



Wpływ sposobu wstępnego preparowania odpadów poubojowych na ilość i skład powstającego biogazu w warunkach fermentacji termofilowej

*Marcin Zieliński, Marcin Dębowski, Mirosław Krzemieniewski
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn*

1. Wprowadzenie

Mimo intensywnego rozwoju technologii oraz metod postępowania z odpadami organicznymi podatnymi na biodegradację, wciąż poszukuje się rozwiązań umożliwiających unieszkodliwienie zwierzęcych odpadów poubojowych, korzystnych zarówno z punktu widzenia środowiska, jak również pozwalających na wykorzystanie potencjału energetycznego tkwiącego w tego rodzaju odpadach. Rozwiązaniem gwarantującym uzyskanie zysku energetycznego oraz produktu końcowego, który może być wykorzystany przyrodniczo jest zastosowanie procesów fermentacji metanowej.

Uwaga zwolenników fermentacji metanowej zwrócona jest w kierunku intensyfikacji tego procesu i utrzymania stabilnych warunków biochemicznych pomimo wahań jakości wsadu. Intensyfikacja procesu biochemicznego rozkładu substancji organicznej, zawartej w substratach organicznych, daje możliwość skrócenia czasu trwania fermentacji, a wraz z tym zmniejszenia kubatury urządzeń i obniżenia kosztów inwestycyjnych. Beztlenowy rozkład osadu jest limitowany, zwłaszcza szybkością i efektywnością pierwszej – hydrolitycznej fazy fermentacji [1, 9]. Intensyfikację tej fazy można uzyskać w wyniku wstępnej przeróbki substratu, której zadaniem jest rozdrobnienie fazy stałej oraz destrukcja złożonych

struktur wsadu organicznego. Powoduje to uwolnienie substratów i enzymów istotnych dla dalszego biochemicznego rozkładu związków organicznych przez bakterie fazy kwaśnej i metanowej [12, 15]. Jako kryterium oceny uzyskanych efektów dezintegracji przyjmowany jest zwykle wzrost odzysku biogazu ze względu na możliwość jego wykorzystania do celów energetycznych. Metodami stosowanymi w procesie wstępnego przygotowania różnego typu wsadu organicznego są technologie oparte zarówno na mechanicznych urządzeniach rozdrabniających, elementach fizycznych w tym dezintegratorach ultradźwiękowych, wykorzystaniu wysokiej temperatury oraz wykorzystaniu reagentów chemicznych czy enzymów [2, 13].

Skutkiem szeregu mechanicznych i sonochemicznych efektów występujących w nadźwźwiękowanych substancjach może być zniszczenie złożonej struktury substratu, zwiększenie stopnia dyspersji cząstek [4], ale także koagulacja ultradźwiękowa. Jeżeli nadźwźwiękowana substancja, składa się z komórek bakterii tworzących struktury kłaczkowate, jak np. osad wtórny nadmierny, które zostaną poddane działaniu ultradźwięków, to pierwszym skutkiem tego działania jest zdyspergowanie i rozproszenie kłaczków, bez zniszczenia komórek [3, 14] Zniszczenie struktur komórkowych substratów organicznych i uwolnienie materiału komórkowego do cieczy wymaga zdaniem Thiema [14] dłuższego czasu nadźwźwiękowania. Dezintegrujący wpływ ultradźwięków na wielkość cząstek został udowodniony w wielu opublikowanych pracach [7].

Celem prezentowanych badań było określenie takiego sposobu wstępnego przygotowania, stosowanych w eksperymencie odpadów poubojowych, który zapewni uzyskanie najwyższych efektów technologicznych charakteryzowanych poprzez ilość oraz skład jakościowy powstającego biogazu w warunkach fermentacji termofilowej.

2. Metodyka badań

Substratem wykorzystywanym w doświadczeniu była mieszanina odpadów poubojowych pochodzących z zakładu przemysłowego branży drobiarskiej, których charakterystykę zaprezentowano w tabeli 1.

