

Marek Gazda, Adam Rak, Marta Sudak

**BADANIA KOFERMENTACJI OSADÓW ŚCIEKOWYCH
Z TŁUSZCZAMI ODPADOWYMI W OCZYSZCZALNI
ŚCIEKÓW W BRZEGU**

**RESEARCH ON COFERMENTATION
OF SEWAGE SLUDGE WITH WASTE FATS FOR
THE WASTEWATER TREATMENT PLANT IN BRZEG**

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę funkcjonowania instalacji ko-fermentacji osadów ściekowych z tłuszczami odpadowymi pochodzącymi z odtłuszczenia ścieków przemysłowych pochodzących z zakładu tłuszczowego. W okresie dwóch lat (2008-2009) prowadzono badania efektywności procesu ko-fermentacji mierzonego ilością otrzymanego biogazu oraz wpływu ilości dozowanego tłuszczu odpadowego na przebieg procesu fermentacji mieszaniny osadu ściekowego i tłuszczu odpadowego. Proporcja objętościowa pomiędzy fermentowanym osadem i tłuszczem odpadowym wynosiła średnio 10:1. Maksymalna jednorazowa proporcja wyniosła 4:1 (tłuszcz stanowił 25% wsadu). W zależności od ilości dozowanego tłuszczu ilość wytwarzanego biogazu wzrastała nawet o 80% więcej niż w przypadku fermentacji tylko osadu ściekowego. W okresie badawczym uzyskano dodatkowo średnio 107 m³ biogazu na każdą 1 Mg tłuszczu dozowanego do komór fermentacyjnych. Taka ilość biogazu pozwala na wyprodukowanie dodatkowo 180 kW energii elektrycznej i około 2,8 kW odzyskanej ze spalin energii cieplnej. Ustalono, że przyrost ilości wytwarzanego biogazu uzależniona jest nie tylko od proporcji dozowanego tłuszczu odpadowego, lecz także od jego właściwości. Zaobserwowano, że gdy dozowano tłuszcz w którym rozpoczęły się już procesy rozkładu związków organicznych (tzw. tłuszcz zagniły) to wzrastała ilość biogazu. Świadczy to o tym, że taka mieszanina osadu i tłuszczu była bardziej przyswajalna dla bakterii metanowych odpowiedzialnych za efektywność procesu fermentacji. Osad po fermentacji cechował się stabilnymi właściwościami: odczyn 7,0-7,4 pH, zasadowość ogólna 72-99 val·m⁻³. W wyniku prowadzenia procesu ko-fermentacji stopień mineralizowania osadu przefermentowanego zmniejsza się

z 40% do 33%, co można odczytać jako negatywny aspekt prowadzonego procesu ko-fermentacji. Dwuletnia eksploatacja instalacji pokazała, iż ko-fermentacja tłuszczu odpadowych jest bardzo efektywna w procesie produkcji biogazu, co wiąże się z zwiększeniem opłacalności prowadzonego procesu. Obciążanie komór WKFz nawet dużymi dawkami tłuszczu nie zaburzało procesu fermentacji osadu ściekowego.

słowa kluczowe: osady ściekowe, tłuszcze odpadowe, fermentacja mezofilowa, biogaz

Summary

The article presents the analysis of operation of sewage sludge co-fermentation with waste fats coming from de-fattening process of industrial sewage generated in fat production facilities. Within the period of two years (2008-2009) analyses of the co-fermentation process efficiency have been carried out measured by the volume of generated biogas as well as the analysis of influence of the amount of waste fat used on the sewage sludge and waste fat mixture fermentation process. The average volume proportion between the fermented sludge and waste fat was 10:1. The maximum ratio was 4:1 (fat constituted 25% of batch). Depending on the amount of dosed fat the biogas fermentation was increased even by 80% in comparison to the case where only sewage sludge was fermented. During the examination period 107 m³ of biogas in average have been additionally achieved, for each 1 Mg of fat added into the fermentation chambers. Such volume of biogas allows for generation of additional 180kW of electric energy and approx. 2,8 KW of heat energy recovered from exhaust fumes. It was agreed that the increase of generated biogas volume depends not only on the ratio of dosed waste fat but also on its characteristics. It was observed that in case of dosing fat in which organic matters biodegradation processes had been already started the volume of biogas was increased. It demonstrates that such mixture of sludge and fat was more acceptable for methane bacteria responsible for fermentation process effectiveness. Sludge after fermentation is characterized by stable parameters: pH 7,0-7,4, basicity 72-99 val·m⁻³. During co-fermentation process the mineralization degree of fermented sludge decreases from 40% to 33% which can be taken as negative aspect of this process. A two-year operation of this installation proved that waste fat co-fermentation is very effective in biogas production which in effect provides higher cost-effectiveness of this process. Loading chambers even with big portions of fat did not interfere the sewage sludge fermentation.

