

ŁUKASZ KRAWCZYK¹, MAŁGORZATA BUDYCH², ŁUKASZ CHRZANOWSKI³,
AGNIESZKA DROZDŻYŃSKA¹, ROMAN MARECIK¹, AGNIESZKA PIOTROWSKA-CYPLIK⁴,
ARTUR SZWENGIEL⁴, KATARZYNA CZACZYK¹, PAWEŁ CYPLIK¹

¹Katedra Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

²Centralna Oczyszczalnia Ścieków Aquanet sp. z o.o. w Poznaniu

³Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej

Politechnika Poznańska

⁴Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

WPLYW WSTĘPNEJ OBRÓBKI OSADU ŚCIEKOWEGO NA EFEKTYWNOŚĆ PROCESU FERMENTACJI METANOWEJ

Streszczenie. Celem pracy była ocena wpływu wstępnej obróbki osadu czynnego nadmiernego na efektywność procesu fermentacji metanowej. Osad ściekowy był poddawany obróbce poprzez: **A** – działanie wysokiej temperatury (121°C, 30 min), homogenizację i wstępną hydrolizę poprzez dodatek bakterii *Bacillus subtilis*, **B** – działanie wysokiej temperatury (121°C, 30 min) i homogenizację, **C** – działanie wysokiej temperatury i zaszczepienie bakteriami *B. subtilis*, **D** – działanie wysokiej temperatury (121°C, 30 min). Proces prowadzono w układzie z rozdziałem procesu hydrolizy i fermentacji przez 35 dni w temperaturze 36°C ±1°C. Oznaczano aktywności enzymatyczne: amylolityczną, celulolityczną, lipolityczną i proteolityczną. Pomiar zawartości lotnych kwasów tłuszczowych (LKT) wykazał największą zawartość kwasu octowego (4,3 g·dm⁻³) i bursztynowego (0,1 g·dm⁻³). Zaobserwowano spadek ilości azotu i węgla ogólnego w trakcie trwania doświadczenia, przy wzroście stosunku C:N z 8:1 do 10:1. Największą wydajność metanu uzyskano w wariancie **A**.

Słowa kluczowe: aktywności enzymatyczne, biogaz, fermentacja metanowa, lotne kwasy tłuszczowe

Wstęp

Wzrost świadomości ekologicznej, a co się z tym wiąże bardziej restrykcyjne przepisy prawne nałożyły na państwa europejskie obowiązek oczyszczania ścieków komunalnych w aglomeracjach powyżej 2000 RM (równoważnych mieszkańców). W konse-

kwencji powstania znacznej liczby oczyszczalni ścieków o średniej przepustowości pojawił się problem zagospodarowania osadów ściekowych. Dodatkowo prawo unijne zakłada ograniczenie kierowania odpadów ulegających biodegradacji na składowiska. Do roku 2020 nie więcej niż 35% całkowitej masy odpadów ulegających biodegradacji (w stosunku do masy tych odpadów wytworzonych w 1995 roku) ma być kierowane do składowania.

W Krajowym Planie Gospodarki Odpadami zalecanymi metodami przetwarzania odpadów biodegradowalnych są kompostowanie i fermentacja. Obecnie biomasę przetwarzają na różne rodzaje energii, wliczając w to ciepło powstające w wyniku spalania, używane do ogrzania wody lub wytworzenia pary jako siły napędowej do produkcji energii elektrycznej, oraz produkcję wodoru, metanolu, etanolu i biodiesla. Wybór produktu zależy od wielu czynników, m.in.: energii, którą należy dostarczyć do układu, efektywności procesu, strat podczas transportu, nakładów inwestycyjnych i zysków oraz wpływu na środowisko. Podczas produkcji metanu powstaje znacznie mniej substancji zanieczyszczających powietrze, a także generowana jest mniejsza ilość dwutlenku węgla niż w elektrowniach zużywających węgiel kamienny lub brunatny. Inne paliwa, takie jak metanol czy wodór, nie są produkowane na szeroką skalę, ponieważ występują trudności w ich produkcji z biomasy oraz problemy związane z magazynowaniem i dystrybucją.

Ilość powstającego osadu ściekowego, głównego produktu biologicznego przetwarzania odpadów, zwiększa się z każdym rokiem (PARK i IN. 2005). Konieczność jego zagospodarowania znacznie zwiększa koszty oczyszczania i staje się bodźcem do poszukiwania bardziej efektywnych i tanich strategii przetwarzania odpadów, z wykorzystaniem do tego celu m.in. technologii beztlenowego rozkładu. Coraz częściej fermentację osadów ściekowych prowadzi się z podziałem na fazę kwaśną i metanogenną. Mając na uwadze względy ekonomiczne, proces fermentacji prowadzi się w mezofilowych zakresach temperatury (PARK i IN. 2005).