Eksperyment podzielono na trzy etapy badawcze. W zależności od etapu doświadczenia stosowane obciążenie osadu beztlenowego ładunkiem związków organicznych wynosiło:

- etap I – 1,0 g suchej masy organicznej/g suchej masy osadu,
- etap II – 3,0 g suchej masy organicznej/ g suchej masy osadu,

- etap III – 6,0 g suchej masy organicznej/ g suchej masy osadu.

Tabela 1. Charakterystyka odpadów poubojowych stosowanych w doświadczeniu

Table 1. Characteristic of post-slaughter waste from a poultry processing plant used in the experiment

| Wskaźnik | Jednostka | Wartość min. | Wartość max. | Średnia | Odchylenie std. |
|-----------------|---|--------------|--------------|---------|-----------------|
| Sucha masa | [%] | 25,9 | 30,1 | 27,83 | 2,05 |
| Popiół surowy | [% s. m.] | 11,5 | 12,8 | 12,13 | 0,56 |
| Substancje org. | [% s. m.] | 87,2 | 88,5 | 87,88 | 0,56 |
| Azot ogólny | [g N/g s.m] | 0,065 | 0,072 | 0,07 | 0,00 |
| Azot amonowy | [g N-NH ₄ ⁺ /g s.m] | 0,0014 | 0,0017 | 0,04 | 0,08 |
| Białko | [g/g s.m] | 0,406 | 0,450 | 0,43 | 0,02 |
| Tłuszcz | [g/g s.m] | 0,299 | 0,332 | 0,32 | 0,01 |
| Węglowodany | [g/g s.m] | 0,0015 | 0,0015 | 0,0015 | 0,00 |
| ChZT | [gO ₂ /g s.m] | 0,482 | 0,509 | 0,49 | 0,01 |
| Stosunek C:N | – | 6,89 | 7,57 | 7,26 | 0,34 |
| Alkaliczność | [mval/g s.m] | 0,34 | 0,36 | 0,35 | 0,01 |
| Przewodność | [μS] | 0,50 | 0,53 | 0,52 | 0,01 |
| Gęstość | [kg/m ³] | 810 | 813 | 811,50 | 1,29 |
| Odczyn | [pH] | 6,72 | 6,85 | 6,79 | 0,06 |

Każdy z etapów składał się z siedmiu serii, kryterium podziału stanowił sposób wstępnego przygotowania wykorzystywanych odpadów poubojowych przed procesem fermentacji metanowej. W zależności od części doświadczenia surowe odpady poubojowe podawano następującym procesom:

- seria I – 10 min. homogenizacja,
- seria II – 10 min. homogenizacja + 30 min. pasteryzacja (70°C),
- seria III – 10 min. homogenizacja + 60 min. pasteryzacja (70°C),
- seria IV – 10 min. homogenizacja + 30 min. ultradźwiękowanie (30°C),
- seria V – 10 min. homogenizacja + 60 min. ultradźwiękowanie (30°C),
- seria VI – 10 min. homogenizacja + 30 min. pasteryzacja (70°C) + 30 min. ultradźwiękowanie (30°C) ,
- seria VII – 10 min. homogenizacja + 30 min. pasteryzacja (70°C) + 60 min. ultradźwiękowanie (30°C).

Homogenizację prowadzono w homogenizatorze typu MPW-302. Proces pasteryzacji realizowano poprzez przetrzymywanie testowanych odpadów poubojowych w łaźni wodnej w temperaturze 70°C. Sonifikację prowadzono z wykorzystaniem generatora IS-1R firmy InterSonic, który wytwarzał fale ultradźwiękowe o mocy 95 W i częstotliwości 20 kHz. Generator wyposażony był w termostat, dzięki czemu podczas eksperymentu istniała możliwość płynnej regulacji temperatury procesu i zapewnienia stałej wartości tego parametru na poziomie 30°C.