key words: sewage sludge, waste fats, mesophilic fermentation, biogas

WSTĘP

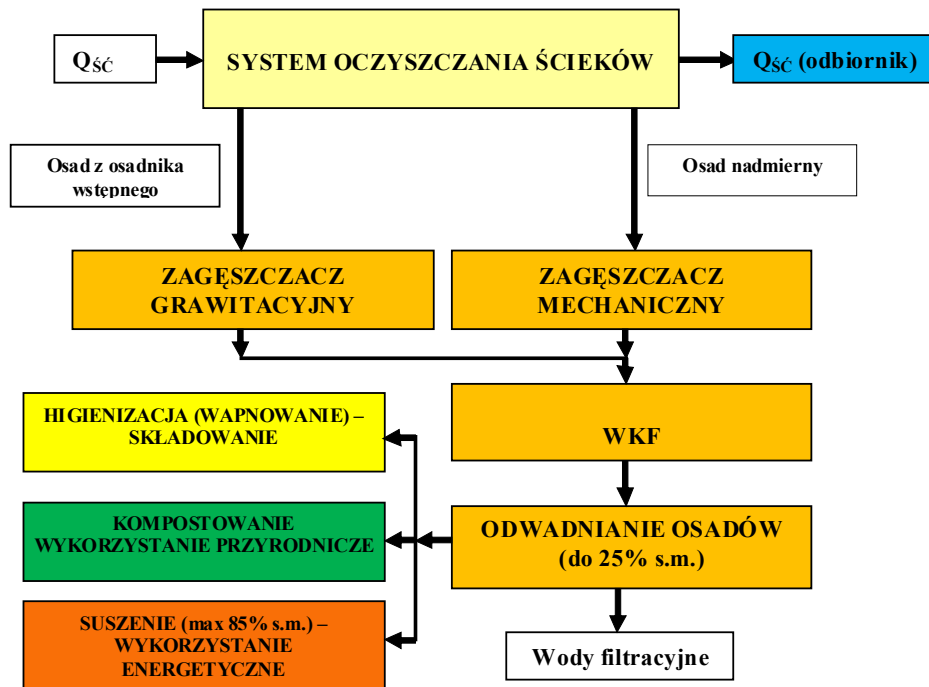
Do podstawowych odpadów powstających na oczyszczalniach ścieków komunalnych należą osady ściekowe pochodzące z procesów mechanicznego, biologicznego i chemicznego oczyszczania. Zgodnie z art. 3 ust. 3 pkt 2 ustawy o odpadach [2001], przez komunalne osady ściekowe rozumie się pochodzący

z oczyszczalni ścieków osad z komór fermentacyjnych oraz innych instalacji do oczyszczania ścieków komunalnych oraz innych ścieków o składzie zbliżonym do składu ścieków komunalnych. Osady powstają na różnych etapach oczyszczania ścieków. W procesie sedymentacji w osadnikach wstępnych otrzymuje się osad wstępny. Osad wtórny wydzielany jest w osadnikach wtórnych. Z reguły są to osady wytworzone w procesach biologicznego oczyszczania ścieków. Osady te zwraca się do obiegu oczyszczania ścieków jako osady recykulowane lub usuwa z obiegu do dalszej przeróbki jako osady nadmierne. W wyniku zmieszania osadów wstępnego i wtórnego otrzymuje się mieszaninę tych osadów. Ilość powstających osadów uzależniona jest od zawartości zanieczyszczeń w ściekach, technologii oczyszczania, sposobu przeróbki osadu w celu stabilizacji, zmniejszenia masy i objętości osadu oraz reagentów stosowanych w procesie oczyszczania ścieków i przeróbki osadów (np. zastosowanie reagentów, szczególnie do strącania fosforu powoduje wzrost ilości osadów o 25-35 %) [Dymaczewski Z. i in. 1997, Oleszkiewicz J., 1998]. W zależności od technologii przeróbki osadów ich właściwości są bardzo zróżnicowane, Stąd można wyróżnić następujące właściwości osadów ściekowych:

- wysokie uwodnienie (ponad 99 % dla osadów surowych, 55-80 % dla osadów odwodnionych, poniżej 10 % po termicznym suszeniu),
- wysoka zawartość związków organicznych (około 75-85 % suchej masy dla osadów niestabilizowanych, 45-55 % dla osadów ustabilizowanych),
- wysoka zawartość związków azotu (2-7 % s.m.), niższa związków fosforu i potasu. Zawartość składników nawozowych, takich jak azot, fosfor i wapń w osadzie jest 1,5 razy większa niż w dobrej jakości oborniku. Niższy natomiast jest poziom potasu i magnezu,
- zróżnicowana zawartość metali ciężkich (największa w przypadku oczyszczalni ścieków zlokalizowanych w silnie uprzemysłowionych miastach),
- zróżnicowany stopień zagrożenia sanitarnego – największy dla osadów surowych wstępnych, najmniejszy dla osadów ustabilizowanych i higienizowanych. Wśród wykrywanych w osadach ściekowych organizmów patogennych występują bakterie chorobotwórcze (pałeczka duru brzuszego, czerwonki, tężca, gruźlicy), grzyby (np. grzyby pleśniowe i dermatofity), wirusy, pierwotniaki oraz jaja pasożytów (*Ascaris* – glista ludzka, *Toxocara* – glista psia lub kocia, *Trichuris* – włosogłówka).

