

AUTOREFERAT

OPIS DOROBKU I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

dr inż. Jakub Sikora

Zakład Infrastruktury Technicznej i Ekoenergetyki
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki
31-149 Kraków, ul. Balicka 116B
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
31-120 Kraków, Aleja Mickiewicza 21
mail: Jakub.Sikora@ur.krakow.pl

KRAKÓW 2019

Spis treści

I. DANE OSOBOWE	3
II. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE	3
III. DOTYCHCZASOWE ZATRUDNIENIE W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH.....	4
IV. OSIĄGNIĘCIE WYNIKAJĄCE Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI (DZ. U. NR 65, POZ. 595 ZE ZM.) .	4
A. TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO:.....	4
B. PUBLIKACJE WCHODZĄCE W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO.....	5
C. OMÓWIENIE PUBLIKACJI WCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO.....	6
V. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH.....	40
VI. PODSUMOWANIE BIBLIOMETRYCZNE OSIĄGNIĘTEGO DOROBKU PUBLIKACYJNEGO	43

I. DANE OSOBOWE

Imię i nazwisko

Jakub Sikora

II. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE

2004 (czerwiec) – tytuł zawodowy: magister inżynier w zakresie inżynierii rolniczej, Wydział Techniki Rolniczej i Leśnej, Akademia Rolnicza w Krakowie, tytuł pracy dyplomowej: *„Wpływ deformacji bulw ziemniaka na straty masy podczas obierania ręcznego”*, promotor: dr hab. inż. Barbara Krzysztofik.

2008 (19 czerwca) - stopień naukowy: doktor nauk rolniczych w zakresie inżynierii rolniczej, Wydział Agrotechnologii, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, tytuł rozprawy doktorskiej: *„Autokorelacja przestrzenna wybranych elementów infrastruktury rolnictwa w gminach Polski”*, promotor: dr hab. inż. Andrzej Woźniak, recenzenci: prof. dr hab. inż. Jerzy Dąbkowski – Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, prof. dr hab. inż. Zdzisław Wójcicki – Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa.

Doświadczenie zawodowe (kursy i szkolenia podnoszące kompetencje zawodowe)

1. Kurs GIS I i II: Wprowadzenie do gis oraz efektywne wykorzystanie narzędzi GIS- wybrane zagadnienia – 12-03-2014 r., Warszawa.
2. Udział w konkursie Goethe-Instituts „Mój zawód jest najlepszy” nauka języka niemieckiego - 18-11-2015 r., Kraków.
3. Szkolenie zawodowe PSZOK – efektywność i funkcjonalność – 5-6.V.2016 r., Wrocław.
4. Szkolenie z zakresu kierownik projektu - zawód z przyszłością – 5-6.IV.2016 r., Kraków.
5. Szkolenie z zakresu innowacyjny biznes w warunkach skrajnie niebezpiecznych – 5-6.IV.2016 r., Kraków.
6. Udział w International Scientific Conference Contemporary research trends in Agricultural Engineering – 25-27.11.2017 r., Kraków.
7. Udział w XXIV Konferencji Naukowej „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie” – 6-10.II.2017 r., Zakopane.
8. Szkolenie warsztatowe dla młodej kadry naukowej- 7.II.2018 r., Zakopane.
9. Szkolenie z zakresu kompetencji cyfrowych realizowane w ramach projektu „Modernizacja kształcenia zawodowego w Małopolsce II”- 09.07.2018 r., Kraków.
10. Szkolenie z zakresu bezpieczne i odpowiedzialne stosowanie środków ochrony roślin – 22.11.2016 r., Kraków.

III. DOTYCHCZASOWE ZATRUDNIENIE W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

Doktorant

1.X.2004 - 19.IV.2008 Dnienne studia doktoranckie, Wydział Agrotechnologii, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Zatrudnienie

1.XII.2008- 30.IX.2010 – Katedra Technicznej Infrastruktury Wsi, Wydział Agrotechnologii (obecny Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki), asystent

1.X.2010 - do chwili obecnej, Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, adiunkt

IV. OSIĄGNIĘCIE WYNIKAJĄCE Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI (DZ. U. NR 65, POZ. 595 ZE ZM.)

A. TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO:

Ocena możliwości wykorzystania biomasy odpadowej z rolnictwa oraz przemysłu rolno-spożywczego do komponowania podłoży fermentacyjnych w biogazowniach

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego tworzy cykl powiązanych tematycznie 8 publikacji, które ukazały się w czasopiśmie z listy A i B, zgodnie z wykazem MNiSW z 2016 r.

B. PUBLIKACJE WCHODZĄCE W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Publikacja	Pkt.¹	IF²	Liczba cytowań³
P-1. Sikora J. 2012. <i>Badanie efektywności produkcji biogazu z frakcji organicznej odpadów komunalnych zmieszanej z biomasą pochodzenia rolniczego</i> . Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, 11/2012. s. 89-98.	10	0,0	0/0
P-2. Sikora J., Wolny-Koładka K., Malinowski M. 2013. <i>Biodiversity of microorganisms isolated from selected substrates used in agricultural biogas plants versus the quantity and quality of obtained biogas</i> . Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. 2013. nr 04/II. s. 141-154.	10	0,0	0/0
P-3. Sikora J., Rutkowski K. 2013. <i>Determining the amount of biogas derived from substrate on base executed corn silage and wastes of agricultural industries</i> . Faculty of Engineering. s. 581-585.	15	0,0	0/0
P-4. Dziejic K., Łapczyńska-Kordon B., Malinowski M., Niemiec M., Sikora J., 2015.: <i>Impact Of Aerobic Biostabilisation And Biodrying Process Of Municipal Solid Waste On Minimisation Of Waste Deposited In Landfills</i> . Chemical and Process Engineering , vol. 36, nr 4, 2015, s. 381-394. DOI:10.1515/cpe-2015-0027	15	0,892	10/6
P-5. Sikora J., Niemiec M., Szelaǳ-Sikora A. 2016. <i>Use of sugar beet leaves for biogas production</i> . Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Vol. 61(4). s. 151-155.	12	0,0	0/0
P-6. Sikora J., Niemiec M., Szelaǳ-Sikora A. 2018. <i>Evaluation of the chemical composition of raw common duckweed (Lemna minor L.) and pulp after methane fermentation</i> . J. Elem., 23(2): 685 - 695. DOI: 10.5601/jelem.2017.22.2.1444	15	0,684	0/0
P-7. Sikora Jakub, Niemiec Marcin, Szelaǳ-Sikora A., Kuboń, M., Olech, E. , Marczuk, A. 2017. <i>Zgazowanie odpadów z przemysłowego przetwórstwa karpia</i> . Przemysł Chemiczny, vol. 96, nr 11, 2017. s. 2275-2278, DOI:10.15199/62.2017.11.12	15	0,399	2/2
P-8. Niemiec M., Sikora J., Szelaǳ-Sikora A., Kuboń, M., Olech, E. , Marczuk, A. <i>Przydatność odpadów organicznych z przemysłu spożywczego w procesie fermentacji metanowej</i> . Przemysł Chemiczny, vol. 96, nr 3, 2017. s. 685-688, DOI 10.15199/62.2017.3.38	15	0,399	9/0
Razem	107	2,374	22/8

¹**Punkty MNiSW według Komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 stycznia 2019 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych wraz z liczbą punktów przyznawanych za publikacje w tych czasopismach.**

²**Impactfactor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania (dla publikacji z 2018, dla których IF nie został obliczony podano ostatni aktualny)**

³**Liczba cytowań według Web of Science/Scopus na dzień 20 stycznia 2019 roku.**

Wkład Wnioskodawcy i oświadczenia współautorów w wyżej wymienione prace przedstawiono w załączniku nr 4.