Odpady poubojowe uwadniano następnie do poziomu 90% i wprowadzano do respirometrów typu Oxi-Top Control firmy WTW umożliwiających określenie stopnia rozkładalności materii organicznej oraz monitoring ilości i składu powstającego biogazu. W każdym z prowadzonych wariantów eksperymentu do komór reakcyjnych wprowadzano 100 ml osadu beztlenowego o koncentracji zawiesin wynoszącej 1,71 g suchej masy/dm³. W etapie I do modelowych reaktorów wprowadzano 17 ml uwodnionych odpadów poubojowych, w etapie II – 51 ml, w etapie III – 102 ml testowanych odpadów poubojowych.

Wykorzystywane respirometry składały się z komór reakcyjnych połączonych szczelnie z urządzeniami pomiarowo-rejestrującymi, które monitorowały zmiany ciśnienia parcjalnego w komorze pomiarowej wywołanego produkcją biogazu w beztlenowych procesach prowadzonych przez mikroorganizmy. W celu zapewnienia warunków beztlenowych na początku eksperymentu dokonano odtlenienia objętości reaktora poprzez przedmuchiwanie azotem. Kompletny zestaw pomiarowy składający się z komory reakcyjnej oraz urządzenia pomiarowo-rejestrującego umieszczono w ciemności, w szafie termostatującej o histerezie nie przekraczającej $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Pomiary prowadzono w temperaturze 55°C. Czas pomiaru wynosił 20 d, wartości ciśnienia w komorze reakcyjnej były rejestrowane co 15 min. Trzy dni przed końcem pomiaru wprowadzono do specjalnego pojemnika we wnętrzu komory reakcyjnej 30% zasadę sodową (NaOH). Pozwoliło to na wytrącenie z fazy gazowej ditlenku węgla (CO₂). Obniżenie ciśnienia było wynikiem związania CO₂, natomiast za pozostałą wysokość ciśnienia odpowiadała zawartość metanu. Zawartość reaktorów była okresowo mieszana z wykorzystaniem mieszadeł magnetycznych. Częstotliwość mieszania wynosiła raz na godzinę przez 5 minut. W doświadczeniu stosowano następujące metody obliczeniowe:

Zawartość węgla w fazie gazowej:

$$n_{CO_2} + n_{CH_4} = \frac{p_1 \times V_g}{R \times T} \times 10^{-4} \quad (1)$$

gdzie:

$n_{CO_2 + CH_4}$ – ilość wytworzonych moli ditlenku węgla i metanu [mol],
 p_1 – różnica ciśnienia gazu w naczyniu badawczym na początku i na końcu doświadczenia, spowodowana zużyciem tlenu i absorpcją powstającego CO_2 [hPa],

V – objętość fazy gazowej w komorze pomiarowej [ml],

R – stała gazowa [8,314 J/mol · K],

T – temperatura inkubacji [K],

10^{-4} – współczynnik przeliczeniowy hPa na Pa oraz ml na m^3 .

Zawartość ditlenku węgla w fazie gazowej:

$$n_{CO_2} = \left(\frac{p_1 \times V_g - p_2 \times (V_g - V_{KOH})}{R \times T} \right) \times 10^{-4} \quad (2)$$

gdzie:

n_{CO_2} – ilość wytworzonych moli ditlenku węgla [mol],

p_2 – różnica ciśnienia gazu w odpowiednim naczyniu badawczym na końcu doświadczenia minus ciśnienie na początku doświadczenia minus ciśnienie w próbce ślepej po dodaniu roztworu NaOH [hPa],

V_{KOH} – objętość roztworu NaOH [ml].