Podstawową cechą osadów ściekowych jest ich zdolność do zagniwania, trudność odwadniania, obecność bakterii chorobotwórczych i pasożytów. Stąd osady ściekowe najczęściej deponowane są na składowiskach odpadów komunalnych. Biorąc jednak pod uwagę wartości nawozowe osadów ściekowych końcowym etapem ich unieszkodliwiania powinno być ich rolnicze lub przyrodnicze wykorzystanie [Sikorski M., Bauman-Kaszubska H., 2007].

Na rys. 1 zobrazowano typowy układ technologiczny przeróbki osadów w obecnie eksploatowanych systemach oczyszczania ścieków komunalnych.



Rysunek 1. Typowy schemat blokowy ciągu technologicznego przeróbki osadów ściekowych

Figure 1. A typical block diagram of the technological processing of sewage sludge

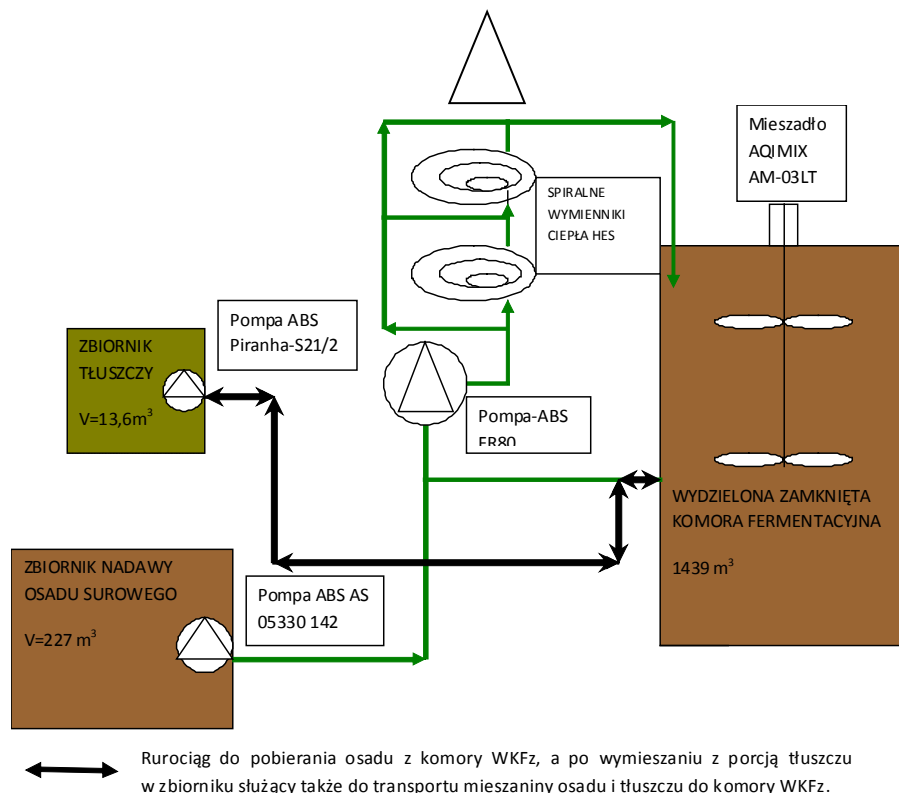
W wydzielonych komorach fermentacyjnych (WKFz), prowadzona jest fermentacja beztlenowa z odzyskiem biogazu. Najczęściej prowadzona jest fermentacja mezofilowa w temperaturze 30-38°C, co umożliwia jednocześnie stabilizację beztlenową osadów ściekowych. Głównym celem fermentacji, jako procesu wielofazowego jest przemiana hydrofilowego, silnie uwodnionego, o dużej lepkości i niebezpiecznego pod względem sanitarnym osadu ściekowego w łatwo odwadniającego się, o małej lepkości ziemisty osad [Barbusiński K., 1993; Bień J. i in., 1999]. Wyniki badań wspólnego fermentowania osadów ściekowych z tłuszczami lub innymi odpadami wskazują na zwiększenie wydajności produkcji biogazu będącego źródłem ciepła i energii elektrycznej [Valladao i in., 2009, Zajada A. i in. 2011; Wrieger-Bechtold A. i in. 2011]. W zależności od rodzaju materiału fermentowanego zmienia się nie tylko ilość, ale również skład biogazu. W praktyce eksploatacyjnej kofermentacji najlepiej stosować odpady płynne/półpłynne z przemysłu spożywczego, które nie wymagają uprzedniego przygotowania przed wprowadzeniem do WKFz.