C. OMÓWIENIE PUBLIKACJI WCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

1. Wprowadzenie

Według przyjętej strategii energetycznej, polityka energetyczna Polski do 2030 roku (opracowana w 2009 r. i przyjęta Uchwałą Rady Ministrów) zakłada budowę w każdej gminie średnio jednej biogazowni [<http://www.gov.pl>].

Oprócz przyjętej liczby biogazowni, dokument zakłada również usuwanie barier rozwoju biogazowni rolniczych w tym również znajdowanie, alternatywnego względem standardowych, powszechnie dostępnych substratów do biogazowni. W przyjętym tzw. Krajowym Planie Działania w Zakresie Energii ze Źródeł Odnawialnych (opracowany w 2010 r.) określono m.in. zasady włączania producentów biogazu do sieci gazu miejskiego (po spełnieniu przez biogaz norm jakościowych). Dokument ten zakłada również maksymalizację wykorzystania istniejącego lokalnie potencjału energetyki odnawialnej, zarówno do produkcji energii elektrycznej, ciepła, chłodu, produkcji skojarzonej, jak również do wytwarzania biopaliw ciekłych i biogazu; Również przyjęty w 2013 r. tzw. mały trójpak energetyczny zawiera pakiet ustaw który przybliży nasz kraj do realizacji wspólnego rynku energii elektrycznej i gazu oraz działa na rzecz rozwoju energetyki prokonsumenckiej (prosumenckiej).

Rozwój biogazowni i zagospodarowanie biomasy odpadowej na cele energetyczne jest szczególnie ważny ze względu na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, których ilość zależy głównie od poziomu rozwoju socjalnego i ekonomicznego, wzrostu populacji ludzkiej, stosowanych technologii czy też zmian klimatycznych [IPCC, 2007; Smith i inni., 2007]. Rozwój intensywnej produkcji rolniczej wpływa destruktywnie na lokalne środowisko naturalne [Sathaye i inni, 2007]. Natomiast powstawanie nowych technologii produkcji i nowoczesne metody jej zarządzania mogą przyczynić się do zmniejszenia negatywnego oddziaływania i emisji GHG [IPCC, 2007; Chochowski i Krawiec, 2008].

Należy mieć również świadomość, że realizacja celu wskaźnikowego (zawartego w dyrektywie PE) w odniesieniu do „zużycia energii” daje szanse rozwoju sektora biogazu, który może znaleźć bezpośrednie i pośrednie zastosowanie na wszystkich trzech rynkach końcowych nośników energii (energia elektryczna, ciepło, transport). Według danych Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa wynika że podmiotów prowadzących działalność związaną z wytwarzaniem biogazu rolniczego jest 85, a instalacji do wytwarzania biogazu jest

95. W roku 2015 było 112 instalacji, spadek był spowodowany przejściem instalacji z biogazowni rolniczej z powodu braku wsadu na instalacje biogazowe.

Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa (KOWR) prowadzi rejestr zgodnie z art. 23 oraz art. 24 ust. 1 ustawy z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz. U. z 2017 r. poz. 1148, z późn. zm.), wytwórców biogazu rolniczego w instalacjach biogazowych i mikroinstalacjach biogazowych [<http://prawo.sejm.gov.pl>].

Ustawa z dnia 11 maja 2017 r. wprowadziła m.in. nowe regulacje związane z funkcjonowaniem sektora biogazu rolniczego. W szczególności unormowano definicję biogazu rolniczego, zasady wykonywania działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania biogazu rolniczego wykorzystywanego do produkcji energii elektrycznej lub przeznaczanego do wtłoczenia do sieci dystrybucyjnej gazowej, a także ustanowiono system zbywalnych świadectw pochodzenia biogazu rolniczego wprowadzonego do sieci dystrybucyjnej gazowej. Na mocy powyższej ustawy działalność gospodarcza w zakresie wytwarzania biogazu rolniczego lub wytwarzania energii elektrycznej z biogazu rolniczego staje się działalnością regulowaną w rozumieniu ustawy o swobodzie działalności gospodarczej, wymagającą wpisu do rejestru przedsiębiorstw energetycznych zajmujących się wytwarzaniem biogazu rolniczego prowadzonego przez prezesa KOWR.

Mimo, wyraźnej tendencji zwiększenia zainteresowania produkcją biogazu, nadal często wiedza z zakresu parametrów procesu oraz technologii jest niewystarczająca. Jest to spowodowane odmiennymi, w stosunku do standardowych, substratami oraz możliwościami wykorzystania produktów z wytwarzania biogazu w innych celach (wynikających z np. rozwoju technologii wytwarzania tzw. paliw kompaktowych). Dotychczasowa, krajowa, wiedza z zakresu przebiegu procesów w komercyjnych instalacjach biogazowych oparta była głównie o doświadczenia czerpane z innych krajów europejskich, gdzie znaczenie wcześniej wdrożono szereg procedur do praktyki [www.ieo.pl].

Oprócz korzyści ekonomicznych z produkcji energii z biogazu rolniczego dodatkową korzyścią dla środowiska jest zmniejszenie zanieczyszczenia wody, gleby i powietrza. Tradycyjnie obornik jest stosowany jako nawóz naturalny w rolnictwie, który może powodować problemy środowiskowe, zanieczyszczenie wód i powietrza. Naturalna degradacja obornika prowadzi do emisji metanu i dwutlenku węgla podczas przechowywania na przymach oraz podczas aplikacji na polu [Angelidaki i Ellegaard, 2003].

Fermentację beztlenową można wykorzystać poza celami energetycznymi do łagodzenia zapachów podczas przechowywania nawozów naturalnych i usuwanie z nich patogenów chorobotwórczych, które mogą stanowić duże ryzyko dla zdrowia ludzi i zwierząt podczas nawożenia nimi pól uprawnych. Poferment z produkcji biogazu nadal może być używany jako nawóz, podobnie jak obornik, posiada taką samą zawartość składników odżywczych jak obornik. To przynosi dodatkowe korzyści ekonomiczne poprzez ograniczenie stosowania nawozów sztucznych w gospodarstwach, oraz zmniejsza wpływ substancji odżywczych i zapobiega emisjom metanu [Holm-Nielsen i inni, 2009].

W obecnym czasie, rozwój rynku doprowadził do powstania wielu różnych rozwiązań technicznych, dostosowanych do różnorodnych potrzeb użytkowników, jednak stosowane technologie obejmują często wycinek problemu. Dotyczy to zarówno rozwiązań na rynku polskim jak i światowym.

Zagadnienia wykorzystania alternatywnych substratów (w stosunku do powszechnie stosowanych) w biogazowni były obiektem badań również w światowych ośrodkach naukowych. Jako badany substrat były to: odpady z produkcji drożdży [Merwe i Britz, 1993], odpady z oczyszczalni ścieków [Sharma i inni, 1999], odpady z przemysłu farmaceutycznego

[Yapa i inni, 1992], odpady z przetwórstwa ryb [Koutinas i inni, 1991]. Przytoczone prace badawcze opisywały jednak wyniki badań w warunkach laboratoryjnych.