Zawartość metanu w fazie gazowej:

$$n_{CH_4} = n_{CO_2 + CH_4} - n_{CO_2} \quad (3)$$

Na podstawie badań respirometrycznych określono również szybkość procesu produkcji biogazu. Stałe szybkości reakcji wyznaczono na podstawie uzyskanych danych eksperymentalnych metodą regresji nieliniowej stosując program Statistica 8.0 PL. Wykorzystano metodę iteracyjną, w której w każdym kroku iteracyjnym funkcję zastępuje się różniczką liniową względem wyznaczonych parametrów. Jako miarę dopasowania krzywej (przy wyznaczonych parametrach) do danych eksperymentalnych przyjęto współczynnik zgodności ϕ^2 . Współczynnik ten jest stosunkiem sumy kwadratów odchyłek wartości obliczonych na podstawie wyznaczonej funkcji od wartości eksperymentalnych, do sumy kwa-

dratów odchylen wartości eksperymentalnych od wartości średniej. Zgodność jest tym lepsza, im wartość współczynnika ϕ^2 niższa. Przyjmowano takie dopasowanie modelu do punktów doświadczalnych, przy którym współczynnik zgodności nie przekraczał 0,2.

3. Wyniki badań

Przeprowadzone badania zmierzały do wyselekcjonowania metody wstępnego przetworzenia testowanych odpadów poubojowych, która zapewni uzyskanie najwyższej efektywności produkcji biogazu oraz wysokiej koncentracji metanu. Jednak elementem, który w największym stopniu decydował o uzyskiwanych efektach technologicznych było zastosowane obciążenie beztlenowego osadu czynnego ładunkiem związków organicznych.

Najniższą skutecznością prowadzonego procesu niezależnie od stosowanego sposobu wstępnego preparowania odpadów poubojowych charakteryzowało się rozwiązanie technologiczne, w którym zastosowano obciążenie na poziomie 6,0 g suchej masy organicznej/g suchej masy osadu. W tym etapie najniższe efekty procesu fermentacji stwierdzono, gdy do kondycjonowania odpadów poubojowych wykorzystano jedynie proces 10 minutowej homogenizacji. W tym przypadku szybkość produkcji biogazu kształtowała się na poziomie 0,049 mmol/h, a zawartość metanu w biogazie wynosiła średnio 54,3% (tabela 2). Zastosowanie niższych obciążeń beztlenowego osadu ładunkiem związków organicznych mieszczących się w zakresie od 1,0 g suchej masy organicznej/g s.m.o. do 3,0 g suchej masy organicznej/g s.m.o. pozwoliło na uzyskanie istotnie wyższych efektów końcowych. W etapie I szybkość produkcji biogazu wynosiła 0,090 mmol/h, a zawartość metanu kształtowała się na poziomie 59,4% (tabela 2).

Istotnie wyższe efekty beztlenowego procesu rozkładu analizowanego substratu stwierdzono w przypadku zastosowania następujących po sobie 10 minutowego procesu homogenizacji oraz 30 minutowej pasteryzacji w temperaturze 70°C. Analogicznie do I etapu eksperymentu, najniższym tempem wytwarzania biogazu charakteryzował się proces prowadzony przy obciążeniu 6,0 g suchej masy organicznej/g s.m.o. Szybkość produkcji biogazu kształtowała się na poziomie 0,090 mmol/h, a zawartość metanu wynosiła 56,4% (tabela 2). Najwyższą efektywnością procesu beztlenowej degradacji odpadów poubojowych charaktery-

zował się etap II, w tym przypadku stwierdzono, iż tempo powstawania biogazu wynosiło 0,117 mmol/h, natomiast zawartość metanu w powstającym gazie fermentacyjnym wynosiła 62,2% (tabela 2).

Tabela 2. Wyniki badań respirometrycznych przeprowadzonych w trakcie eksperymentu