Celem pracy było określenie wpływu wstępnego przygotowania substratu na efektywność fermentacji metanowej. Osad ściekowy poddano działaniu wysokiej temperatury, homogenizacji oraz obróbce mikrobiologicznej poprzez dodatek bakterii *Bacillus subtilis*.

Materialy i metody

Substrat

Substratem do procesu fermentacji metanowej był odwodniony mechanicznie osad ściekowy o zawartości suchej masy 18%, pochodzący z oczyszczalni ścieków komunalnych w Koziegłowach koło Poznania. Przed założeniem doświadczenia osad ściekowy przeznaczony do fermentacji uwodniono do zawartości suchej masy wynoszącej 4,5%.

Inokulat

Jako inokulat zastosowano wsad komory fermentacyjnej (WKF) pochodzący z oczyszczalni ścieków w Koziegłowach pod Poznaniem.

Obróbka wstępna osadu ściekowego

Osad ściekowy poddawano obróbce poprzez: autoklawowanie w temperaturze 121°C przez 30 min, homogenizację przez 15 min (homogenizator IKA Ultra Turrax T 18 Basic, Niemcy) i zaszczerpienie bakteriami *B. subtilis* pochodzącymi z kolekcji Katedry Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Sposoby wstępnej obróbki i warianty doświadczenia

- **WARIANT 1.** – autoklawowanie osadu ściekowego (121°C, 30 min), homogenizacja (15 min), zaszczerpienie bakteriami *B. subtilis*,
- **WARIANT 2.** – autoklawowanie osadu ściekowego (121°C, 30 min), homogenizacja (15 min),
- **WARIANT 3.** – autoklawowanie osadu ściekowego (121°C, 30 min)
- **WARIANT 4.** – autoklawowanie osadu ściekowego (121°C, 30 min), zaszczerpienie bakteriami *B. subtilis*,
- **WARIANT 5.** – próba kontrolna, bez obróbki wstępnej.

Warunki fermentacji

Doświadczenie prowadzono w kolbach stożkowych o pojemności 250 cm³, połączonych z miernikami gazu o pojemności 250 cm³ wypełnionymi wodą. Zarówno etap hydrolizy, jak i fermentacji prowadzono w warunkach mezofilowych (36°C ±1°C). Wstępnej obróbce i hydrolizie poddano 50 ml osadu ściekowego. Następnie do tak przygotowanego materiału dodano 150 ml świeżego osadu ściekowego jako inokulum. W próbie kontrolnej nie przeprowadzono wstępnej obróbki ani hydrolizy.

Obserwacje procesu fermentacji metanowej prowadzono codziennie, kontrolując mieszanie, temperaturę i objętość wydzielonego biogazu.

Metody analityczne

Zawartość suchej substancji w analizowanym materiale oznaczano metodą wagową (HERMANOWICZ 1999). Zawartość substancji organicznych, wyrażoną w procentach suchej substancji, obliczono na podstawie oznaczenia pozostałości po prażeniu w temperaturze 550°C (HERMANOWICZ 1999). Pomiaru pH dokonano za pomocą pehametru (Jenway 3150, Anglia). Do pomiaru poziomu i składu biogazu wykorzystano miernik Gas-Hunter (Alter, Polska). Zawartość azotu ogólnego, wyrażoną w procentach suchej masy, oznaczono metodą destylacyjną Kjeldahla (Kieltec System 1026, Tecator, Dania). Zawartość ogólnego węgla organicznego, wyrażoną w gramach na kilogram suchej substancji, oznaczono metodą miareczkową z dwuchromianem potasowym (HERMANOWICZ 1999). Oznaczenie aktywności enzymatycznych polegało na pomiarze stref przejaśnień powstałych na podłożu zestalonym agarem wokół miejsc działania enzymów. Mierzono aktywność amylolityczną, celulolityczną, lipolityczną i proteolityczną. Podłoża do pomiaru aktywności, po autoklawowaniu (121°C, 15 min), wylewano na płytki Petriego (grubość 5 mm). Po zestaleniu i ostygnięciu na środku płytki wycinano otwór, do którego wprowadzano 200 µl supernatantu powstałego po zawirowaniu osadu

i 200 µl osadu zawieszonego w soli fizjologicznej. Osad wirowano przy 3000 obr/min przez 10 min w temperaturze 20°C (Heraeus 3-S-R, Niemcy).

Aktywność amylolityczna

Jako substrat wykorzystano wodny roztwór skrobi bezwodnej. Czas inkubacji w temperaturze 36°C ±1°C, po wprowadzeniu na pożywkę supernatantu i biomasy trwał 16 h. Następnie płytkę zalewano płynem Lugola (KJ) i mierzono powstałe strefy przejaśnień (mm).