Jest powszechnie wiadomo, że przebieg procesu fermentacji metanowej zależy od całego szeregu czynników fizycznych i chemicznych, które wpłynąć będą na wydajność i skład biogazu. Ważniejsze z nich to: początkowy skład substancji organicznej, jej wilgotność, postać wsadu (sucha, półsucha, ciekła), temperatura, ciśnienie oraz rodzaj zastosowanej technologii komory fermentacyjnej.

W procesie beztlenowego rozkładu substancji organicznej w komorze fermentacyjnej można wyróżnić cztery fazy: hydrolizę - uwodnienia wielocząsteczkowych związków organicznych, fazę kwaśną - produkcja kwasów organicznych alkoholi i aldehydów, fazę octanogenną - produkcja lotnych kwasów tłuszczowych, fazę metanogenną - rozkład lotnych kwasów tłuszczowych do CH_4 i CO_2 .

Bakterie wykazujące aktywność w poszczególnych wymienionych fazach procesu posiadają różne wymagania, co do swoich warunków życia. W przypadku stosowania instalacji jednoetapowych (wszystkie fazy przebiegają w jednym fermentatorze) konieczny jest odpowiedni kompromis. Ponieważ bakterie metanowe są najbardziej wrażliwe na zakłócenia i namnażają się bardzo wolno, warunki środowiska w tym przypadku muszą być do nich dostosowywane. Lepsze pod względem optymalizacji warunków zewnętrznych dla określonych grup bakterii są tzw. technologie dwuetapowe [www.ieo.pl].

Właściwy przebieg fermentacji metanowej, zapewniający wysoką wydajność produkcji metanu, wymaga utrzymania określonych parametrów procesu, które można scharakteryzować następująco [Boyce, 1995].

1. Atmosfera beztlenowa – proces fermentacji metanowej powinien przebiegać w warunkach beztlenowych. Często jednak nie jest możliwe uniknięcie całkowitego wyeliminowania tego gazu z bioreaktora (fermentatora). Niektóre z bakterii metanowych są warunkowo beztlenowe, czyli mogą przeżyć zarówno w warunkach aerobowych i anaerobowych. Bakterie te zużywając tlen do momentu, gdy jego odprowadzanie będzie odpowiednio wydajne, zapewniają ochronę bakteriom, które mogą żyć tylko w warunkach beztlenowych [Głodek i inni, 2007].

2. Temperatura – każdy gatunek bakterii biorący udział w procesach przemiany materii wymaga innej temperatury. Procesy metanogenne zachodzą w przyrodzie w temperaturze od 4 do 98°C [Brown, 1996]. W przypadku produkcji biogazu, optymalne zakresy temperatur przedstawiają się następująco:

-20 -25 °C zakres aktywności bakterii psychrofilnych,

-35-37 °C zakres aktywności bakterii mezofilowych,

-55 – 60 °C zakres aktywności bakterii termofilnych.

Większość znanych bakterii metanowych, to bakterie mezofilowe. Instalacje pracujące w zakresie mezofilowym są w praktyce najbardziej rozpowszechnione, ponieważ osiąga się wówczas najkorzystniejsze uzyski gazu przy zachowaniu dobrej stabilności procesu [www.ieo.pl].

Bakterie termofilne są bardziej wydajne niż mezofilowe, bowiem w ciągu 12 dni mineralizują tyle substancji, ile bakterie mezofilowe w ciągu 21 dni, dzięki czemu, przy tej samej dziennej produkcji biogazu, pojemność zbiorników fermentacyjnych może być znacznie mniejsza. Jednak ze względu na konieczność utrzymywania wyższej temperatury substancji fermentującej, zużycie energii cieplnej przy bakteriach termofilowych jest znacznie większe. Przy niskiej temperaturze otoczenia i niedostatecznej izolacji zbiornika, zapotrzebowanie energii do podgrzewania wsadu fermentatora może być tak duże, że cały wyprodukowany gaz

może jej nie zabezpieczyć. Proces termofilny fermentacji metanowej jest ponadto bardziej wrażliwy na wszelkie zakłócenia [Dreszer i inni, 2003].

Ma on jednak zastosowanie, gdy zachodzi konieczność stosowania higienizowania, w celu redukcji bakterii chorobotwórczych lub w przypadku stosowania podłoży o wysokiej temperaturze własnej.

Jedną z podstawowych przyczyn zakłócenia procesu fermentacji metanowej jest niekontrolowane zmniejszenie temperatury poniżej właściwego zakresu, spowodowane np. awarią układu ogrzewania reaktora, usterką czujników temperatury lub podaniem większej ilości niedogrzanego substratu. Zmniejszenie się temperatury hamuje aktywność bakterii metanowych, które przeżywają tylko w ściśle ograniczonym zakresie temperatur. Bakterie hydrolizujące i octowe nie są tak wrażliwe na wahania temperatury i mogą przeżyć przy niższej temperaturze. Z tego powodu w fermentatorze dochodzi do nagromadzenia kwasów i spadku odczynu pH.

3. Odczyn (wartość pH) optymalna wartość pH dla bakterii hydrolizujących i kwasotwórczych wynosi 4,5-6,3, natomiast w przypadku bakterii produkujących kwas octowy i metan wartość pH musi mieścić się w granicach 6,8 - 7,5 [www.ieo.pl].

Obniżenie wartości pH prowadzi do zahamowania aktywności bakterii metanowych. Ponieważ rozkład metanogeny nie działa wtedy odpowiednio sprawnie, dochodzi do skupienia kwasów związanych z fermentacją octową, co powoduje je jeszcze większe obniżenie wartości pH. W efekcie następuje zakwaszenie procesu i zahamowanie aktywności bakterii.

4. Składniki pokarmowe - konieczne jest zapewnienie bakteriom niezbędnych do wzrostu i przetrwania składników pokarmowych i pierwiastków śladowych, takich jak żelazo, nikiel, kobalt, selen, molibden i wolfram [Braun, 1982]. Ostateczna ilość metanu dająca się uzyskać z używanych substratów jest określona przez zawartości białek, węglowodanów i tłuszczów. Przykładowo, z 1 kg suchej masy organicznej w wyniku anaerobowej fermentacji białka uzyskuje się 0,6 do 0,7 m³ biogazu, w przypadku węglowodanów jest to 0,8-0,9 m³, a tłuszczy od 1,2 do 1,5 m³ [Dreszer i inni, 2003]. Ponadto o stabilnym przebiegu procesu decyduje również stosunek C/N w używanym podłożu. Jeśli ten stosunek jest za wysoki, nie może dojść do całkowitej przemiany węgla, a tym samym nie można uzyskać właściwej wydajności procesu. W odwrotnym przypadku, przy nadmiarze azotu, może dojść do powstania amoniaku (NH₃), który już w niewielkich stężeniach hamuje wzrost bakterii i może doprowadzić nawet do zniszczenia całej populacji [Braun, 1982]. Aby bakterie otrzymywały dostateczną porcję substancji pokarmowych, stosunek C:N:P:S powinien wynosić 600:15:5:1 [Weiland, 2001].

5. Inhibitory - substancje, które już w niewielkich ilościach działają toksycznie na bakterie i zakłócają proces rozkładu. Można je podzielić na te, które mogą dostawać się do komory fermentacyjnej razem z substratem oraz na powstające jako produkty pośrednie w poszczególnych etapach rozkładu. Szczególnie szkodliwe substancje to: antybiotyki, środki dezynfekujące, rozpuszczalniki, środki chwastobójcze, sole i metale ciężkie. W przypadku niektórych inhibitorów można mówić o wzajemnym oddziaływaniu z innymi substancjami. Metale ciężkie wpływają niekorzystnie na proces fermentacji tylko wtedy, gdy występują w wolnej postaci. Są one neutralizowane poprzez powstający w procesie fermentacji siarkowodor. Powstające podczas fermentacji siarkowodor i amoniak, mogą także działać hamująco na proces fermentacji. Przykładowo, amoniak dla większości bakterii jest źródłem azotu, lecz już przy niewielkich stężeniach (od 0,15 g/l) działa hamująco na mikroorganizmy [www.ieo.pl]. Ilość powstającego amoniaku wzrasta wraz ze wzrostem

wartości pH. Rodzaj podłoża także decyduje o tworzeniu się amoniaku. Podłoża o wysokiej zawartości białka uwalniają zdwojoną ilość azotu amonowego. Siarkowodor wprawdzie neutralizuje metale ciężkie, lecz przy stężeniu powyżej 50 mg/l może zahamować proces rozkładu. Ponadto powoduje przyspieszoną korozję instalacji.

6. Proces mieszania zapewnia dobry kontakt bakterii i podłoża, ujednolica temperaturę wsadu bioreaktora i pozwala na równomierne rozprowadzenie mikroorganizmów w całej masie. Brak mieszania zawartości fermentatora skutkuje rozwarstwieniem fermentującego substratu. Zjawisko to spowodowane jest różnicą gęstości poszczególnych substancji składowych podłoża. Dochodzi do ograniczenia kontaktu między podłożem a bakteriami, które jako cięższe gromadzą się w dolnej części komory fermentacyjnej. Dodatkowo z substancji, które unoszą się na powierzchni powstaje warstwa utrudniająca przepuszczanie gazów. Zbyt szybkie mieszanie również może doprowadzić do zahamowania procesu produkcji biogazu. Szczególnie bakterie octowe i metanowe tworzą zwarte skupiska, które mają duże znaczenie w prawidłowym przebiegu procesu. Jeśli poprzez zbyt intensywne mieszanie naruszy się te skupiska, w najgorszym wypadku prowadzi to do całkowitego zahamowania całego procesu. Stosowane są więc wolnoobrotowe mieszadła, a proces mieszania przeprowadza się okresowo [Dreszer i inni, 2003, Głodek i inni, 2007]. Do produkcji biogazu można wykorzystać wiele rodzajów substratów. Praktycznie substratem, może być każda substancja organiczna, która nie zawiera inhibitorów. Ze względu na rodzaj substratu (podłoża) wykorzystywanego do wytwarzania biogazu można wyróżnić: źródła zwierzęce (gnojowica, obornik), źródła pochodzące z produkcji roślinnej (uprawy energetyczne, odpady zielone), źródła komunalne (odpady organiczne, osad ściekowy), źródła pochodzące z przemysłu spożywczego (odpad z mleczarni, browaru, cukrowni, rzeźni) [Lewandowski, 2006]. Zasadą jest sporządzanie mieszaniny substratów, w taki sposób, aby uzyskać konieczne uwodnienie masy fermentacyjnej (w technologii mokrej) oraz wzbogacenie procesu substratami o wyższej wydajności produkcji biogazu, niż szeroko dostępne odpady pochodzące z hodowli zwierząt inwentarskich. Dlatego między innymi, aby proces produkcji biogazu z substratów odpadowych (produkcji rolniczej, spozywczej) był wydajniejszy, gnojowicę, gnojówkę, wywary przemysłu spożywczego wzbogaca się substratem z roślin energetycznych lub odpadami zawierającymi tłuszcze (odpady poubojowe). Jakość substratu ma duży wpływ na ilość i jakość produkowanego biogazu, dlatego niekiedy wymaga ono odpowiedniej obróbki wstępnej, polegającej np. na rozdrobieniu (siano, resztki poźniwne), usunięciu substancji obcych (kamienie, elementy metalowe, plastik, piasek, drewno itp.). Poprzez rozdrobienie zwiększa się powierzchnia właściwa substratu, przez co bakterie mogą intensywniej przeprowadzić proces rozkładu. Usuwanie substancji obcych zabezpiecza instalację przed uszkodzeniami. Oprócz jakości podłoża, parametrem decydującym o ilości powstającego biogazu jest obciążenie objętościowe komory bioreaktora. Parametr ten określa ilość kilogramów suchej masy organicznej, jaką należy podać na objętość 1m³ fermentatora. Obciążenie komory ma zasadniczy wpływ na przebieg procesu fermentacji i produkcję biogazu. Przy zwiększaniu ładunku do wartości granicznej zwiększa się produkcja biogazu. Po osiągnięciu maksimum produkcja maleje, gdyż następuje przeciążenie układu. Konieczne jest więc rozpoznanie optymalnego zakresu obciążenia komory fermentacyjnej [Kaltschmitt i Hartmann, 2001].

Przy ustalaniu wielkości zbiornika bioreaktora należy wziąć pod uwagę hydrauliczny czas aktywności HRT (Hydraulic Retention Time) [Braun 1982]. Parametr ten określa czas, w jakim podane podłoże pozostaje w fermentatorze. Czas retencji substratu w komorze fermentacyjnej musi być dostosowany do rodzaju wsadu, aby zapewnić jego pełny rozkład. Różne substancje ulegają rozkładowi w różnym tempie. Tłuszcze rozkładają się szybciej,

dlatego też wsad, w którym one przeważają wymaga krótszego czasu retencji. Substrat z dużą zawartością celulozy wymaga natomiast dłuższego czasu retencji, gdyż celuloza rozkłada się dość wolno. Dla gnojowicy bydłowej czas retencji wynosi 12-18 dni, dla obornika 18 - 36 dni, a dla gnojowicy świńskiej 10 - 15 dni. Czas retencji uzależniony jest także od temperatury, w jakiej przebiega fermentacja metanowa. W warunkach mezofilnych substancje rozkładane są wolniej, a czas retencji trwa 12 do 36 dni. W przypadku fermentacji termofilnej czas ten jest krótszy i wynosi 12 do 14 dni [Głodek i inni, 2007].

Wytwarzanie biogazu na drodze fermentacji beztlenowej może być przeprowadzane metodami w różnych wariantach. Do klasyfikacji metod wytwarzania biogazu można przyjąć różne kryteria.

1. Liczbę etapów procesu technologicznego (metoda jednoetapowa, dwuetapowa, wieloetapowa). W biogazowniach rolniczych najczęściej stosuje się jedno, bądź dwuetapową metodę produkcyjną, przy czym główne zainteresowanie skupia się na instalacjach jednoetapowych [Schulz i Eder, 2001]. W instalacjach takich nie występuje przestrzenne rozdzielanie poszczególnych faz procesu fermentacji (hydrolizy, fazy zakwaszania, tworzenia kwasu octowego i metanu). Wszystkie etapy procesu technologicznego przebiegają w jednym zbiorniku. Natomiast w metodach dwu lub wieloetapowych dokonuje się przestrzennego oddzielenia poszczególnych faz procesu na różne zbiorniki. W metodzie dwuetapowej na przykład hydroliza i zakwaszanie przebiegają w oddzielnym zbiorniku.

2. Temperaturę procesu technologicznego (faza psychrofilowa, mezofilowa, termofilna). Biogazownie mezofilowe eksploatowane się w przedziale temperatur 32 - 38°C, natomiast termofilowe w zakresie od 42 do 55°C, przy czym wymienione granice są płynne. Ponadto temperatura fermentatora może być optymalizowana w zależności od zastosowanego substratu. W zakresie mezofilowym pracuje 85% biogazowni rolniczych. Instalacje pracujące w zakresie termofilowym są częściowo skombinowane z mezofilowym etapem procesu technologicznego [Weiland i Rieger, 2001].

3. Tryb napełniania materiałem (nieciągły, quasi-ciągły, ciągły). Tryb napełniania, zdeterminowany jest w znacznym stopniu dostępnością świeżego substratu. Napełnianie komory fermentacyjnej nieciągłe można podzielić na okresowe i metodę z wykorzystaniem tzw. zbiorników wymiennych. W procesie okresowym zbiornik fermentacyjny napełniany jest świeżym substratem, po czym zamyka się go hermetycznie i odcina dostęp powietrza. Po upływie zadanego czasu przetrzymania, zbiornik zostaje opróżniony i napełniony świeżym wsadem, przy czym zawsze na dnie pozostawia się niewielką ilość przefermentowanego materiału w celu zaszczepienia świeżego substratu i zapoczątkowania procesu. W metodzie okresowej produkcja gazu (jego ilość i jakość) jest zmienna w czasie. Metoda zbiorników wymiennych opiera się na pracy z dwoma zbiornikami fermentacyjnymi. Pierwszy zbiornik jest stopniowo i równomiernie napełniany substratem, podczas gdy substrat zalegający w drugim, zasypanym do pełna zbiorniku, jest poddawany procesowi fermentacji metanowej. Kiedy napełnianie pierwszego zbiornika zostaje zakończone, to wówczas drugi zbiornik zostaje w całości opróżniany, po czym napełnia się go stopniowo świeżym materiałem. W quasi-ciągłym i ciągłym trybie napełniania można wyróżnić metodę przepływową, metodę magazynowania oraz kombinowaną metodę magazynowo-przepływową. W przeciwieństwie do ciągłego trybu napełniania, w trybie quasi-ciągłym przynajmniej raz w ciągu dnia roboczego wprowadza się do fermentatora nie przefermentowany ładunek substratu [Weiland i Rieger, 2001].

Większość biogazowni pracuje na zasadzie przepływu. W tej technologii, z jednego zbiornika magazynowego ewentualnie ze zbiornika wstępnego substrat jest przepompowywany periodycznie do zbiornika fermentacyjnego w którym, następuje równoczesne odprowadzanie z bioreaktora równoważnej ilości substratu już przefermentowanego do zasobnika odpadów

pofermentacyjnych. Bioreaktor w takim procesie cały czas jest wypełniony, opróżnia się go na czas remontów.

Metoda ta odznacza się równomierną produkcją biogazu i dobrym wykorzystaniem komory fermentacyjnej. Istnieje tu jednak pewne zagrożenie związane z możliwością przedostawania się części świeżego substratu do zasobnika odpadu pofermentacyjnego [Weiland i Rieger 2001].

W metodzie magazynowej fermentator i zbiornik odpadów pofermentacyjnych są jednym zbiornikiem. Przy odprowadzaniu przefermentowanego substratu ten połączony zbiornik nie jest opróżniany do końca, ponieważ pozostawia się w nim reszkę materiału potrzebną do zaszczerpienia świeżego substratu.

Następnie zbiornik ten jest powoli wypełniany stale dodawanym substratem pobieranym ze zbiornika wstępnego. Produkcja gazu przy tej metodzie jest mniej równomierna niż przy przepływowej, za to łatwiej tu uzyskać dłuższe czasy przetrzymania masy substratu w zbiorniku [Weiland i Rieger, 2001].

W biogazowniach pracujących według kombinowanej metody przepływowo-magazynowej zbiornik osadów pofermentacyjny jest również zakryty. W ten sposób powstający tu biogaz może być również wychwytywany i wykorzystywany. A więc zbiornik odpadów pofermentacyjnych funkcjonuje tu jako „instalacja magazynowa“. W tym układzie instalacyjnym część magazynującą poprzedza podłączony do niej fermentator przepływowy. Z niego również można wybierać substrat, gdy np. istnieje zapotrzebowanie na duże ilości przefermentowanego substratu jako nawozu. Metoda ta pozwala na równomierną produkcję gazu. Natomiast nie da się w niej dokładnie ustalić czasów przetrzymania, ponieważ w fermentatorze przepływowym mogą pojawiać się przepływy obejściowe [Weiland i Rieger, 2001].

Zawartość substancji suchej w substratach (fermentacja mokra, fermentacja sucha). Jednoznaczny podział metod na fermentację mokrą i suchą z biologicznego punktu widzenia nie jest właściwy, ponieważ bakterie biorące udział w procesie fermentacji zawsze potrzebują wilgotnego środowiska do przeżycia. Z tego powodu podziału na fermentację mokrą lub suchą dokonuje się na podstawie zawartości suchej masy materiału w komorze fermentacyjnej. Nie ma dokładnej definicji granicy między fermentacją mokrą i suchą. W praktyce przyjęło się, że fermentacja mokra ma miejsce wtedy, gdy zawartość masy suchej w fermentorze wynosi od 12 do 15%, a zawartość wody umożliwia pompowanie materiału. Jeśli zawartość masy suchej wzrośnie powyżej 16%, to materiał przeważnie traci zdolność do pompowania i mówić wtedy można o fermentacji suchej. W biogazowniach rolniczych, niemal wyłącznie, zastosowanie znajduje proces fermentacji mokrej. Natomiast gotowe instalacje fermentacji suchej są w większości instalacjami pilotażowymi bądź doświadczalnymi [www.ieo.pl].

Do fermentowania substratów ciekłych najczęściej stosuje się metody przepływu tłokowego oraz przepływu pełnego (z idealnym mieszaniem).

Biogazownie z przepływem tłokowym nazywane także zbiornikowymi instalacjami przepływowymi, wykorzystują efekt wyporu doprowadzanego świeżego substratu, aby wywołać przepływ tłokowy przez zazwyczaj poziomy fermentator, mający przekrój okrągły bądź czteroskątny. Zjawisko przepływu w poprzek do kierunku strumienia jest najczęściej realizowane za pomocą wałów łopatkowych, albo specjalnie skonstruowanego przewodu przepływowego. Maksymalna objętość takich fermentatorów wynosi ok. 800 m³ [www.ieo.pl].

Reaktory z idealnym mieszaniem budowane są w formie cylindrycznej. Mają zastosowanie przede wszystkim do wytwarzania biogazu w gospodarce rolnej. Pod względem

konstrukcyjnym odpowiadają one standardowym zbiornikom na gnojowicę, które można po przeróbkach przystosować do produkcji biogazu. Fermentatory takie składają się ze zbiornika z betonowym dnem i stalowymi lub żelazobetonowymi ściankami. Zbiornik może być całkowicie lub częściowo wpuszczony w podłoże, albo znajdować się całkowicie na powierzchni. Na zbiorniku takim nadbudowuje się gazoszczelne przykrycie. Idealny przepływ substratu zapewnia mieszadło, ewentualnie system pomp. Maksymalna pojemność takich fermentatorów to 6000 m³[www.ieo.pl].