OPIS OBIEKTU BADAWCZEGO

Linia technologiczna fermentacji osadów ściekowych na oczyszczalni w Brzegu została uruchomiona w 2007 roku (90000 RLM). Instalacja umożliwia dawkowanie dodatkowych substratów bezpośrednio do komór WKFz. Od tego czasu możliwe jest wprowadzenie substratu do zbiornika osadów zmieszanych, gdzie po zhomogenizowaniu, mieszanina osadów i substratu dawkowana jest do WKFz. Pierwotnie zakładano możliwość przyjęcia jako substratu odpadów roślinnych, jednak wyposażenie instalacji przystosowane jest do przyjmowania odpadów płynnych, pozbawionych nierozdrobnionych części stałych. Od początku 2008 na tej instalacji prowadzona jest kofermentacja tłuszczu odpadowych powstających w instalacji odtłuszczownika ścieków przemysłowych z Zakładów Tłuszczowych Kruszwica Oddział Brzeg. Linia kofermentacji osadów i tłuszczu składa się z linii przygotowania osadów surowych, zbiornika nadawy osadu, zbiornika tłuszczu, dwóch WKFz oraz zbiorników osadu prefermentowanego (rys. 2). Osad prefermentowany jest odwadniany mechanicznie na wirówce. Gaz fermentacyjny jest oczyszczany na mikrobiologicznej odsiarczalni. Oczyszczony i odwodniony gaz jest magazynowany w zbiorniku o pojemności 950 m³. Ze zbiornika gaz jest podawany na trzy jednakowe agregaty kogeneracyjne, każdy o mocy elektrycznej 100kW i 160 kW mocy cieplnej. Kogeneratory wyposażone są w chłodnice odbierające nadmiar ciepła w okresie letnim.

Linia przygotowująca osad oprócz zagęszczacza taśmowego, składa się także z maceratora do rozdrabniania osadu zagęszczonego. Tak przygotowany osad wstępny i nadmierny trafia do zbiornika nadawy o pojemności 227 m³, wyposażonego w zgarniacz z zainstalowanymi mieszadłami, zapobiegającymi rozwarstwianiu osadu. Zbiornik tłuszczu jest wyposażony w mieszadło szybkoobrotowe i połączony jest rurociągiem Ø 80 mm z instalacją dawkowania osadu do WKFz. Do każdej komory WKFz wprowadzona jest dobowo dwukrotnie dawka osadu (osad nadmierny + osad wstępny) o zawartości 3,5% s.m., średnio 21,5 m³. Osad surowy przed aplikacją do WKFz jest mieszany ze strugą osadu recyrkulowanego w instalacji oraz podgrzewany do temperatury około 35 °C.

Dowożony beczkowitzem tłuszcz odpadowy ma temperaturę pomiędzy |40-50 °C. Zostaje podany do zbiornika tłuszczu, do którego wcześniej dozowane jest około 2 m³ osadu pobieranego z WKFz. Po podaniu tłuszczu następuje uzupełnienie osadem z WKFz do pełnej pojemności komory. Całość po wymieszaniu przez około 30 min podawana jest wprost do wnętrza komory WKFz (rys. 2). Dzięki wysokiej temperaturze tłuszczu, nie ma potrzeby podgrzewania mieszaniny.



Rysunek 2. Schemat układu kofermentacji tłuszczu i osadów ściekowych
Figure 2. Diagram of the cofermentation of fats and sewage sludge