Aktywność celulolityczna

Substratem do pomiaru aktywności celulolitycznej była karboksymetyloceluloza (CMC). Po wprowadzeniu supernatantu i biomasy okres inkubacji w temperaturze 36°C ±1°C trwał 24 h. Pomiaru stref przejaśnień dokonano po zalaniu płytki 1-procentowym wodnym roztworem czerwieni Kongo.

Aktywność lipolityczna

Do pomiaru aktywności lipolitycznej wykorzystano jako substrat żelatynę spożywczą. Czas inkubacji w temperaturze 36°C ±1°C trwał siedem dni. Po tym okresie w celu pomiaru stref przejaśnień płytkę zalano 1-procentowym wodnym roztworem błękitu Wiktorii.

Aktywność proteolityczna

Substratem do pomiaru aktywności proteolitycznej była margaryna spożywcza. Czas inkubacji trwał 14 dni w temperaturze 36°C ±1°C. Po tym okresie płytkę zalano wodnym roztworem AgCl i mierzono powstałe strefy przejaśnień.

Lotne kwasy tłuszczowe (LKT) oznaczono techniką chromatografii cieczowej (HPLC) na chromatografie cieczowej Merck-Hitachi (zestaw: automatyczny podajnik prób Merck-Hitachi L-7250, pompa Merck-Hitachi L-7100 z detektorem R1 Merck-Hitachi L-7490). Do oznaczeń użyto kolumny Aminex HPX-87H 300x7,8 m (Bio-Rad). Jako eluent stosowano 0,001 M H₂SO₄, przy przepływie 0,6 ml/min, izokratycznie. Oznaczenie prowadzono w temperaturze 60°C. Próby nanoszono na kolumnę w ilości 30 µl. Identyfikacji ilościowej i jakościowej dokonano metodą standardu zewnętrznego z wykorzystaniem Chromatography Data Station Software, Merck-Hitachi.

Metody statystyczne

W celu statystycznej weryfikacji wyników przeprowadzono analizę wariancji oraz test Tukeya. Analizy wykonano na poziomie istotności równym 0,05.

Wyniki i dyskusja

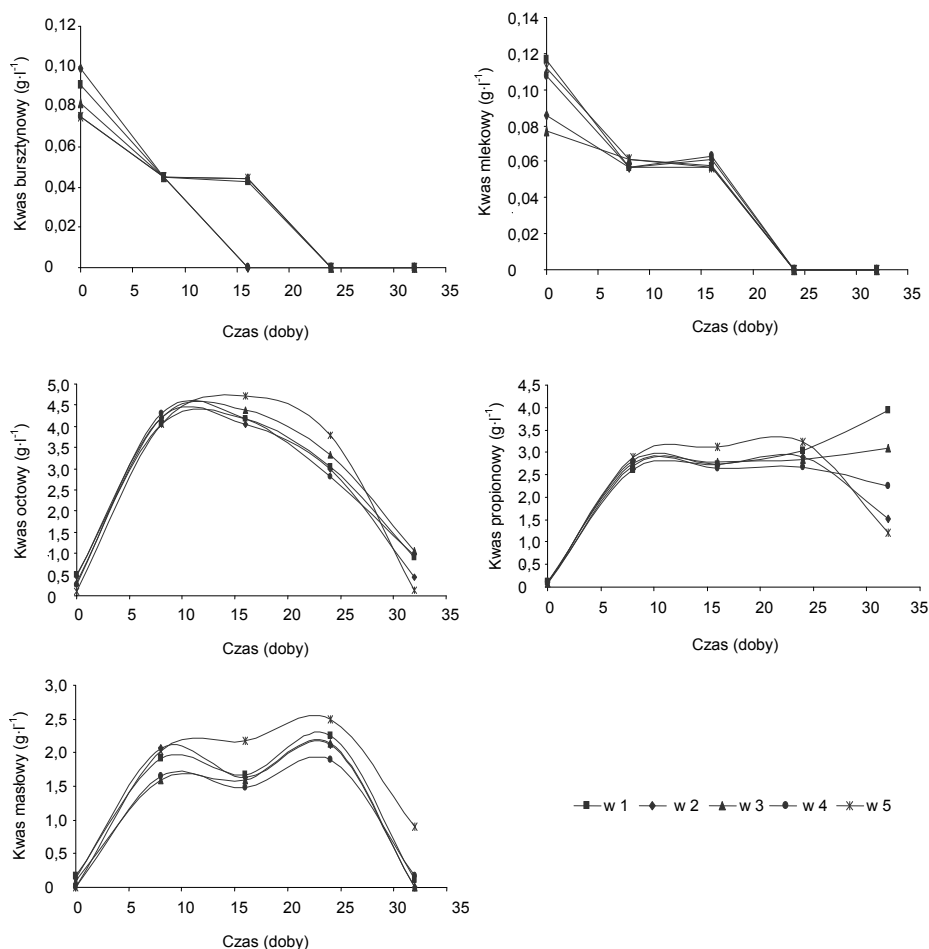
Redukcja zawartości suchej substancji podczas hydrolizy i fermentacji we wszystkich wariantach doświadczenia

