

Stanisław Miodoński*, Krzysztof Iskra*

**OCENA EFEKTYWNOŚCI PROCESU SKOJARZONEJ FERMENTACJI
OSADÓW ŚCIEKOWYCH ORAZ ODPADÓW TŁUSZCZOWYCH NA
PRZYKŁADZIE OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W BRZEGU**

**EVALUATION OF EFFECT CO-DIGESTION SEWAGE SLUDGE
AND WASTE GREASE, FOR EXAMPLE WASTEWATER TREATMENT
PLANT IN BRZEG**

Słowa kluczowe: fermentacja metanowa, kofermentacja, osady ściekowe, tłuszcze odpadowe.
Keywords: anaerobic digestion, co-digestion, sewage sludge, waste grease.

This paper describes co-digestion sewage sludge and waste grease process. Main thesis of research was verification effects co-digestion process in full scale object. Eksperyment was carried out in Wastewater Treatment Plants (WWTP) in Brzeg. This study compares research results of laboratory tests and constant monitoring of fermentation effect (sludge and gas parameters) in real digesters. The most important topic of this part of research was developed assumption to continuation experiment in laboratory scale. Paper presents schedule for further laboratory tests.

1. WPROWADZENIE

Powstające podczas procesu oczyszczania ścieków osady są unieszkodliwiane głównie w procesach beztlenowych (fermentacja) oraz tlenowych (stabilizacja tlenowa, rzadziej kompostowanie). Pewną nowością, a zarazem kompleksowym rozwiązaniem problemu powstających odpadów w zakładach przemysłowych, jest ich wspólne unieszkodliwianie wraz z osadami ściekowymi. Szczególnie rozwojowym kierunkiem działań i dalszych badań wydaje się wspólne fermentowanie osadów i odpadów, głównie ze względu na zwiększoną produkcję biogazu.

* *Mgr inż. Stanisław Miodoński, mgr inż. Krzysztof Iskra – Zakład Technologii Ścieków i Ochrony Wód, Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy, Oddział we Wrocławiu, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 39e, 50-370 Wrocław; tel.: 71 328 15 35; e-mail: stanislaw.miodonski@gmail.com, krzysztof.iskra@tlen.pl*

Zarówno kompostowanie samych osadów ściekowych, jak i odpadów przemysłowych, jest ograniczone ze względu na charakterystyczne parametry technologiczne procesu. Często limitującymi czynnikami są:

- 1) wilgotność – optymalnie powinna wahać się w zakresie od 50 do 60%, z tego względu do kompostowania nie nadają się substancje płynne o uwodnieniu powyżej 90%;
- 2) odpowiednie rozdrobnienie cząstek – niedostateczne rozdrobnienie materiału będzie uniemożliwiało przeprowadzenie przemian biochemicznych;
- 3) odpowiednia struktura masy kompostowej – objętość wolnych przestrzeni powietrznych wyrażonych porowatością nie powinna być mniejsza niż 30%, aby umożliwić swobodny dostęp do powietrza całej objętości materiału kompostowanego [Szpadt 2007/08].

Jedną z termicznych metod unieszkodliwiania osadów ściekowych jest ich współspalanie wraz z odpadami komunalnymi. Spalanie osadów w spalarni powinno odbywać się tylko wtedy, gdy zawartość suchej masy w osadach ściekowych wynosi powyżej 30–35%. W razie spalania mokrego osadu (< 35% s.m.) głównym kryterium osiągnięcia maksymalnej wydajności spalania osadu na ruszcie jest odpowiednio wysoka wartość opałowa mieszanki osad – odpad (zakłada się raczej, że osad ma poprawić wartość opałową mieszanki). Zawartość osadu w takim wypadku nie powinna przekraczać 10%. W razie spalania osadu suchego nie ma ograniczeń, jeśli osad i odpady mają podobne wartości opałowe. O stosunku mieszanki osad – odpad decyduje głównie wielkość spalarni oraz ilość odpadów i osadów ściekowych. Zwykle zawartość osadu wynosi do 25% masy całego paliwa.