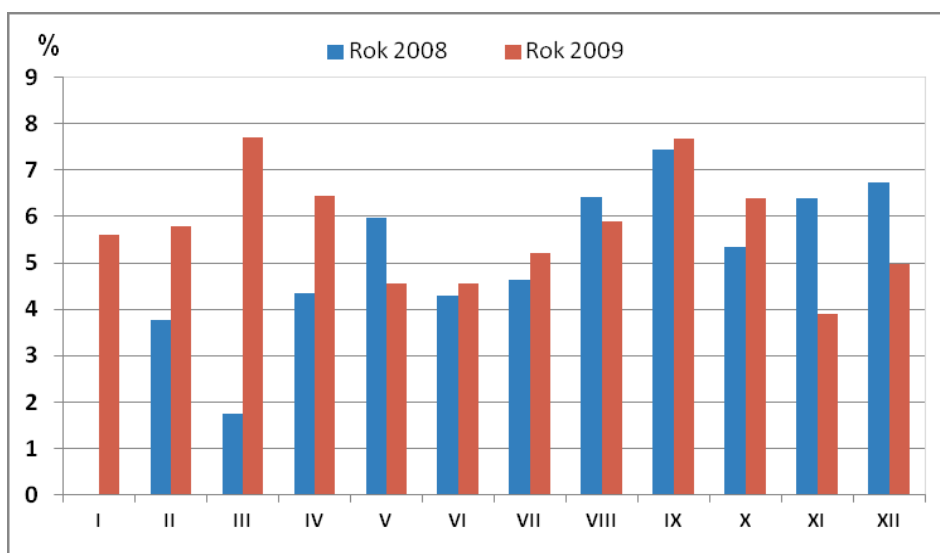
METODYKA BADAŃ

Materiał badawczy to zmieszany i zagęszczony osad po osadniku wstępnym z nadmiernym osadem czynnym oraz tłuszcze odpadowe z zakładów tłuszczowych. Osad ściekowy pochodził z oczyszczalni ścieków w Brzegu z podwyższonym usuwaniem związków biogennych działającej według technologii osadu czynnego. W latach 2008-2009, po uruchomieniu instalacji kofermentacji monitorowano węzeł gospodarki osadowej na oczyszczalni. W tym czasie codziennie mierzono: ilość osadów ściekowych dozowanych do instalacji, ilość dawkowanych tłuszczu odpadowych oraz ilość wytworzonego biogazu. Jednocześnie okresowo wykonano badania osadu surowego, osadu przefermentowanego oraz tłuszczu odpadowego. W próbach osadów wykonywano takie oznaczenia, jak: pH, zasadowość, ChZT, azot Kjehdla, fosfor ogólny, sucha

masa ogólna, sucha masa organiczna, sucha masa mineralna, uwodnienie, lotne kwasy tłuszczowe (LKT) i ekstrakt eterowy.

WYNIKI BADAŃ I ANALIZ

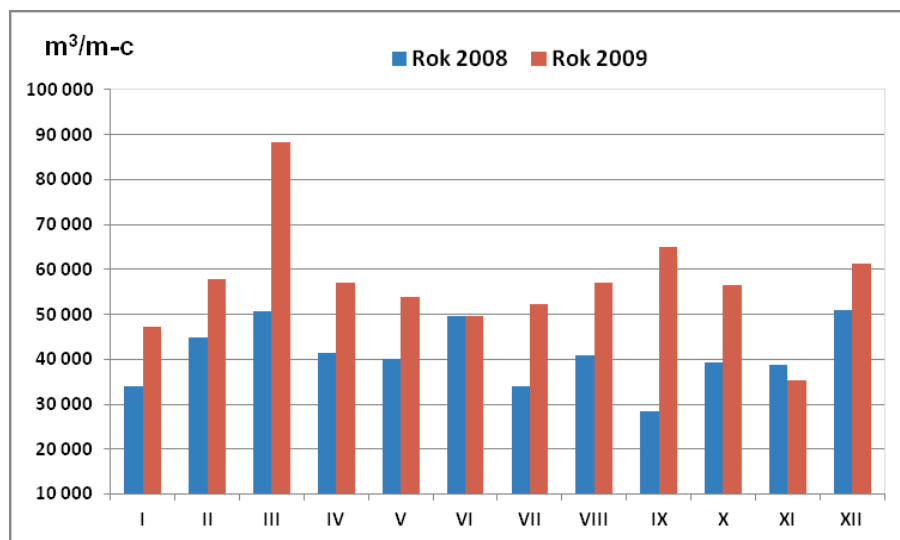
W okresie badawczym dzienna porcja osadów dawkowanych do WKFz wynosiła od 75 do 127m³ (średnio 86 m³/d), jednorazowa porcja osadów średnio 21,5 m³. W tym samym okresie tłuszcze były dawkowane maksymalnie 5-razy w tygodniu, średnio 16 dni w miesiącu. W okresie badawczym udział tłuszczu w masie fermentacyjnej wynosiła od 1,3 do 7,67 % (Rys. 3). Jednorazowo do komory dozowano 1,6 do 5,7 m³ tłuszczu, średnio 4,4 m³. Maksymalna proporcja osadu do tłuszczu wynosiła 4:1 (tłuszcz stanowił 25 % wsadu).