Table 2. Results of respirometric tests conducted during the experiment

| Parametr | | Zawartość C w fazie gazowej | Zawartość CO ₂ w fazie gazowej | Zawartość CH ₄ w fazie gazowej | CO ₂ | CH ₄ | Szybkość prod. biogazu |
|-----------|------|-----------------------------|---|---|-----------------|-----------------|------------------------|
| Jednostka | | mmol/g s.m.o. | mmol/g s.m.o. | mmol/g s.m.o. | % | % | mmol/h |
| Seria | Etap | Wartość | | | | | |
| I | I | 0,352 | 0,143 | 0,209 | 40,6 | 59,4 | 0,090 |
| | II | 0,366 | 0,141 | 0,225 | 38,6 | 61,4 | 0,105 |
| | III | 0,322 | 0,147 | 0,175 | 45,7 | 54,3 | 0,049 |
| II | I | 0,385 | 0,160 | 0,226 | 41,4 | 58,6 | 0,111 |
| | II | 0,403 | 0,152 | 0,251 | 37,8 | 62,2 | 0,117 |
| | III | 0,362 | 0,158 | 0,204 | 43,6 | 56,4 | 0,090 |
| III | I | 0,373 | 0,130 | 0,242 | 35,0 | 65,0 | 0,105 |
| | II | 0,401 | 0,132 | 0,268 | 33,0 | 67,0 | 0,124 |
| | III | 0,361 | 0,148 | 0,213 | 40,9 | 59,1 | 0,092 |
| IV | I | 0,353 | 0,157 | 0,196 | 44,4 | 55,6 | 0,088 |
| | II | 0,362 | 0,152 | 0,210 | 42,0 | 58,0 | 0,097 |
| | III | 0,326 | 0,151 | 0,175 | 46,4 | 53,6 | 0,066 |
| V | I | 0,361 | 0,130 | 0,231 | 36,1 | 63,9 | 0,101 |
| | II | 0,371 | 0,120 | 0,251 | 32,4 | 67,6 | 0,112 |
| | III | 0,340 | 0,156 | 0,184 | 45,8 | 54,2 | 0,081 |
| VI | I | 0,348 | 0,096 | 0,252 | 27,6 | 72,4 | 0,103 |
| | II | 0,412 | 0,134 | 0,278 | 32,5 | 67,5 | 0,133 |
| | III | 0,369 | 0,153 | 0,217 | 41,4 | 58,6 | 0,105 |
| VII | I | 0,385 | 0,136 | 0,249 | 35,4 | 64,6 | 0,112 |
| | II | 0,402 | 0,135 | 0,268 | 33,5 | 66,5 | 0,124 |
| | III | 0,361 | 0,148 | 0,212 | 41,1 | 58,9 | 0,093 |

Wydłużenie procesu pasteryzacji odpadów poubojowych przed etapem beztlenowym do 60 minut nie wpłynęło na uzyskanie istotnie wyższych statystycznie efektów końcowych. Uzyskane wyniki były porównywalne do stwierdzonych w II serii doświadczenia. W tym przypad-

ku, uwidocznił się wpływ głównie zastosowanego obciążenia osadu beztlenowego ładunkiem związków organicznych. Najniższy efekt końcowy charakteryzujący się zarówno tempem produkcji biogazu (0,092 mmol/h) oraz jego składem pod kątem zawartości metanu (59,1%) uzyskano w etapie III (tabela 2).

Niższe, końcowe efekty beztlenowego procesu degradacji testowanych odpadów poubojowych, w stosunku do przedstawionych powyżej, stwierdzono w przypadku zastosowania homogenizacji oraz 30 minutowego procesu sonifikacji. Efekty uzyskane w tej serii doświadczenia uzależnione były głównie od ilości wprowadzanych do komory związków organicznych. Najniższym tempem wytwarzania biogazu charakteryzował się proces prowadzony przy obciążeniu 6,0 g suchej masy organicznej/g s.m.o. Szybkość produkcji biogazu kształtował się na poziomie 0,066 mmol/h, a zawartość metanu wynosiła 53,6% (tabela 2). Obciążenie na poziomie 1,0 g suchej masy organicznej/g s.m.o. umożliwiło uzyskanie biogazu o 55,6% zawartości metanu i szybkości na poziomie 0,088 mmol/h (tabela 2). Najwyższą efektywnością procesu beztlenowej degradacji odpadów poubojowych charakteryzował się etap II, w którym zastosowane obciążenie wynosiła 3,0 g suchej masy organicznej/g s.m.o. Stwierdzono, iż tempo powstawania biogazu wynosiło 0,097 mmol/h, zaś zawartość metanu w powstającym gazie fermentacyjnym wynosiła odpowiednio 58,0% (tabela 2).