Warunkiem współspalania osadów z odpadami jest utrzymanie autotermiczności spalania uzyskanej mieszanki odpad – osad.

Podstawowym warunkiem efektywnego prowadzenia procesu jest wymóg, by osady ściekowe miały wartość opałową, co najmniej zbliżoną do wartości opałowej odpadów, czyli były podsuszone do około 50% s.m. Przy współspalaniu zazwyczaj nie występuje pogorszenie warunków emisyjnych, jak również warunków unieszkodliwiania odpadów [Kalinowska 2005].

Innym sposobem unieszkodliwiania odpadów z osadami ściekowymi jest intensywne napowietrzanie w reaktorze. Metoda ta praktycznie nie jest stosowana, ponieważ pomiędzy strukturą osadu czynnego a odpadami stałymi występuje znaczna różnica, objawiająca się w rozmiarze cząstek. Jednakże wstępne badania w napowietrzonym reaktorze samych rozdrobnionych odpadów przynoszą dobre rezultaty (redukcja BZT₅ do 95%). Niestety brak jest jakichkolwiek wytycznych eksploatacyjnych wspólnej stabilizacji tlenowej [Liwarska-Bizukojć 2001].

Fermentacja metanowa jest najczęściej prowadzona w temperaturze 35°C w zamkniętych reaktorach, z odzyskiem biogazu. Badania dotyczące wspólnego fermentowania osadów ściekowych z odpadami mają głównie na celu zwiększenie wydajności produkcji biogazu będącego źródłem ciepła i energii elektrycznej.

W zależności od „materiału” fermentowanego zmienia się nie tylko ilość, ale również skład biogazu. Najkorzystniejsze relacje występują przy udziale tłuszczu.

W praktyce eksploatacyjnej w skojarzonej fermentacji najlepiej stosować odpady płynne/półpłynne z przemysłu spożywczego (tłuszcze, wywar gorzelniany lub podobne), które praktycznie nie wymagają uprzedniego przygotowania przed wprowadzeniem do wydzielonych komór fermentacyjnych (WKF). Jeżeli stosowane są odpady stałe konieczna jest wstępna dezintegracja.

2. METODYKA BADAŃ

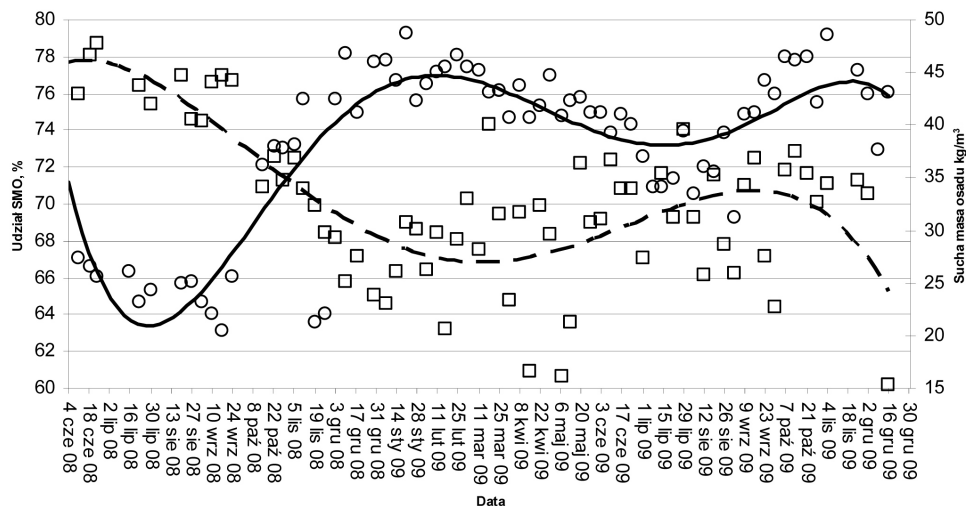
Podstawową ideą badań był monitoring węzła gospodarki osadowej na oczyszczalni ścieków w Brzegu. Badania miały na celu sprawdzenie efektów skojarzonej fermentacji osadów ściekowych z tłuszczami odpadowymi oraz przygotowanie podstaw metodycznych do prowadzenia badań w warunkach laboratoryjnych, w reaktorach wsadowych oraz reaktorach przepływowych.