Rysunek 3. Udział tłuszczu odpadowego o ogólnej masie fermentacyjnej w okresie badawczym

Figure 3. Participation of total fat mass of waste fermentation during the test

Po zakończeniu rozruchu technologicznego instalacji WKFz (styczeń 2008), do masy fermentacyjnej osadu ściekowego zaczęto dodawać tłuszcz odpadowy. Stąd za miesiąc bazowy przyjęto styczeń 2008 roku zakładając, że w tym miesiącu całość produkcji biogazu w instalacji jest uzyskana z fermentacji tylko osadu ściekowego. W okresie badawczym ilość wytworzonego biogazu wahała się dziennie od 913 m³/d (wrzesień 2008), do 2848 m³/d (marzec 2009), średnio 1579 m³/d. Ilość wytworzonego biogazu na instalacji w poszczególnych miesiącach okresu badawczego zobrazowano na rys. 4.



Rysunek 4. Ilość biogazu wytworzona na instalacji w okresie badawczym
Figure 4. The amount of biogas produced on the installation during the test

Obliczenie ilości biogazu przypadającą na 1Mg tłuszczu dozowanego do komory WKFz obliczono według wzoru 1, odejmując od produkcji miesięcznej biogazu spodziewaną produkcję biogazu z fermentacji osadu ściekowego obliczoną ze wzoru (2) i podzieloną przez ilość przyjętych w danym miesiącu tłuszczu odpadowych.

$$V_{\text{gaz}(T)} = (V_{\text{gaz(Ogółem)}} - V_{\text{gaz(Osad ściekowy)}} \times A) / V_T \text{ [m}^3\text{/1Mg tłuszczu]} \quad (1)$$

Gdzie:

$V_{\text{gaz}(T)}$ – objętość biogazu przypadająca na 1Mg tłuszczu dozowanego do instalacji [m³/Mg],

Współczynnik: $A = V_{\text{gaz}}/V_{\text{osad}}$, $A = 12,764$ (2)

$V_{\text{gaz}} = 34088 \text{ m}^3\text{/m-c}$: produkcja biogazu w styczniu 2008 r.,

$V_{\text{osad}} = 2666 \text{ m}^3\text{/m-c}$: ilość osadu ściekowego dozowanego do instalacji w styczniu 2008r.,

$V_{\text{gaz(Ogółem)}}$ – ilość biogazu wytworzona w analizowanym okresie (np. miesiąc) [m³],

$V_{\text{gaz(Osad ściekowy)}}$ – obliczeniowa ilość biogazu uzyskana z fermentacji osadów ściekowych [m³],

V_T – objętość tłuszczu dozowana do instalacji [m³].

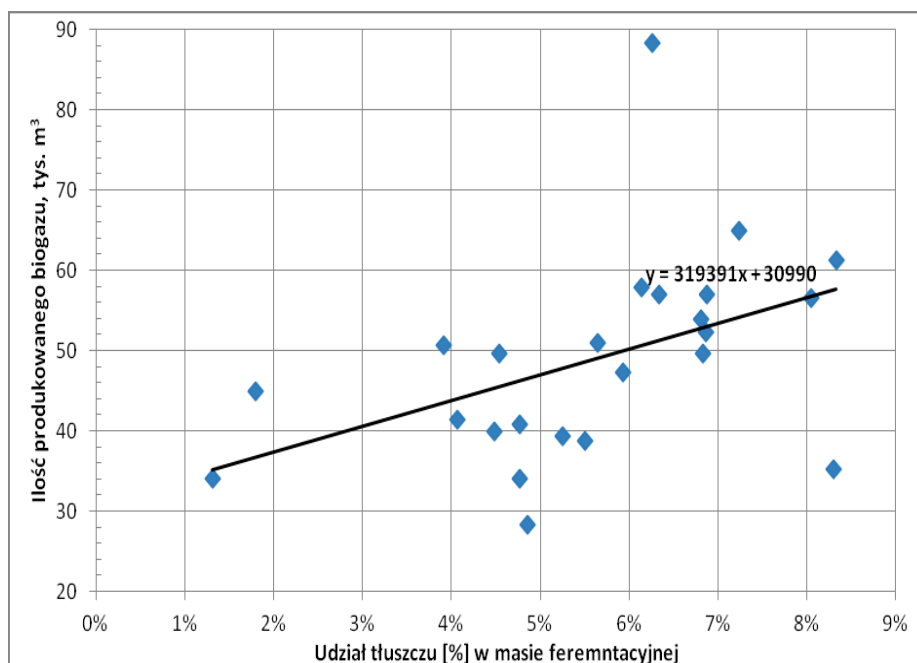
Wykorzystując formułę 1 i 2, w tabeli 1 zestawiono obliczoną ilość biogazu w poszczególnych miesiącach badawczych w przeliczeniu na 1 Mg tłuszczu dozowanego do instalacji.