Wydłużenie procesu sonifikacji odpadów poubojowych do 60 minut, nie spowodowało istotnej statystycznie zmiany w odniesieniu do monitorowanych, w trakcie tej części doświadczenia efektów technologicznych. Najniższy efekt końcowy charakteryzujący się zarówno tempem produkcji biogazu (0,081 mmol/h) oraz jego składem pod kątem zawartości metanu (54,2%), uzyskano w etapie III. Najwyższe efekty końcowe stwierdzono w etapie II, w którym koncentracja metanu w biogazie kształtowała się na poziomie 67,6%, a ilość wytwarzanego biogazu kształtowała się na poziomie 0,112 mmol/h (tabela 2). Zintegrowanie procesu homogenizacji, pasteryzacji oraz sonifikacji pozwoliło na uzyskanie porównywalnych efektów końcowych w stosunku do uzyskanych w seriach II i III eksperymentu, niezależnie od czasu trwania procesu sonifikacji (tabela 2).

4. Dyskusja

Badania nad wpływem wstępnej przeróbki substratów organicznych na poprawę efektów fermentacji metanowej są prowadzone od kilkunastu lat. Najczęściej jednak miało to miejsce w przypadku procesów przeróbki osadów ściekowych. W tym przypadku metody wstępnego kondycjonowania substratu organicznego nazwano procesami dezintegracyjnymi. Wydaje się, iż metody, które pozwalają na uzyskanie wysokich efektów technologicznych w przypadku nadmiernego osadu ściekowego mogą w określonych sytuacjach zostać z powodzeniem wykorzystane do innych substratów organicznych, w tym odpadów poubojowych.

W prezentowanych w niniejszym artykule badaniach zastosowano trzy metody wstępnego kondycjonowania odpadów poubojowych w tym homogenizację, obróbkę termiczną oraz dezintegrację ultradźwiękową. Z uwagi na ten fakt, w prowadzonym eksperymencie obróbka termiczna prowadzona była w temperaturze 70°C i jej zastosowanie pozwalało na istotne zwiększenie efektywności wytwarzania biogazu z wykorzystywanych odpadów poubojowych stosunku do wariantu z homogenizacją. We wcześniejszych badaniach wstępna termiczna przeróbka substratów organicznych, głównie osadów ściekowych przed fermentacją miała na celu poprawę stopnia mineralizacji osadu podczas procesu beztlenowego. Najlepsze rezultaty osiągnęto stosując temperatury wynoszące 100°C, jednak były to metody kosztowne i trudne w eksploatacji [5, 6, 11]. Część badaczy wykazała, że można uzyskać prawie o 20% wyższy efekt hydrolizy osadów przy zastosowaniu znacznie niższych temperatur [8]. Podatny na oddziaływanie temperatur poniżej 100°C okazał się zwłaszcza osad nadmierny.

W prezentowanym eksperymencie dodatkowym czynnikiem potencjalnie wpływającym na dezintegrację substratu organicznego oraz zintensyfikowanie uzyskanych efektów fermentacji metanowej było zastosowanie fal ultradźwiękowych.

Pomimo że działają już pierwsze instalacje wykorzystujące ultradźwięki do dezintegracyjnej w skali technicznej [10], technologia dezintegracji akustyczno-mechanicznej osadów jest wciąż jeszcze w fazie doświadczeń. Prowadzone badania dotyczą zarówno zjawisk zachodzących w nadźwiękawianych osadach i ich odniesienia do efektów dezintegracji, jak też poszukiwania skutecznych sposobów i urządzeń do dezintegracji ultradźwiękowej. Dezintegracja ultradźwiękowa wspomaga-

ca proces fermentacji metanowej ukierunkowana jest zwłaszcza na wydzielanie biogazu jako nośnika energii odnawialnej. Sumaryczna ilość biogazu pozyskanego z osadów nadmiernych nadźwękowionych wzrasta o 30÷50% (w warunkach laboratoryjnych obserwowano wzrost nawet o 100%) w porównaniu z osadami niepoddawanymi nadźwękawianiu, co zostało wykazane w badaniach wielu autorów, w tym także w badaniach własnych. Jednak w przypadku prezentowanych w niniejszym artykule badań nie wykazano tak wysokiego wpływu procesu dezintegracji ultradźwiękowej na ostateczny efekt technologiczny związany z ilością produkowanego biogazu.

5. Wnioski

Wykorzystanie odmiennych sposobów przetwarzania analizowanych odpadów poubojowych przed procesem fermentacji metanowej w doświadczeniach prowadzonych w warunkach statycznych udowodniły, iż porównywalne efekty technologiczne uzyskiwano w przypadku zastosowania procesów pasteryzacji poprzedzonych wstępną homogenizacją oraz w seriach, w których dodatkowo wykorzystano proces sonifikacji stosowanego substratu.

Niezależnie od stosowanego czasu pasteryzacji oraz zintegrowanego procesu pasteryzacji i ultradźwiękowania nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w uzyskanych efektach technologicznych dotyczących ilości i składu uzyskiwanego biogazu, a także stopnia rozkładu analizowanych związków organicznych.

Najniższe końcowe efekty fermentacji metanowej odpadów poubojowych stwierdzono w przypadku zastosowania jedynie homogenizacji do wstępnego przygotowania substratu organicznego. Wykorzystanie połączenia procesu homogenizacji oraz sonifikacji pozwoliło na uzyskanie istotnie wyższych końcowych efektów technologicznych w stosunku do stosowania jedynie procesu homogenizacji, jednak były one wyraźnie niższe do serii, w których wprowadzono proces pasteryzacji.

Elementem, który w największym stopniu decydował o uzyskiwanych efektach technologicznych notowanych w badaniach statycznych było zastosowane obciążenie beztlenowego osadu czynnego ładunkiem wprowadzonych związków organicznych. Najniższą skutecznością prowadzonego procesu niezależnie od stosowanego sposobu kondycjonowania odpadów poubojowych charakteryzowało się rozwiązanie technolo-

giczne, w którym zastosowano obciążenie na poziomie 6,0 g suchej masy organicznej/g s.m.o.

Efekty technologiczne uzyskiwane w warunkach statycznych w zakresie stosowanych obciążeń od 1,0 g suchej masy organicznej/g s.m.o. do 3,0 g suchej masy organicznej/g s.m.o. pozwoliły na uzyskanie porównywalnych efektów końcowych wyrażonych ilością oraz składem biogazu, a także stopniem rozkładu analizowanych związków organicznych.

Literatura

1. **Beal L.J., Raman D.R.:** *Sequential two-stage anaerobic treatment of confectionery wastewater.* J. Agric. Engng. Res. 76, 211-217, 2000.
2. **Bouallagui H., Lahdheb H., Ben Romdan E., Rachdi B., Hamdi M.:** Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition. J. Env. Management. 90 (5), 1844-1849, 2009.
3. **Chu C., Chang B., Liao G., Jean D., Lee D.:** *Observations on changes in ultrasonically treated waste-activated sludge.* Wat. Res. 35 (4), 1038-1046, 2001.
4. **Gonze D., Halloy J., Leloup J.C., Goldbeter A.:** *Stochastic models for circadian rhythms: effect of molecular noise on periodic and chaotic behavior.* C. R. Biologies. 326, 189-203, 2003.
5. **Haug, T.R., LeBrun, J.T., Tortorici, D.L.:** *Thermal pretreatment of sludges – a field demonstration.* J. Wat. Pol. Contr. Fed. 55 (1), 23-34, 1983.
6. **Haug, T.R., Stuckey, C.D.:** *Effect of thermal pretreatment on digestibility and dewaterability of organic sludges.* J. Wat. Pol. Contr. Fed. 50, 73-85, 1983.
7. **Lajapathi C.R., Struenkmann G., Mueller J., Gangadhar R.P.:** Influence of ultrasonic disintegration on sludge growth reduction *and its estimation by respirometry.* Env. Sci. Technol. 38 (22), 5779-5785, 2004.
8. **Li H., Noike N.:** *Upgrading of anaerobic digestion of waste activated sludge by thermal pre-treatment.* Wat. Sci. Tech. 26, 857-866, 1992.
9. **Monroy O., Famà G., Meraz M., Montoya L., Macarie H.:** *Anaerobic digestion for wastewater treatment in Mexico: state of the technology.* Wat. Res. 34 (6), 1803-1816, 2000.
10. **Onyeche T.I., Schäfer O., Bormann H., Schröder C., Sievers M.:** *Ultrasonic cell disruption of stabilised sludge with subsequent anaerobic digestion.* Ultrasonics. 40, 1-8, 2002.
11. **Pinnekamp J.:** *Effects of thermal pretreatment of sewage sludge on anaerobic digestion,* Wat. Sci. Technol. 21, 97-108, 1989.

12. **Salsabil M.R., Prorot A., Casellas M., Dagot C.:** *Pre-treatment of activated sludge: Effect of sonication on aerobic and anaerobic digestibility.* Chem. Enging. J. 148, (2-3), 327-335, 2009.
13. **Sonakya V., Raizada N., Kalia V. C.:** *Microbial and enzymatic improvement of anaerobic digestion of waste biomass.* Biotechnol. Letters. 23 (18), 1463-1466, 2001.
14. **Tiehm A., Nickel K., Zellhorn M., Neis U.:** *Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization.* Wat. Res. 35 (8), 2003-2009, 2001.
15. **Zhang G., Zhang P., Yang J., Liu H.:** *Energy-efficient sludge sonication: Power and sludge characteristics.* Biores. Technol. 99 (18), 9029-9031, 2008.

Effect of Method of Post-slaughter Waste Conditioning on Amount and Composition of Biogas Produced in Thermophilic Fermentation

Abstract

The aim of this study was to identify the method of pre-treatment of post-slaughter waste used in the experiment to ensure the best technological results, expressed by the amount and qualitative composition of the biogas produced in the process. The application of various methods of processing of post-slaughter waste before methane fermentation in an experiment conducted under static conditions showed that comparable technological effects were achieved when homogenisation followed by pasteurisation was applied and in such series in which these were supplemented by sonic treatment of the substrate.

The application of various methods of processing of post-slaughter waste before methane fermentation in an experiment conducted under static conditions showed that comparable technological effects were achieved when homogenisation followed by pasteurisation was applied and in such series in which these were supplemented by sonic treatment of the substrate.

Regardless of the pasteurisation time and the combined time of pasteurisation and ultrasonic treatment, no statistically significant differences were found in the technological results achieved in terms of the amount and composition of the biogas produced in the process and the degree of decomposition of the analysed organic compounds.

The worst final results of methane fermentation of post-slaughter waste were achieved when homogenisation was the only type of treatment applied in the organic substrate pre-processing. When homogenisation was combined with

ultrasonic treatment, significantly better results were achieved; these were, however, distinctly lower than those achieved in the series in which pasteurisation was applied.

The element which most greatly affected the technological effects achieved in the experiment, was the load of organic matter applied to the activated sludge. The lowest effectiveness of the process, regardless of the method of conditioning of post-slaughter waste, was achieved in the option with a load of 6.0 g of dry organic matter/g of dry matter of sludge. The results achieved in static conditions with loads ranging from 1.0 g of dry organic matter/g of dry matter of sludge to 3.0 g of dry organic matter/g of dry matter of sludge produced comparable final results, expressed as the amount and composition of biogas as well as the degree of decomposition of the analysed organic substances.