Badania własne osadów ściekowych oraz odpadu tłuszczowego, poddawanych skojarzonej fermentacji, prowadzono w okresie od września 2008 do lutego 2009. W opracowaniu wykorzystano także wyniki badań użytkownika, z okresu czerwiec 2008 – grudzień 2009. W okresie badań własnych przeprowadzono 5 kompletnych serii pomiarowych osadu surowego i osadów przefermentowanych z WKF 1 i WKF 2 oraz tłuszczu odpadowego. W próbach osadów wykonywano takie oznaczenia, jak: pH, zasadowość, ChZT, azot Kjeldahla, fosfor ogólny, sucha masa ogólna, sucha masa organiczna, sucha masa mineralna, uwodnienie, lotne kwasy tłuszczowe (LKT) i ekstrakt eterowy.

3. CHARAKTERYSTYKA EKSPLOATACYJNA GOSPODARKI OSADOWEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

Średnia ilość osadów surowych podawanych do WKF w roku 2009 wyniosła 89,42 m³/d, maksymalna ilość to 200 m³/d (31.01.2009). Rozdział osadu pomiędzy poszczególnymi WKF-ami można uznać za równomierny. Średnia ilość osadu w WKF1 wyniosła 44,79 m³/d (50,1%) a w WKF2–44,63 m³/d (49,9%). Ilości średnie osadu surowego kierowane w poszczególnych tygodniach do procesu fermentacji przedstawiono na rysunku 1.

Nie stwierdzono znacznych sezonowych zmian w ilości produkowanych osadów. Wyjątkiem jest tutaj krótki okres w pierwszych dniach lutego, gdzie nastąpił znaczny wzrost ilości osadów podawanych do WKF. Taki jednorazowy wzrost spowodowany był usuwaniem zapasów osadu z komór osadu czynnego, zgromadzonych na okres zimowy. Potwierdzono zmienność sezonową udziału suchej masy organicznej (SMO) w osadzie surowym. Na rysunku 1 przedstawiono zmienność sezonową udziału SMO oraz zawartości suchej masy w osadzie surowym.



Objaśnienia: o Udział SMO, % □ Sucha masa osadu kg/m³

Rys. 1. Charakterystyka zmienności sezonowej udziału suchej masy organicznej (SMO) w osadzie surowym w okresie 04.06.2008–31.12.2009

Fig. 1. Characteristics of seasonal variation content VSS in sewage sludge in the period 04.06.2008–31.12.2009

W okresie badań nastąpiła zmiana zagęszczenia osadu surowego z 47 kg s.m./m³ do 15,3 kg s.m./m³. Zmienił się także udział SMO z 64% do 79%. Badano także poziom zasadowości oraz LKT. Odnotowano zmienność zasadowości osadu i stężenia LKT, jednak w zakresie nieistotnym ze względu na prawidłowy przebieg fermentacji. Nie stwierdzono istotnego wpływu zmienności stosunku LKT do zasadowości na proces fermentacji.

Odpad tłuszczowy docierał do oczyszczalni zwykle 3–4 razy w tygodniu. Średnia ilość odpadu tłuszczowego podawanych do WKF w roku 2009 wyniosła 5,56 m³/d (średnia uwzględnia także dni, w których nie podawano tłuszczów). Maksymalna wartość wyniosła 24 m³/d. Rozdział odpadów tłuszczowych pomiędzy WKF 1 i 2 także był równomierny – średnia dla WKF1 wyniosła 2,86 m³/d (51,5%), a dla WKF2 – 2,70 m³/d (48,5%).

Przeanalizowano ilości osadów i odpadów tłuszczowych podawanych do procesu stabilizacji na oczyszczalni ścieków w Brzegu. Średni stosunek osadów ściekowych do odpadu tłuszczowego wynosił odpowiednio od 89% do 11%, maksymalny stosunek wynosił od 64% do 36%. Stwierdzono poprawne działanie fermentacji przy przeciętnym stosunku osadów ściekowych do tłuszczu na poziomie od 90% do 10% [Miodoński 2008].

4. EFEKTYWNOŚĆ SKOJARZONEJ FERMENTACJI OSADÓW ŚCIEKOWYCH ORAZ TŁUSZCZY NA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W BRZEGU

Ilość osadu przefermentowanego odpowiada ilości osadu surowego i tłuszczu podawanego do WKF-ów. Wartości te zostały opisane w punkcie 3. Nie stwierdzono różnic w charakterystycznych parametrach osadu w WKF1 i WKF2, co świadczy o dobrej pracy obu komór. Średni moduł fermentacji dla roku 2009 wyniósł odpowiednio 35,87 oraz 35,96, co jest wartością poprawną. Stosunek LKT do zasadowości w żadnym momencie prowadzenia badań nie zbliżył się nawet do wartości krytycznej na poziomie 0,3. Maksymalna zarejestrowana wartość wyniosła 0,14 (czyli ponad połowę mniej niż wartość krytyczna). Pozostałe parametry osadu przefermentowanego także mieściły się w normach. Wartości parametrów osadu przefermentowanego w poszczególnych etapach zestawiono w tabeli 1.

Tabela. 1. Charakterystyka fizyczno-chemiczna osadu przefermentowanego w Brzegu

Table. 1. Physico-chemical characteristics of digested sludge in WWTP Brzeg

Osad z WKF 1											
Wartość	Zawartość suchej masy		Zawartość substancji organicznej		Zawartość substancji mineralnej		Zasadowość ogólna		LKT	LKT/ Zas.og	M-f
	%	kg/m ³	% SMO	kg/m ³	% SMO	kg/m ³	val/m ³	a	b	–	%
Etap I											
MIN	2,83	28,30	54,91	17,79	32,88	9,47	72,50	3625,00	80,90	0,02	21,16
Średnia	3,19	31,89	60,12	19,11	39,88	12,78	91,81	4590,54	241,46	0,05	33,93
MAX	3,93	39,30	67,12	21,58	45,09	17,72	98,60	4930,00	383,00	0,09	45,76
Etap II											
MIN	2,36	23,60	62,48	16,05	28,52	7,29	67,80	3390,00	202,00	0,03	15,83
Średnia	2,75	27,47	66,25	18,17	33,70	9,29	84,82	4241,14	326,22	0,08	35,87
Max	3,13	31,30	71,48	22,37	37,52	11,22	186,00	9300,00	566,00	0,14	61,40
Osad z WKF 2											
Wartość	Zawartość suchej masy		Zawartość substancji organicznej		Zawartość substancji mineralnej		Zasadowość ogólna		LKT	LKT/ Zas.og	M-f
	%	kg/m ³	% SMO	kg/m ³	% SMO	kg/m ³	val/m ³	a	b	–	%
Etap I											
MIN	2,78	27,80	45,62	17,41	26,66	8,69	72,00	3600,00	99,80	0,02	21,05
Średnia	3,26	32,61	59,75	19,39	40,25	13,26	90,10	4505,00	241,09	0,05	32,01
MAX	4,66	46,60	73,34	23,91	54,38	25,34	99,40	4970,00	392,00	0,11	45,35
Etap II											
MIN	2,26	0,00	60,05	0,00	29,33	0,00	71,60	0,00	158,00	0,04	19,43
Średnia	2,68	26,25	66,24	17,36	33,78	8,88	83,75	4094,44	307,44	0,07	35,96
MAX	3,51	35,10	70,77	22,99	39,95	12,54	150,00	7500,00	475,00	0,11	59,96