Tabela 1. Ilość dozowanego do instalacji WKFz osadu ściekowego i tłuszczu odpadowego oraz produkcja biogazu
Table 1. Amount WKFz dosage for installation of sewage sludge and waste fats and the amount of biogas produced

Rok/ Miesiąc	Ilość dozowanego do instalacji osadu ściekowego	Ilość dozowanego do instalacji tłuszczu odpadowego	Ilość wytworzonego biogazu		Wzrost ilości biogazu wytworzonego w stosunku do stycznia 2008r	Produkcja biogazu przypadająca na 1Mg tłuszczu odpadowego
			miesięcznie	dziennie		
Jednostka	m ³	Mg	m ³ /m-c	m ³ /d	%	m ³ /Mg
Rok 2008						
I (bazowy)	2 666	0	34 088	1 100	0	0
II	2 961	116	44 923	1 449	32	61
III	3 843	69	50 708	1 636	49	23
IV	2 157	98	41 401	1 336	21	141
V	1 388	88	39 962	1 289	17	253
VI	2 097	94	49 715	1 604	46	244
VII	1 976	96	34 119	1 101	0,1	92
VIII	2 536	174	40 874	1 319	20	49
IX	1 902	153	28 307	913	-17	26
X	2 446	138	39 401	1 271	16	59
XI	2 481	169	38 708	1 249	14	41
XII	2 724	197	51 013	1 646	50	82
Rok 2009						
I	3 205	190	47 221	1 523	38	33
II	3 551	218	57 811	1 865	70	57
III	3 181	265	88 301	2 848	159	180
IV	3 171	218	57 016	1 839	67	76
V	2 997	143	53 936	1 740	58	109
VI	2 870	137	49 580	1 599	45	94
VII	2 524	139	52 314	1 688	53	144
VIII	2 524	158	57 057	1 841	67	157
IX	2 264	188	64 995	2 097	91	191
X	2 327	159	56 575	1 825	66	169
XI	2 262	92	35 241	1 137	3	69
XII	2 478	130	61 280	1 977	80	228

Wyniki obliczeń zestawione w tabeli 1, wskazują na pewne anomalie. Nie można wprost określić zależności, że ilość biogazu wzrasta wraz z udziałem tłuszczu w masie fermentacyjnej (rys. 5). Maksymalny udział tłuszczu w masie fermentacyjnej wystąpił w maju, wrześniu, listopadzie i grudniu 2008r. oraz

w marcu i wrześniu 2009 r. (rys. 3). Natomiast maksymalną produkcję biogazu odnotowano w maju i czerwcu 2008 r. oraz marcu, wrześniu i grudniu 2009 r. Powyższe anomalie mogą być związane są z różną jakością tłuszczu dozowanego do instalacji. W okresie maj-czerwiec 2009 r. oraz październik-grudzień 2009 r., tłuszcz odpadowy był wstępnie zhydrolizowany. Nadto należy wskazać, że w marcu 2009 r. zaobserwowano, że produkcja godzinowa biogazu przekracza maksymalne możliwości przepustowe instalacji - licznik przepływu biogazu wskazywał produkcję 200 m³/h i przy pracujących trzech agregatach prądotwórczych zachodziła konieczność spalania interwencyjnego nadmiaru biogazu w instalacji pochodni.



Rysunek 5. Wpływa ilości tłuszczu odpadowego w masie fermentacyjnej na ilość produkowanego biogazu

Figure 5. Influences the amount of fat in the mass of fermentation on the amount of biogas produced

Porównanie produkcji biogazu oraz ilości dodawanego tłuszczu odpadowego potwierdza pozytywny wpływ tego substratu na przebieg fermentacji. Szczególnie jest to widoczne dla wyników z marca 2009 r., kiedy to wzrost ilości tłuszczu skutkowało zwiększeniem produkcji biogazu. Tę samą zależność widać w listopadzie 2009 r. Mniejsza ilość tłuszczu spowodowała znaczący spa-