Podczas hydrolizy odnotowano spadek zawartości suchej substancji. Największą, 20-procentową redukcję uzyskano w wariacie 1. z przeprowadzoną homogenizacją i dodatkiem bakterii *B. subtilis* (tab. 1). W pozostałych przypadkach średnia redukcja suchej substancji wyniosła 12%. Odwrotna sytuacja wystąpiła w trakcie właściwej fermentacji, gdzie w wariacie 1. redukcja suchej substancji była najmniejsza – 19% – w porównaniu ze średnią redukcją w pozostałych wariantach, wynoszącą 23%. Wynika z tego, że ta część związków organicznych, która w przeliczeniu na suchą substancję pozostała niezmienną w trakcie hydrolizy, uległa rozkładowi podczas fermentacji. Zaobserwowano również, że homogenizacja i dodanie bakterii *B. subtilis* spowodowały, że osiągnięto wyższy stopień redukcji suchej substancji w porównaniu z próbą kontrolną.

Tabela 1. Zmiany zawartości mierzonych parametrów na początku i po zakończeniu fermentacji
Table 1. Changes of contents of measured properties at the beginning and at the end of the fermentation process

Parametr	Wariant 1.		Wariant 2.		Wariant 3.		Wariant 4.		Wariant 5.	
	początek	koniec	początek	koniec	początek	koniec	początek	koniec	początek	koniec
Sucha substancja (g·kg ⁻¹)	46,5 ±2,4	39,5 ±1,3	46,5 ±2,1	39,0 ±0,9	48,5 ±0,8	38,4 ±0,7	48,1 ±1,1	37,6 ±0,8	52,5 ±1,4	40,5 ±0,6
Węgiel ogólny (g·kg ⁻¹)	447,3 ±6,2	419,5 ±15,3	456,8 ±6,2	420,3 ±15,3	451,2 ±6,2	418,2 ±15,3	445,3 ±6,2	416,5 ±15,3	465,8 ±6,2	464,9 ±15,3
Azot ogólny (g·kg ⁻¹)	57,5 ±1,6	41,4 ±1,9	55,7 ±1,6	42,4 ±1,9	57,1 ±1,6	42,7 ±1,9	58,2 ±1,6	43,9 ±1,9	60,0 ±1,6	46,5 ±1,9
Materia organiczna (g·kg ⁻¹)	745,5 ±13,8	699,2 ±34,5	761,4 ±13,8	700,6 ±34,5	752,0 ±13,8	697,2 ±34,5	742,1 ±13,8	694,2 ±34,5	776,4 ±13,8	774,9 ±34,5
C:N	8:1	10:1	8:1	10:1	8:1	10:1	8:1	10:1	8:1	10:1

W badaniach, gdzie również zastosowano obróbkę termiczną, przy czym polegała ona na poddaniu osadu działaniu promieniowania mikrofalowego, uzyskano średnią redukcję suchej substancji wynoszącą 28%. Każdy etap fermentacji był prowadzony przy innym czasie zatrzymania ciał stałych i przy mocy mikrofal 175 MW. Najmniejszy stopień redukcji, wynoszący 15%, uzyskano w próbie kontrolnej, a największy – 33,4% – przy czasie zatrzymania ciał stałych 10 dni (TORECI i IN. 2009). Inni autorzy prowadzili badania nad rozkładem osadu ściekowego z zastosowaniem hydrolizy termicznej (121°C, 30 min), chemicznej (7 g·dm⁻³ NaOH) i ultradźwiękowej. Osiągnięty stopień redukcji suchej substancji wyniósł odpowiednio: 32,1%, 29,8% i 38,9%. Badania prowadzone przez BOUGRIERA i IN. (2008) polegały na porównaniu efektywności produkcji metanu z zastosowaniem hydrolizy termicznej w 130°C, 190°C i w temperaturze pokojowej.



Rys. 1. Zmiany zawartości lotnych kwasów tłuszczowych w procesie fermentacji metanowej
Fig. 1. Evolutions of volatile fatty acids during methane fermentation

Uzyskano odpowiednio następujące stopnie redukcji suchej substancji: 49%, 35%, 31%. Początkowa hydroliza materiału we wszystkich przypadkach powoduje utratę około 2% zawartości suchej substancji w porównaniu z osadem surowym. Należy zwrócić uwagę, że w ściekach, które trafiają do oczyszczalni, mogą się znaleźć substancje inhibujące proces fermentacji metanowej, co przypuszczalnie w przypadku większego obciążenia komór fermentacyjnych może wpłynąć niekorzystnie na stopień redukcji suchej substancji (WANG i IN. 2009).

Lotne kwasy tłuszczowe, takie jak: kwas octowy, propionowy i masłowy, występujące w zbyt dużym stężeniu są uważane za inhibitory rozkładu beztlenowego. Działanie hamujące stwierdzono w przypadku kwasu propionowego, przy czym zakłada się, że dopuszczalne stężenie LKT w osadzie nie powinno przekraczać 2000 mg CH₃COOH

w 1 dm³ (JĘDRZAK 2007). W przeprowadzonych badaniach wstępna hydroliza miała na celu zmniejszenie rozmiarów cząstek, a w związku z tym zwiększenie ich powierzchni właściwej. Dodatni wpływ na ilość powstałych lotnych kwasów tłuszczowych miała homogenizacja. Dzięki jej zastosowaniu, po uprzednim autoklawowaniu w temperaturze 121°C, ilość kwasu bursztynowego była większa o 25% (0,1 g·dm⁻³), a kwasu octowego o 75% (0,5 g·dm⁻³) w porównaniu z próbą kontrolną (rys. 1). W czasie trwania procesu fermentacji wszystkie wytworzone lotne kwasy tłuszczowe zostały wykorzystane przez mikroorganizmy znajdujące się w osadzie ściekowym, z wyjątkiem kwasu propionowego, którego stężenie na końcu procesu wynosiło od 1,5 g·dm⁻³ w wariancie 1. do 3,9 g·dm⁻³ w wariancie 2. Podobne wyniki uzyskali BOUGRIER i IN. (2008). Badając wpływ termicznego przygotowania substratu, poprzez działanie temperatury 130°C i 190°C osiągnęli prawie 100-procentową redukcję wytworzonych lotnych kwasów tłuszczowych. Wskazuje to na istotny wpływ obróbki termicznej na degradację lipidów. Zakłada się, że ogólny wzrost ilości powstających kwasów tłuszczowych jest liniowy w stosunku do degradacji substancji tłuszczowych.

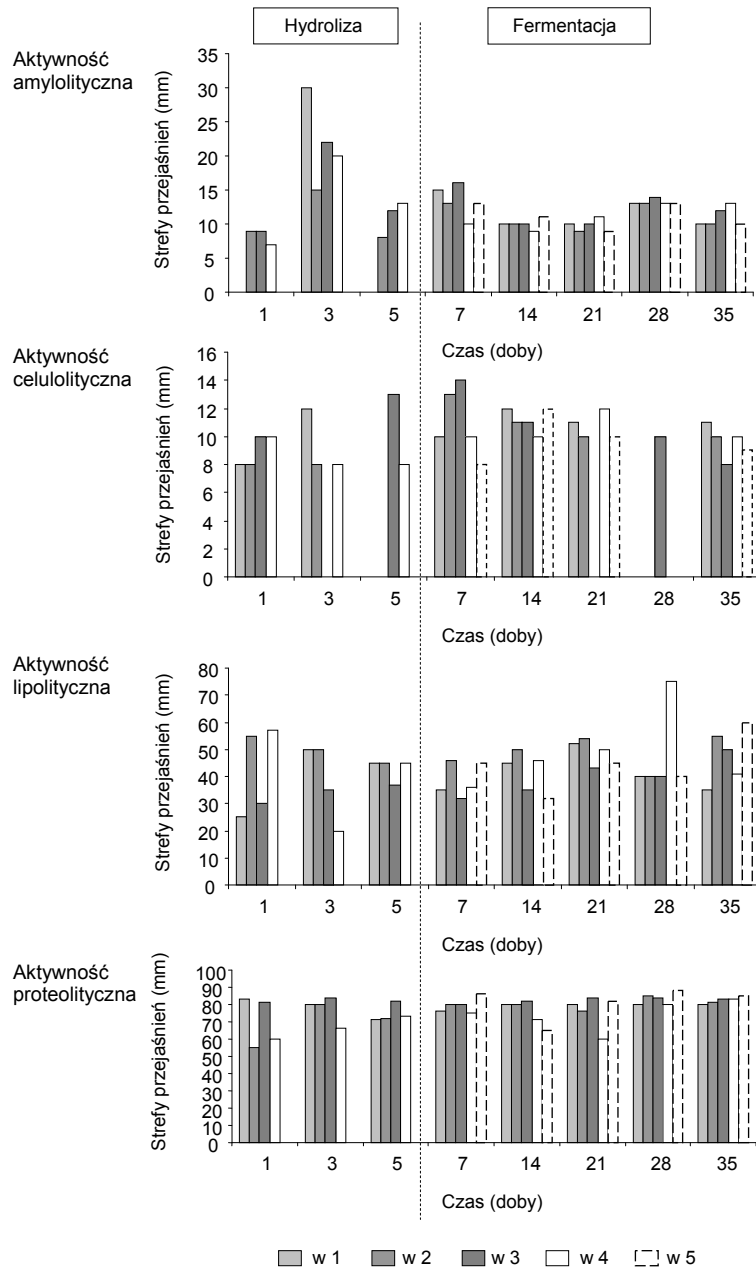
W pracy PARKA i IN. (2005), gdzie fermentowano osad ściekowy, po hydrolizie termochemicznej koncentracja dostępnych, rozpuszczalnych substratów, w tym lotnych kwasów tłuszczowych, zwiększyła się z 30 do 1983 mg·dm⁻³ oraz z 30 do 625 mg·dm⁻³ po hydrolizie biologicznej. Zauważyć należy, że hydrolizie poddano cały fermentowany materiał. W pracach BOUGRIERA i IN. (2008) oraz PARKA i IN. (2005) dominującymi kwasami w ogólnej ilości LKT były kwasy octowy i propionowy.

Pomiar aktywności enzymatycznych

Pomiar aktywności enzymatycznych podczas hydrolizy wykazał, że enzymami o największej aktywności były lipazy i proteazy (rys. 2, 3). Aktywność tych enzymów utrzymywała się na tym samym poziomie w trakcie całego etapu hydrolizy. We wszystkich wariantach doświadczenia największą aktywność enzymów rozkładających węglowodany stwierdzono w trzeciej dobie hydrolizy. Największą aktywność celulolityczną i amylolityczną obserwowano w wariantach z dodatkiem bakterii *B. subtilis*. Aktywność enzymów lipolitycznych i proteolitycznych pozostała praktycznie niezmienną i utrzymywała się na stałym poziomie. Większe strefy przejaśnień obserwowano podczas pomiaru aktywności enzymów występujących w supernatancie niż związanych ze ścianą komórkową bakterii, choć w niektórych przypadkach strefy te nie różniły się od siebie istotnie.

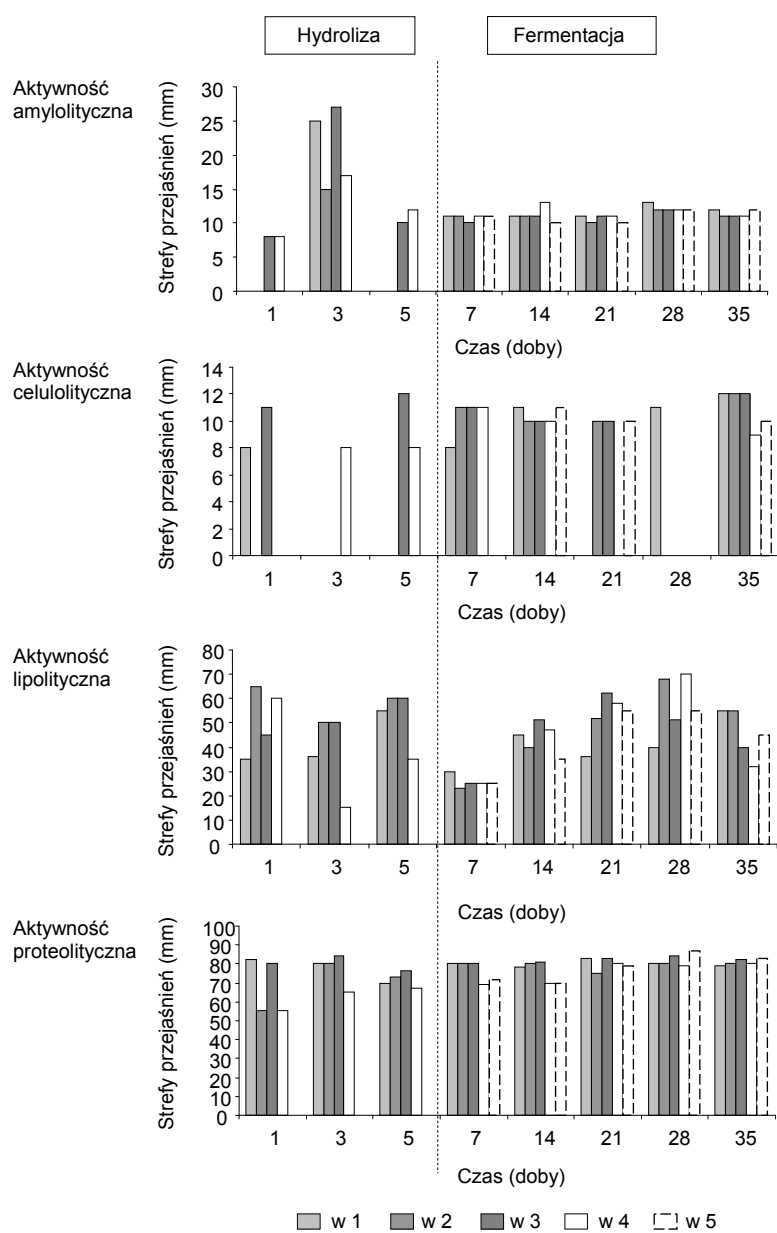
W badaniach, gdzie w sposób beztlenowy rozkładano pozostałości ziemniaczane, dominowały enzymy amylolityczne (PARAWIRA i IN. 2005). Jest to zrozumiałe ze względu na to, że dominującym składnikiem w tego rodzaju odpadach jest skrobia. Zwrócono również uwagę na miejsce, w którym powstają enzymy. Stwierdzono większą reaktywność enzymów pozakomórkowych, wyizolowanych z komórek podczas wirowania, niż tych, które podczas pomiaru aktywności pozostały wewnątrz struktur komórkowych, tj. w peryplazmie i cytoplazmie, dotyczyło to także enzymów związanych ze ścianą komórkową.

Przygotowanie termiczne osadu korzystnie wpłynęło na ilość wytworzonego metanu. W wariantach, gdzie hydrolizę przeprowadzono po uprzednim autoklawowaniu, ilość wytworzonego metanu była ponad dwa razy większa niż w wariancie 5. (próba



Rys. 2. Zmiany aktywności enzymatycznych w procesie fermentacji metanowej w supernatancie
 Fig. 2. Evolution of enzyme activity during methane fermentation in supernatant

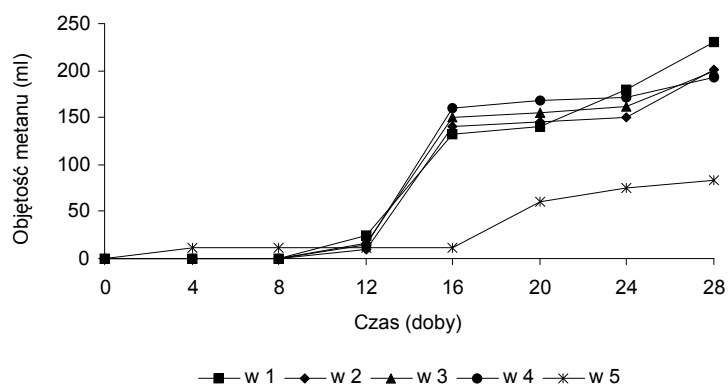
Krawczyk Ł., Budych M., Chrzanowski Ł., Drożdżyńska A., Marecik R., Piotrowska-Cyplik A., Szwengiel A., Czaczyk K., Cyplik P., 2011. Wpływ wstępnej obróbki osadu ściekowego na efektywność procesu fermentacji metanowej. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 3, #28.



Rys. 3. Zmiany aktywności enzymatycznych w osadzie w procesie fermentacji metanowej

Fig. 3. Evolution of enzyme activity during methane fermentation in sludge

kontrolna). W pierwszych dniach fermentacji jedynym powstającym gazem był dwutlenek węgla. Wynika z tego, że po połączeniu osadu po hydrolizie ze świeżym osadem nastąpiła gwałtowna produkcja LKT. Konsekwencją tego był spadek pH do wartości nawet 4,17 w wariancie 4. Źródłem informacji o aktywności mikroorganizmów w tych warunkach był pomiar aktywności enzymatycznych, jak również zużywanie wytworzonego dwutlenku węgla przez bakterie metanogenne znajdujące się w osadzie. Samoczynny wzrost pH do wartości 5,8 spowodował, że faza metanogenna zaczęła przeważać nad fazą kwaśną. Największą wydajność metanu, wynoszącą $230 \text{ dm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. osadu, uzyskano w wariancie A (rys. 4). Ilość metanu wyrażona w procentach całej objętości biogazu jest porównywalna z przedstawioną w innych pracach i mieści się w granicach 55-75% (PARK i IN. 2005).



Rys. 4. Całkowita ilość wytworzonego metanu

Fig. 4. Total amount of methane production

BOUGRIER i IN. (2007), po porównaniu wpływu wstępnej obróbki substratu w temperaturze 130°C i 190°C , stwierdzili, że wyższa temperatura powoduje, że więcej potencjalnego substratu znajdującego się w świeżym osadzie może się stać bardziej dostępne i łatwiej przyswajalne przez mikroorganizmy. WANG i IN. (2009), badając wpływ termicznego przygotowania substratu, dodatkowo zauważyli, że w skali przemysłowej obróbka termiczna może powodować destabilizację układu. Jest to związane ze zbyt dużym obciążeniem komory fermentacyjnej łatwo dostępnym i szybko biodegradowalnym substratem.

Podsumowanie

Wstępna termiczna obróbka osadu ściekowego przyczyniła się do zwiększenia ilości produkowanego metanu, wpływając na rozpuszczalność i dostępność substratu dla bakterii fermentacyjnych. Zastosowanie obróbki mechanicznej – homogenizacji oraz zaszczerpienie bakteriami *B. subtilis* nie miało istotnego wpływu na wyniki produkcji metanu. Wadą tego sposobu przygotowania substratu jest ryzyko przeciążenia komory

fermentacyjnej, co prowadzi do gwałtownego spadku pH do wartości inhibitujących bakterie metanogenne. W przeprowadzonych badaniach spadek pH do wartości poniżej 5 spowodował przerwę w produkcji metanu, ale układ po określonym czasie (ośmiu dni) samoczynnie się ustabilizował. Biorąc pod uwagę względy ekonomiczne, nawet w systemie, gdzie możliwe jest regulowanie wartości pH, termiczna obróbka materiału może nie być zabiegiem opłacalnym. W tym doświadczeniu w skali laboratoryjnej osiągnięto ilość metanu dwukrotnie większą w porównaniu z beztlenowym rozkładem osadu, którego nie poddano procesom przygotowawczym. Obróbka termiczna substratu w temperaturze 121°C jest na większą skalę zabiegiem bardzo kosztownym. Stwarza to miejsce dla kolejnych badań, w których warto się zastanowić, czy podobne zwiększenie efektywności fermentacji można uzyskać, przeprowadzając obróbkę substratu w termofilowym zakresie temperatur.

Literatura

- BOUGRIER C., DELGENES J.P., CARRERE H., 2007. Impacts of thermal pre-treatments on semi-continuous anaerobic digestion of waste activated sludge. *Biochem. Eng. J.* 34: 20-27.
- BOUGRIER C., DELGENES J.P., CARRERE H., 2008. Effects of thermal treatments on five different waste activated sludge samples solubilisation, physical properties and anaerobic digestion. *Chem. Eng. J.* 139: 236-244.
- HERMANOWICZ W., 1999. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady, Warszawa.
- JĘDRZAK A., 2007. Biologiczne przetwarzanie odpadów. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- PARAWIRA W., MURTO M., READ J.S., MATTIASSON B., 2005. Profile of hydrolyses and biogas production during two-stage mesophilic anaerobic digestion of solid potato waste. *Process Biochem.* 40: 2945-2952.
- PARK CH., LEE CH., KIM S., CHEN Y., CHEASE H.A., 2005. Upgrading of anaerobic digestion by incorporating two different hydrolysis processes. *J. Biosci. Bioeng.* 100, 2: 164-167.
- TORECI I., KENNEDY K.J., DROSTE R.L., 2009. Evaluation of continuous mesophilic anaerobic digestion after high temperature microwave pretreatment. *Water Res.* 43: 1273-1284.
- WANG Z., WANG W., HANG X., HANG G., 2009. Digestion of thermally hydrolyzed sewage sludge by anaerobic sequencing batch reactor. *J. Hazard. Mater.* 162: 799-803.

INCREASE OF THE EFFICIENCY OF ANAEROBIC DIGESTION BY VARIOUS PRE-TREATMENT PROCESSES OF SEWAGE SLUDGE

Summary. The aim of this paper is to demonstrate the effects of pre-treatment increase of the efficiency of anaerobic digestion on waste activated sludge. There were four methods for pre-treatment of the waste activated sludge: **A** – thermally treated at 121°C for 30 min, homogenized and hydrolysed by *Bacillus subtilis* bacteria, **B** – thermally treated at 121°C for 30 min and homogenized, **C** – thermally treated at 121°C for 30 min and hydrolysed by *B. subtilis* bacteria, **D** – thermally treated at 121°C for 30 min. The process consisted of a hydrolyses phase and anaerobic digestion phase operated at 36°C ±1°C for 35 days. It was investigated with regard to hydrolytic enzymes: amylase, cellulase, lipase and protease. Acetic acid (4.3 g·dm⁻³) and butanedioic acid (0.1 g·dm⁻³) were reported to appear in biggest quantities in volatile fatty acids according to

measurement of VFA. The amount of carbon and nitrogen decreased while the ratio of C:N increased from 8:1 to 10:1. The highest methane yield was obtained in A method.

Key words: enzyme activities, biogas, methane fermentation, volatile fatty acid

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Paweł Cyplik, Katedra Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 48, 60-627 Poznań, Poland, e-mail: pcyplik@wp.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

18.04.2011

Do cytowania – For citation:

*Krawczyk Ł., Budych M., Chrzanowski Ł., Drożdżyńska A., Marecik R., Piotrowska-Cyplik A., Szwegiel A., Czaczyk K., Cyplik P., 2011. Wpływ wstępnej obróbki osadu ściekowego na efektywność procesu fermentacji metanowej. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 3, #28.*