5. ZAŁOŻENIA METODYCZNE BADAŃ LABORATORYJNYCH PROCESU KOFERMENTACJI

Średnia dobowa produkcja gazu w 2009 r. wyniosła 1 866,67 m³/d. Maksymalna wartość to 4680,00 m³/d. Tak jak w przypadku osadów, produkcja gazu z obu komór fermentacyjnych była równomierna. Produkcję biogazu z drugiego etapu przedstawiono na rysunku 2. W porównaniu z wynikami z roku 2008 stwierdzono znaczny wzrost produkcji gazu fermentacyjnego. Wynika to z regularnych dostaw odpadu tłuszczowego przez cały 2009 rok. Średnia zawartość metanu w biogazie wyniosła 61,5%, dwutlenku węgla – 36,6%. Zawartość siarkowodoru była na poziomie 123,9 ppm.

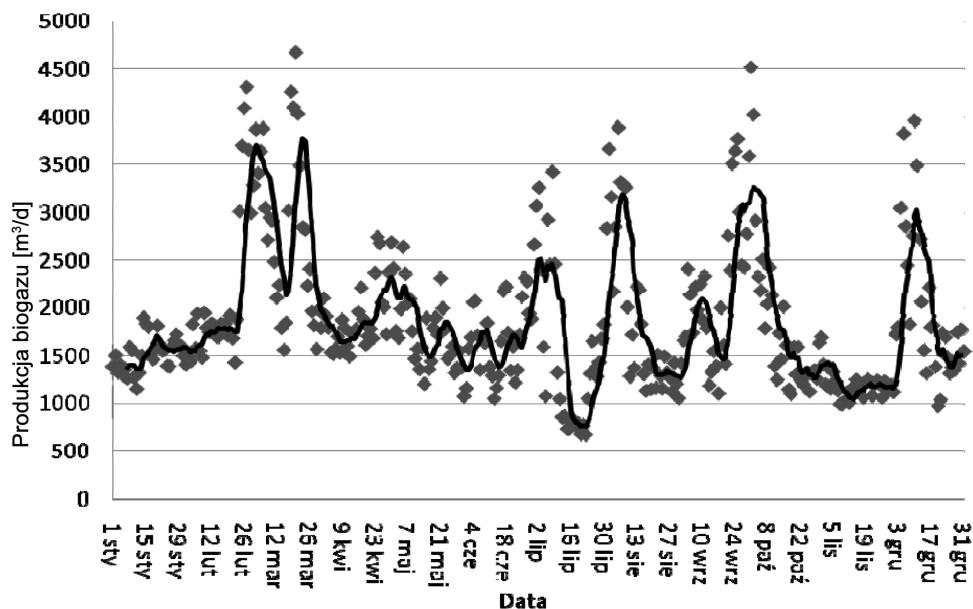
Średnia jednostkowa produkcja biogazu w 2009 r. w przeliczeniu na masę osadu surowego wyniosła 0,643 m³/kg s.m., w przeliczeniu na suchą masę organiczną produkcja wyniosła 0,896 m³/kg SMO. W przeliczeniach nie uwzględniono masy tłuszczu, stąd otrzymano zawyżone wartości. Na rysunku 2 przedstawiono dobową produkcję gazu. Wyraźnie zaznaczone są miejsca większej podaży tłuszczów do procesu fermentacji [Miodoński 2009].

Opierając się na wynikach badań procesu fermentacji osadów ściekowych oraz tłuszczu na oczyszczalni ścieków w Brzegu, zaprojektowano eksperyment sprawdzający możliwości fermentacji większych ilości tłuszczów w stosunku do osadów. W ramach badań na oczyszczalni ścieków potwierdzono dobre efekty fermentacji mieszaniny zawierającej 90% osadów oraz 10% tłuszczu. W ramach badań laboratoryjnych przetestowano mieszaniny w następujących proporcjach:

- 1) 100% osadu surowego (próba zerowa),
- 2) 80% osadu surowego i 20% odpadu tłuszczowego,
- 3) 60% osadu surowego i 40% odpadu tłuszczowego,
- 4) 40% osadu surowego i 60% odpadu tłuszczowego,
- 5) 100% tłuszczu odpadowego.

Badania laboratoryjne realizowane były w reaktorach wsadowych. Do tego celu zostały wykorzystane butle o pojemności 5 dm³, pojemność taka pozwala na odpowiednie uśrednienie składu fermentowanego medium oraz nie powoduje nadmiernych problemów ze zbyt dużymi rozmiarami reaktorów. Reaktory nie mają systemu mieszania, co wymusza okresowe ręczne mieszanie zawartości kilka razy na dobę.

Niezbędnym elementem procesu fermentacji jest ogrzewanie medium znajdującego się w reaktorach. System ogrzewania rozwiązano przez umieszczenie reaktorów w zbiorniku z płaszczem wodnym. Odpowiednią temperaturę w zbiorniku wodnym zapewniał ultratermostat.



Rys. 2. Sumaryczna produkcja biogazu z WKF1 i WKF2 (średnia ruchoma z 7 dób) z 2009 roku [Dobowe raporty... 2009]

Fig. 2. Total biogas production from digester 1 and 2 (moving average from 7 days) in 2009 [Dobowe raporty... 2009]

6. WNIOSKI

Przeprowadzone badania i analiza otrzymanych wyników pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Stwierdzono zmianę zagęszczania osadu surowego, na którą jak można przypuszczać miały wpływ sezonowe wahania udziału suchej masy organicznej. Potwierdza to wyraźna korelacja pomiędzy zmianą suchej masy organicznej a efektami zagęszczania osadu.
2. Węzeł gospodarki osadowej na oczyszczalni ścieków w Brzegu pracuje poprawnie. Rozdział osadów oraz tłuszczu jest równomierny, a efekty fermentacji przy aktualnie podawanych ilościach osadów i tłuszczu są zadowalające.
3. Do komór fermentacyjnych podawano tłuszcze odpadowe, średni stosunek osadów surowych do tłuszczu wynosił od 89% do 11%. Przy takim stosunku osadów do tłuszczu stwierdzono poprawną pracę węzła stabilizacji.
4. Dobre efekty fermentacji przy wymienionym powyżej stosunku osadów do tłuszczu otwierają drogę do badań w saski laboratoryjnej nad zwiększeniem ilości tłuszczu odpadowych w stosunku do osadów.

PIŚMIENNICTWO

- Dobowe raporty zbiorcze z pracy oczyszczalni ścieków w Brzegu.** 2009. Oczyszczalnia w Brzegu.
- KALINOWSKA E., BONAR G., DUMA J. 2005. Zasady i praktyka oczyszczania ścieków. „LEMTECH”, Kraków.
- LIWARSKA-BIZUKOJĆ E., BIZUKOJĆ M., LEDAKOWICZ S. 2001. Model kinetyczny procesu aerobowej biodegradacji organicznej frakcji odpadów komunalnych. Inżynieria Chemiczna i Procesowa 22: 383–394.
- MIDOŃSKI J., MIDOŃSKI S., ISKRA K. 2008. Mezofilna fermentacja komunalnych osadów ściekowych z wybranymi odpadami przemysłowymi – etap I. IOŚ, Wrocław.
- MIDOŃSKI S. 2009. Mezofilna fermentacja komunalnych osadów ściekowych z wybranymi odpadami przemysłowymi – etap II. IOŚ, Wrocław.
- SZPADT R. 2007/08. Materiały do wykładu: Gospodarka odpadami. Politechnika Wroclawska, Wrocław.