dek produkcji biogazu. Wyniki badań osadu wykazały, że komory fermentacyjne pracowały stabilnie, co potwierdziły cotygodniowe wyniki analiz zasadowości, odczynu, lotnych kwasów tłuszczowych (LKT), suchej masy, suchej masy organicznej i mineralnej [Laboratorium PWiK Brzeg]. Podstawowe parametry osadu po fermentacji kształtowały się odpowiednio: pH 7,0-7,4, zasadowość ogólna 72 - 99 val/m³, LKT od 180 do 390 mg CH₃COOH/dm³ a moduł fermentacji oscylował pomiędzy 21 – 45%. Jak podaje Bartoszewski [1995], podstawowe wskaźniki gwarantujące prawidłowy przebieg fermentacji metanowej powinny wynosić odpowiednio: pH – około 7, zasadowość og. od 40 do 60 val/m³, LKT od 200 do 600 mg CH₃COOH/dm³. Zmiana w ilości LKT jest oznaką problemów eksploatacyjnych. Stosunek LKT do zasadowości ogólnej w żadnym okresie prowadzonych badań nie przekroczył wartości krytycznej określanej na poziomie 0,3. Wartość LKT/Zas. wynosiła od 0,04 do 0,08. Nieregularność uzyskanych wyników w produkcji biogazu było skutkiem zmiennych właściwości dodawanych do instalacji tłuszczy odpadowych. Negatywnym aspektem prowadzonego procesu jest trudniejsza mineralizacja osadu. Na początku prowadzenia procesu kofermentacji stopień mineralizowania osadu przefermentowanego wynosił 40%, w pierwszej połowie 2008r. zbliżył się do 33%, by pod koniec 2009 r. wynieść 37%.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zgodnie z oczekiwaniami, w procesie fermentacji mieszanin zawierających w swym składzie osad ściekowy i tłuszcze odpadowe zaobserwowano powstawanie znacznie większej ilości biogazu w porównaniu z fermentacją osadu ściekowego bez dodatku kosubstratu. Kofermentacja tłuszczy odpadowych pozwala na dodatkową produkcję biogazu. Średnia ilość biogazu wyprodukowanego w okresie dwuletniego okresu badawczego z dozowania do instalacji 1 Mg tłuszczy odpadowego wyniosła 107 m³. Taka ilość pozwala na wyprodukowanie około 180 kW energii elektrycznej i około 2,8 kW odzyskanej ze spalin energii cieplnej. Utylizacja tłuszczy odpadowego z zakładów tłuszczowych przynosi wymierne korzyści operatorowi oczyszczalni ścieków związane z dodatkowymi dochodami za przyjęcie odpadu oraz dodatkową ilością wyprodukowanego biogazu. Badania wykazały, że udział tłuszczy stanowiący do 25% w jednorazowej porcji masy fermentacyjnej dozowanej do komory WKFz nie powoduje zakłóceń procesu fermentacji mezofilowej, nawet przy zmiennych właściwościach tłuszczy odpadowego. Natomiast negatywnym aspektem podawania tłuszczy, jako substratu o wyższej zawartości związków organicznych niż osad jest obniżenie stopnia mineralizacji osadu przefermentowanego.

BIBLIOGRAFIA

- Barbusiński K. *Leksykon biotechnologii środowiska*. PWN Warszawa 1993.
- Bartoszewski K. *Kontrola przebiegu procesu fermentacji osadów w komorach fermentacyjnych*. Problemy gospodarki osadowej w oczyszczalniach ścieków. I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Częstochowa 1995.
- Bień J., Matysiak B., Wystalska K. *Stabilizacja i odwodnienie osadów ściekowych*. Wyd. Politechniki Częstochowskiej 1999.
- Dymaczewski Z., Oleszkiewicz J.A., Sozański M.M. *Poradnik eksploratora oczyszczalni ścieków*, PZIT Poznań 1997.
- Laboratorium PWIK Brzeg. *Wyniki badania osadów ściekowych w okresie 2008-2009*. PWIK Brzeg.
- Oleszkiewicz J. *Gospodarka osadami ściekowymi. Poradnik decydenta*. LEM s.c., Kraków 1998.
- Sikorski M., Bauman-Kaszubska H. *Gospodarka osadami ściekowymi w świetle krajowych i zagranicznych regulacji prawnych*. Wiadomości melioracyjne i łąkarskie nr 4(415)/2007, s. 189.
- Ustawa o odpadach. *Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001*. Tekst jednolity: Dz. U. Nr 39/2007, poz. 251 z późn. zm.).
- Wriege-Bechtold A., Barjenbruch M., Sieker C., Peter-Fröhlich A., Heinzmann B. and Lengenmann B. *Production of energy by co-fermentation with contents from fat separators*. Journal of Water and Climate Change; Vol 1 No 4 pp 251–257, IWA Publishing 2011.
- Valladão A.,B.,G., Sartore P.,E, Freire D.,M.,G. and Cammarota M.,C. *Evaluation of different pre-hydrolysis times and enzyme pool concentrations on the biodegradability of poultry slaughterhouse wastewater with a high fat content*. Water Science & Technology—WST Vol 60 No 1 s 243–249 IWA Publishing 2009.
- Zajada A., Kuglarz M., Mrowiec B. *Metanogenezy w warunkach współfermentacji osadów ściekowych i bioodpadów kuchennych*. Nauka Przyroda Technologie, Tom 5, Zeszyt 4, Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu 2011.

Dr hab. inż. Adam Rak, prof. nadzw. PO
Politechnika Opolska; a.rak@po.opole.pl
Mgr inż. Marta Sudak, Mgr inż. Marek Gazda,
PWIK Brzeg; osbrzeg@poczta.onet.pl

Telefon kontaktowy
Adam Rak 603280027
Meil a.rak@po.opole.pl
Adres: Politechnika Opolska
Wydział Mechaniczny
ul. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole