3	8	3,6
Sucha masa mineralna g/dm^3	2,4	2,8
Kwasowość, meq/dm^3	540	1840
Zasadowość $\text{mgCaCO}_3/\text{dm}^3$	2	3
ChZT, mgO_2/dm^3	1130	210
Lotne kwasy tłuszczowe (LKT), $\text{mgCH}_3\text{COOH}/\text{dm}^3$	291	205
Azot Kjeldahla mgN/dm^3	210	380
Azot amonowy $\text{mgN-NH}_4^+/\text{dm}^3$	137	370
pH	7,7	7,5
CSK, s	62	151
Wydajność filtracji, $\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$	3,01	2,316
Prędkość filtracji, dm^3/h	0,918	0,564
Opór filtracji, m/kg	$6,55 \cdot 10^{13}$	$3,62 \cdot 10^{13}$

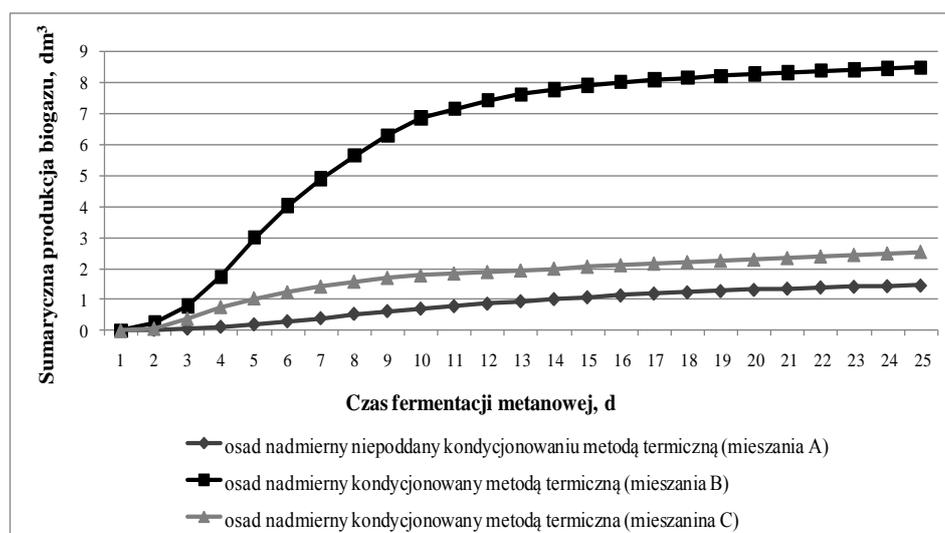
Tabela 6

Wybrane parametry fizyczno-chemiczne mieszaniny C (90% os. nadmierny kondycjonowany termicznie przez 1,5 w temp. 70°C +10% zaszczepu) poddanej procesowi 25-dobowej stabilizacji beztlenowej

Wskaźnik/Jednostka	Czas fermentacji metanowej, d	
	0	25
Sucha masa, g/dm ³	11	7,2
Sucha masa organiczna, g/dm ³	8,15	4,4
Sucha masa mineralna, g/dm ³	2,85	2,8
Kwasowość, meq/dm ³	680	1860
Zasadowość, mgCaCO ₃ /dm ³	2,6	1,6
ChZT, mgO ₂ /dm ³	1150	245
Lotne kwasy tłuszczowe (LKT) mgCH ₃ COOH/dm ³	257	222
Azot Kjeldahla, mgN/dm ³	176	383
Azot amonowy, mgN-NH ₄ ⁺ /dm ³	134	414
pH	7,47	7,57
CSK, s	69	165
Wydajność filtracji, kg/m ² h	3,384	2,608
Prędkość filtracji, dm ³ /h	0,996	0,432
Opór filtracji, m/kg	6,93 · 10 ¹³	2,95 · 10 ¹³



Rys. 1. Dobowa produkcja biogazu uzyskana w procesie stabilizacji beztlenowej surowych oraz termicznie modyfikowanych osadów nadmiernych



Rys. 2. Sumaryczna produkcja biogazu uzyskana w procesie stabilizacji beztlenowej surowych oraz termicznie modyfikowanych osadów nadmiernych

Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników badań dotyczących zagadnienia pozyskiwania biogazu w procesie stabilizacji beztlenowej termicznie modyfikowanych osadów nadmiernych sformułowano następujące wnioski:

1. Proces kondycjonowania osadów nadmiernych metodą termiczną przyczynił się do przyspieszenia fazy acidogennej procesu, gdyż już w początkowych dobach procesu, w odniesieniu do procesu stabilizacji beztlenowej surowych osadów nadmiernych, zaobserwowano wzrost generowania lotnych kwasów tłuszczowych, a także intensyfikację produkcji biogazu.
2. W wyniku poddania osadów termicznej modyfikacji wartości chemicznego zapotrzebowania tlenu (ChZT) oraz lotnych kwasów tłuszczowych (LKT) w przypadku mieszaniny B ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $t = 2,5$ h) oraz mieszaniny C ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $t = 1,5$ h) wzrosły odpowiednio ok. 9-krotnie i ok. 3-krotnie w porównaniu do wartości tych parametrów dla surowych osadów nadmiernych - mieszanina A.
3. W wyniku poddania surowych osadów nadmiernych - mieszanina A oraz preparowanych termicznie - mieszanin B ($T = 50^{\circ}\text{C}$, $t = 2,5$ h) i C ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $t = 1,5$ h) 25-dobowej stabilizacji uzyskano jednostkową produkcję biogazu wynoszącą odpowiednio 0,4, 1,92 i 0,7 dm^3/g s.m.o. Natomiast stopień przefermentowania dla badanych mieszanin A, B i C wyniósł 45, 55 i 46%.
4. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że wpływ na efektywność procesu stabilizacji beztlenowej wywiera nie tylko wzrost temperatury termicznej modyfikacji osadów, ale również, w aspekcie intensyfikacji genero-

wania lotnych kwasów tłuszczowych i uzyskanej jednostkowej produkcji biogazu, czas kondycjonowania.

Podziękowania

Pracę zrealizowano ze środków projektu badawczego N N523 563438 „Ocena wpływu fizycznej modyfikacji osadów ściekowych na ich biodegradację oraz efektywność odwadniania”.

Literatura

- [1] Zielewicz-Madej E., Zastosowanie dezintegracji ultradźwiękowej do intensyfikacji produkcji lotnych kwasów tłuszczowych z osadu wtórnego, Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Osady ściekowe - problem aktualny, Częstochowa-Ustroń 2001, 155-160.
- [2] Kempa E.S., Bień J., Problemy przeróbki osadów ściekowych, Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Problemy gospodarki osadowej w oczyszczalniach ścieków, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1995, 1-61.
- [3] Zielewicz E., Dezintegracja ultradźwiękowa osadu nadmiernego w pozyskaniu LKT, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
- [4] Janosz-Rajczyk M., Dąbrowska L., Płoszaj J., Zmiany zawartości metali ciężkich podczas fermentacji metanowej kondycjonowanych osadów ściekowych, Inżynieria i Ochrona Środowiska 2003, 6, 2, 157-166.
- [5] Zheng J., Graff R.A., Fillos J., Rinard I., Incorporation of rapid thermal conditioning into a wastewater treatment plant, Fuel Processing Technology 1998, 56, 183-200.
- [6] Zawieja I., Wykorzystanie biogazu jako niekonwencjonalnego źródła energii na obszarze Polski, EkoTechnika 2004, 1(29), 50-53.
- [7] Polskie Normy (PN-9/C-04540/05), Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa.
- [8] Polskie Normy (PN-EN 12879), Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa.
- [9] Polskie Normy (PN-75/C-04616/04), Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa.
- [10] Polskie Normy (PN-91/C-04540/05), Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa.
- [11] Polskie Normy (PN-91/C-04540/05), Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa.
- [12] International Measurements Standards ISO 7027.
- [13] Polskie Normy (PN-73/C-04576/10), Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa.
- [14] Polskie Normy (PN-73/C-04576/02), Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa.
- [15] Polskie Normy (PN-EN 14701-1), Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa.
- [16] Polskie Normy (PN-EN 14701-2), Wydawnictwo Normalizacyjne, Warszawa.
- [17] Kempa E., Gospodarka odpadami miejskimi, Arkady, Warszawa 1983.

Biogas Generation during the Anaerobic Stabilization of Thermally Modified Sewage Sludge

The increase of the disintegration degree of thermally pretreated excess sludge determines its susceptibility to biodegradation. Thermal hydrolysis process, directly affects on the course rate of hydrolytic phase during anaerobic stability, and consequently on the efficiency of methane fermentation, giving the increase of sludge digestion degree and biogas production. The aim of this study was the intensification of biogas production during anaerobic stabilization of thermally conditioned excess sludge. Test substrate of the re-

search was excess sludge from the Central Wastewater Treatment Plant "Warta" in Czestochowa. In order to initiate the process of stabilization, the excess sludge was inoculated by digested sludge, constituting 10% of the test mixture. At the outset of the study the most favorable conditions for the thermal modification of excessive sludge was determined. Five cycles of testing for temperatures 50, 60, 70, 80, 90°C and time interval 0.5÷3 h were carried out. In the next stage of the study, periodic stabilization process was conducted in anaerobic digester in the mesophilic temperature regime. During 10 days of acid fermentation, in laboratory flasks changes in physico-chemical parameters of digested sludge were examined. From the test temperature range two temperatures 50 and 70°C were selected for further study. For the temperature of 50°C and the conditioning best time of 2.5 h, approximately 9-fold and 3.5-fold increase of the COD and VFA values in relation to baseline values were obtained, whereas for the temperature of 70°C and the conditioning best time of 1.5 h respectively about 8.5-fold and 3.5-fold increase of the COD and VFA values were observed. As a result of 25-day anaerobic stabilization process the following digestion degrees were obtained: for raw excess sludge 45% for, deposits thermally conditioned at 50 and 70°C in periods of 2,5 h and 1.5 h: 55 and 46% respectively. The unit biogas production for the above sludge amounted to 0.4, 1.92. and 0.7 dm³/g o.d.m.

Keywords: renewable energy sources (RES), biogas, anaerobic stabilization, thermal pretreatment, volatile fatty acids (VFAs), chemical oxygen demand (COD)