Technologia pozyskiwania biogazu w drodze fermentacji suchej może stać się alternatywna dla przedsiębiorstw rolnych, które nie mają do dyspozycji gnojowicy służącej jako substrat podstawowy. Pozyskiwanie biogazu w drodze fermentacji mokrej wiąże się wtedy z wysokimi nakładami technologicznymi, związanymi z koniecznością upłynnienia substratów lub sporządzenia zacieru przy wysokim zużyciu energii i wody [www.ieo.pl].

Biorąc pod uwagę aktualny stan wiedzy dotyczący wpływu kosubstratów na ilość i jakość wydzielanego biogazu oraz dostępnych rozwiązań technicznych podjęto badania, których celem była ocena:

- wpływu dodatku do podłoża fermentacyjnych biomasy odpadowej z rolnictwa, przemysłu rolno-spożywczego oraz organicznej frakcji strumienia odpadów komunalnych,
- wpływu różnorodności biologicznej mikroorganizmów izolowanych z wybranych substratów (wywar pogorzelniany zbożowy, kiszonka z wysłodków buraczanych, makuchy rzepakowe z produkcji biopaliwa, wytloki jabłek, młoto browarniane świeże (mokre), celuloza z przemysłu papierniczego, kiszonka z kukurydzy zebrana siewkarnią ze zgniataczem ziarna, kiszonka z kukurydzy zebrana siewkarnią polową bez zgniatacza ziarna) wykorzystywanych w biogazowniach,
- jakości i ilości powstającego pofermentu z różnych kosubstratów określono na podstawie zawartość makroelementów (C, N, P, K, Ca, Mg i Na) oraz pierwiastków śladowych (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn i Cd).

Przedstawiona w tym kontekście problematyka wytwarzania biogazu oraz zagospodarowania pofermentu, znajduje pełne uzasadnienie aplikacyjności uzyskanych wyników z przeprowadzonych eksperymentów badawczych zawartych w przedkładanych publikacjach.

2. Omówienie wyników publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

P-1. Sikora J. 2012. *Badanie efektywności produkcji biogazu z frakcji organicznej odpadów komunalnych zmieszanej z biomasą pochodzenia rolniczego. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, Nr 2/IV/2012 s. 89–98

Uzasadnienie badań i cel pracy

Ostatnimi czasy duże nadzieje pokłada się w wykorzystaniu biogazu powstałego w wyniku fermentacji biomasy. Fermentacja beztlenowa jest złożonym procesem biochemicznym zachodzącym w warunkach beztlenowych. Substancje organiczne rozkładane są przez bakterie na związki proste - głównie metan i dwutlenek węgla. W czasie procesu fermentacji beztlenowej do 60% substancji organicznej jest zamienione w biogaz. Tempo rozkładu zależy w głównej mierze od charakterystyki i masy surowca, temperatury oraz optymalnie dobranego czasu trwania procesu. Prawidłowa temperatura

fermentacji wynosi 30-35°C dla bakterii mezofilnych i 50-60 stopni dla bakterii termofilnych [Buraczewski i inni, 1999].

Jako biomasę do produkcji biogazu stosuje się obecnie głównie: słomę, liście buraków, łęty ziemniaczane, łodygi kukurydzy, koniczynę, trawę oraz osady ściekowe. Są to instalacje przy gospodarstwach rolniczych lub oczyszczalniach ścieków [Lewandowski, 2008].

Całkowicie ignoruje się natomiast możliwość wykorzystania odpadów biodegradowalnych pochodzących ze strumienia odpadów komunalnych (biogaz odzyskuje się z nich tylko w drodze odgazowywania terenów poskładowiskowych – metan jest gazem cieplarnianym i jako taki powinien być spalany a nie emitowany do atmosfery). Przeprowadzone przez innych autorów badania mówią o znacznym, bo ponad 50% udziale tych odpadów w całym strumieniu (resztki pochodzenia roślinnego i zwierzęcego 33%, papier 21%) [Kurek i inni, 2008]. Ponadto Dyrektywa Rady Europejskiej 99/31/WE z 26 kwietnia 1999 w sprawie składowania odpadów wymaga ograniczenia zawartości substancji biodegradowalnych deponowanych na składowiskach do 75% masy wyjściowej w ciągu 5 lat od wdrożenia, do 50% w ciągu 8 lat, do 35% w ciągu 15 lat. Za moment wdrożenia przyjmuje się 1 maja 2004 roku a punktem odniesienia jest ilość odpadów wytworzona w 1995 r. Oznacza to, że w Polsce będą musiały w najbliższych latach powstać instalacje do unieszkodliwiania tych odpadów w sposób inny niż przez składowanie.

Najczęściej występujące frakcje biodegradowalne w odpadach komunalnych to: odpady z ziemniaków, liście kapusty, obierki warzyw, skórki z owoców cytrusowych i bananów oraz odpady pochodzenia zwierzęcego.

Na terenach wiejskich i miejsko-wiejskich występują te substraty i można je wykorzystywać na cele energetyczne. Brak jest rozwiązań prowadzenia fermentacji aerobowej opartej o mieszanie tych mas organicznych. Optymalny model zasilania biogazowni powinien pozyskiwać energię z biomasy i jednocześnie utylizować biomasę odpadową (biomasa z odpadów komunalnych, gnojowica i obornik). Określenie biogazodochodowości przyjętych mieszanin substratów i parametrów prowadzonej fermentacji biogazowej w komorze laboratoryjnej pozwoliło na wyznaczenie przydatności biomasy na cele zgazowywania podczas fermentacji metanowej. Wybór tych substratów do badań jest podyktowany poszukiwaniem optymalnego procesu pozyskiwania energii i utylizacji biomasy na terenach gmin wiejskich i miejsko-wiejskich. W przypadku prowadzenia fermentacji opartej o te substraty podstawowym wsadem jest masa rolnicza, której zmienność biochemiczna jest niewielka, natomiast biomasa pochodzenia komunalnego jest masą wsadową, dodatkową utylizowaną na miejscu.

Wartość opałowa metanu wynosi 35 MJ/m³. Średnią wartość opałową biogazu uzyskiwanego z bioodpadów komunalnych określa się na poziomie ok. 21,54 MJ/m³. Energia zawarta w 1 m³ takiego biogazu odpowiada energii zawartej w 0,93 m³ gazu ziemnego 1 dm³ oleju napędowego, 1,25 kg węgla lub odpowiada 9,4 kWh energii elektrycznej.

Celem badań było określenie możliwej do uzyskania ilości biogazu, z frakcji powstałej ze zmieszania masy rolniczej z organiczną częścią strumienia odpadów komunalnych. W badaniach zostały wykorzystane następujące substraty: kiszonka z kukurydzy, organiczna frakcja odpadów komunalnych (pozyskana spod sitowej frakcji z sortowni odpadów komunalnych) oraz gnojowica bydlęca.

Materiał i metody

Frakcje zostały rozdrobnione, następnie z każdej zostało pobrane pięć próbek. Próbki zostały zważone w celu określenia ich masy przed wysuszeniem. Pomiar masy przeprowadzony został na wadze elektronicznej WPE 300. Urządzenie to cechuje się

dokładnością $\pm 0,01$ g. Do suszenia została wykorzystana konwekcyjna suszarka laboratoryjna z wymuszonym obiegiem powietrza Elkon 110. Rozdrobniony materiał został uwodniony do wilgotności około 90% , tworząc optymalne warunki do rozwoju bakterii mezofilnych. Z przyjętych do badań frakcji wykonano sześć mieszanin wsadów o parametrach przedstawionych w tabeli 1. Skomponowane podłoża zostały uwodnione i wprowadzone do fermentorów pojemności 2 dm³ z regulowanym środowiskiem temperaturowym. Wytwarzany biogaz gromadzony był w zbiorniku o zmiennej pojemności.

Tabela 1. Parametry wsadów do komór fermentacyjnych

Nazwa	Fracje		
	Kiszonka z kukurydzy [%]	Gnojowica bydłęca [%]	Podsitowa frakcja odpadów komunalnych [%]
Wsad 1	65	5	30
Wsad 2	100	0	0
Wsad 3	0	0	100
Wsad 4	50	5	45
Wsad 5	20	5	75
Wsad 6	75	5	20

Określenie intensywności wydzielania biogazu z wsadów przeprowadzono zgodnie z normą DIN 38414. Miksy wsadowe fermentowane były w warunkach statycznych, polegających na jednorazowym wprowadzeniu frakcji do komory fermentacyjnej i prowadzeniu procesu aż do zakończenia fermentacji.

Fermentatory zainstalowano w zbiorniku z regulowanym środowiskiem temperaturowym, tworzącym część stanowiska badawczego, które składało się dodatkowo z tablicy rozdzielczej oraz układu pomiarowego.

Rezultaty badań i ich interpretacja

Przeprowadzone badania procesu fermentacji w warunkach laboratoryjnych pozwoliły na porównanie intensywności wydzielania biogazu, prześledzenie faz fermentacji oraz ocenę podatności badanych miksów wsadowych na procesy biochemicznego rozkładu masy organicznej. Parametry badanych frakcji przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne wybranych substratów do badań

Lp.	Nazwa składnika wsadu	pH	s.m. [%]
1	Kiszonka z kukurydzy	3,8	26,3
2	Gnojowica bydłęca	7,5	12,0
3	Organiczna frakcja odpadów komunalnych	5,8	54,0

Parametry kiszonki z kukurydzy czy organicznej frakcji odpadów komunalnych nie odbiegały od wartości literaturowych. Natomiast gnojowica charakteryzowała się większą,

niż podawana w literaturze, zawartością suchej masy i kształtowała się w granicach 12%. Takie wartości wynikają z zastosowanej technologii na fermie krów mlecznych.

Uzyskane wyniki uzysku biogazu w stosunku do suchej masy wskazały, że największą wydajność osiągnięto z wsadu 1 (223 Ndm³/kg s.m.), przy niskiej wydajności kiszonki z kukurydzy (wsad 2), tylko 184 Ndm³/kg s.m. W przebiegu fermentacji wsadu 2, wykonanego tylko z kiszonki kukurydzy, widoczne było opóźnienie przyrostu objętości biogazu, które jest spowodowane odczynem wsadu. Największa inhibicja przyrostu i opóźnienie powstawania biogazu podczas fermentacji odnotowano dla wsadu 3 wykonanego tylko z organicznej frakcji odpadów komunalnych. Normalny przebieg wydajności produkcji biogazu uzyskano dla wadu 6 wykonanego z 75% kiszonki kukurydzy, 5% gnojowicy oraz 20% organicznej frakcji odpadów komunalnych.

Badania wykazały poprawę zdolności fermentacyjnej wsadów w kofermentacjach. Zmieszanie frakcji spowodowało zwiększenie intensywności wydzielania biogazu podczas fermentacji. We wsadach opartych na kiszonce z kukurydzy w proporcjach 65% i 75% uzyskano największą wydajność biogazu podczas fermentacji.

Chociaż istnieje możliwość jednoskładnikowego odfermentowania kiszonki kukurydzy, to jednak z przeprowadzonych badań wynika, że jest skuteczniejsze odfermentowanie kiszonki jako kosubstratu z gnojowicą i organiczną frakcją odpadów komunalnych. Powoduje to stabilniejszy przebieg procesu, a także podczas kofermentacji możliwe jest uzyskanie wspólnych efektów, które mogą zwiększyć skuteczność rozkładu masy organicznej względem uzysku metanu.

Stosowanie wsadu wykonanego tylko z frakcji organicznej odpadów komunalnych do fermentacji metanowej powoduje zmniejszenie efektu uzysku biogazu. Taki proces można z powodzeniem wykorzystywać do stabilizacji frakcji odpadowych ale nie do produkcji energii. Wykorzystywanie biomasy z odpadów komunalnych do fermentacji metanowej powoduje zwiększenie ilości wydzielanego biogazu i może być z powodzeniem wykorzystywana jako biomasa uzupełniająca w biogazowniach rolniczych na terenach wiejskich.

P-2. Sikora J., Wolny-Koładka K., Malinowski M. 2013. *Biodiversity of microorganisms isolated from selected substrates used in agricultural biogas plants versus the quantity and quality of obtained biogas*. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. nr 04/II: 141–154

Uzasadnienie badań cel pracy

O prawidłowym przebiegu fermentacji, poza właściwym substratem, decydują odpowiednie populacje mikroorganizmów oraz parametry środowiskowe, wpływające na ich aktywność i szybkość przemian, tj. pH, wymiar cząsteczek, temperatura, siła jonowa (zasolenie) oraz stężenie składników pokarmowych i związków toksycznych.

W procesie beztlenowego przekształcania substancji organicznych w gaz fermentacyjny biorą udział trzy grupy mikroorganizmów: bakterie kwasotwórcze, bakterie octanowe i bakterie metanogenne. W pierwszych dwóch fazach dominują bakterie będące zarówno obligatoryjnymi (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Bifidobacterium*), jak i fakultatywnymi beztlenowcami (*Streptococcus*, *Enterobacterium*). Niektóre z bakterii kwasotwórczych są bezwzględnie beztlenowcami (*Aerobaeter*, *Alcaligenes*, *Clostridium*, *Escherichia*, *Lactobacillus*, *Micrococcus* czy *Flavobacterium*) [Nimmrichter i Kuebler, 1999]. Ich liczebność w procesie fermentacji mezofilowej szacuje się na 10⁸-10⁹ w 1 ml [Hartman, 1999]. Szybkość wzrostu bakterii w obu tych fazach waha się od 5 godz. w obecności węglowodanów do 72 godz. podczas rozkładu tłuszczów [Heidrich i Nieścier, 1999].

Produkcja biogazu odbywa się przy udziale licznych i zróżnicowanych grup mikroorganizmów. Wywar gorzelnicy, kiszonki z kukurydzy, liści buraka, czy też z wysłodków buraczanych są naturalnie zasiedlone przez bakterie i grzyby, które mają wpływ na jakość i ilość pozyskiwanego w procesie fermentacji biogazu. Ponadto należy zwrócić uwagę na fakt, iż rodzaj i skład surowca użytego do produkcji biogazu może w istotny sposób oddziaływać na bioróżnorodność mikroorganizmów zdolnych do jego zasiedlenia. Również podczas samej fermentacji mamy do czynienia z naturalną sukcesją poszczególnych grup drobnoustrojów, a także z ich selekcją [Chung i Hoitink, 1990; Chmiel, 1994; Hadar i Gorodecki, 1991; Hardy i Sivasithamparam, 1991; Phae i inni, 1990]. Niejednokrotnie surowce rolnicze porażone są przez patogeny bakteryjne i grzybowe, co prowadzi do ich psucia oraz zaburza proces fermentacji. Dodatkowo, w takich porażonych surowcach mogą znajdować się wtórne metabolity mikroorganizmów patogennych np. mykotoksyny produkowane przez grzyby pleśniowe. Mykotoksyny wykazują wielokierunkowe działanie toksyczne, dlatego ich obecność w surowcach rolniczych stanowi potencjalne zagrożenie dla przebiegu procesu fermentacji [Kłosowski i Mikulski, 2010; Sieliwanowicz, 2003].

Wiedza dotycząca wykorzystania biomasy na cele energetyczne, a zwłaszcza wytwarzanie z niej biogazu jest coraz szersza, ale wciąż niedostateczna, a często niespójna i niejednoznaczna, zarówno wśród specjalistów jak i wśród doradców i samych rolników. Dotyczy to zarówno wsadu do fermentacji jak również zagospodarowania uzyskanego produktu pofermentacyjnego oraz zagospodarowania biogazu. Najczęściej na terenie Polski jeżeli chodzi o biogazownie rolnicze można spotkać rozwiązania, które wytwarzają biogaz z odpadów produkcji zwierzęcej (gnojówka, gnojowica i rzadziej obornik). Drugim rozwiązaniem jest produkcja biogazu z płodów rolnych, a zwłaszcza z kiszonki kukurydzianej. Takie podejście do zagospodarowania nadwyżek biomasy w gospodarstwie prowadzi do uprawy monokulturowej. A więc istnieje potrzeba poszukiwania biomasy odpadowej z przeznaczeniem na cele zgazowywania w biogazowniach rolniczych [Sikora, 2012].

Celem badań było określenie ilości i jakości biogazu w zależności od środowiska mikrobiologicznego w frakcjach pochodzenia rolniczego oraz z przemysłu rolno-spożywczego (PRS) stosowanych w biogazowniach rolniczych. W badaniach wykorzystano następujące substraty: wywar pogorzelniany zbożowy, kiszonka z wysłodków buraczanych, makuchy rzepakowe z produkcji biopaliwa, wyłoki jabłek, młoto browarniane świeże (mokre), kiszonka z kukurydzy zebrana siewkarnią polową bez zgniatacza ziarna, kiszonka z kukurydzy zebrana siewkarnią ze zgniataczem ziarna, celuloza z przemysłu papierniczego.

Materiał i metody

Próbki surowców pochodzenia rolniczego i biomasy z PRS (kiszonka z kukurydzy, obornik bydlęcy, gnojówka bydlęca, kiszonka z liści buraka, wywar gorzelnicy, wysłodki buraczane, młoto browarnicze) w jałowych pojemnikach zostały dostarczone do laboratorium Katedry Mikrobiologii. Każda próbka była analizowana metodą seryjnych rozcieńczeń, w celu stwierdzenia obecności w niej wybranych grup drobnoustrojów. Szalki Petriego z rozcieńczeniami analizowanych surowców, zostały zalane wybiórczymi podłożami do izolacji a następnie umieszczone w termostatach o odpowiednich dla wzrostu poszczególnych rodzajów mikroorganizmów. Wyrośnięte kolonie zostały zliczone i przeszczepione na kolejne podłoża celem izolacji czystych szczepów.

Izolowane zostały następujące gatunki mikroorganizmów: bakterie mezofile i termofilne, grzyby pleśniowe, promieniowce, bacillus spp., clostridium spp., azotobacter spp., escherichia coli, enterococcus faecalis, staphylococcus spp., salmonella spp., shigella spp.

Izolacja bakterii mezofilnych i termofilnych oraz grzybów pleśniowych pozwoliła na ogólną ocenę liczebności mikroorganizmów bytujących w analizowanych próbkach. Wyizolowanie i oznaczenie bakterii z rodzaju *Bacillus* i *Clostridium* odpowiedzialnych za pierwszy etap fermentacji metanowej (faza kwasogenna oraz octanogenna) świadczy o możliwości pozyskania biogazu z analizowanych próbek. Izolacja i określenie liczebności promieniowców oraz bakterii z rodzaju *Azotobacter* – mikroorganizmów będących wskaźnikami żyzności gleb dostarczy informacji o potencjalnej możliwości zastosowania wybranych surowców rolniczych jako nawozów organicznych. Oznaczenie mikroorganizmów uważanych za chorobotwórcze: *E. coli*, *E. faecalis*, *Staphylococcus* spp., *Salmonella* spp., *Shigella* spp. pozwoli stwierdzić czy przetwarzane surowce są siedliskiem tych patogenów, które mogą być niebezpieczne dla osób mających z nimi kontakt.

Identyfikacja gatunkowa prowadzono w oparciu o obserwacje mikroskopowe oraz hodowle na wybiórczych podłożach mikrobiologicznych z użyciem kluczy diagnostycznych [Domsch i inni, 1980; Gilman, 1957; Marcinowska, 2003; Holt, 1989]. Z czystych szczepów sporządzane będą preparaty bakteriologiczne, które po wybarwieniu wg metody Grama będą obserwowane pod mikroskopem. Przyżyciowe preparaty mykologiczne przygotowywane będą z użyciem płynu Lugola i również obserwowane pod mikroskopem.

Przygotowane wsady o parametrach przedstawionych w tabeli 3 zostały umieszczone w komorach fermentacyjnych w których za pomocą sond były monitorowane parametry fermentacji takie jak: temperatura, redoks i pH. Parametry te były automatycznie zapisywane z interwałem czasowym na twardym dysku komputera systemu pomiarowego. W fermentorach wsad był mieszany mieszadłem mechanicznym w celu uniknięcia rozwarstwienia substratu. Mieszadło posiadało możliwość płynnej regulacji w zakresie od 0 do 400 obr./min., było wyposażone w trzy śmigła o regulowanym rozstawie co umożliwia zmianę intensywności stref mieszania w fermentorze.

Tabela 3. Parametry wsadów do komór fermentacyjnych

Nr	Nazwa materiału	pH A	pH B	% s.m.
Wsad 1	Wywar pogorzelniany zbożowy	4,16	5,23	7,25
Wsad 2	Wywar pogorzelniany zbożowy	3,99	5,15	7,94
Wsad 3	Kiszonka z wysłodków buraczanych	4,45	5,23	26,28
Wsad 4	Makuchy rzepakowe z produkcji biopaliwa	5,31	5,36	67,25
Wsad 5	Wytłoki jabłek	4,26	4,59	21,56
Wsad 6	Młóto browarniane świeże (mokre)	5,64	5,01	29,64
Wsad 7	Kiszonka z kukurydzy zebrana siewkarnią polową bez zgniatacza ziarna	5,23	4,86	46,42
Wsad 8	Kiszonka z kukurydzy zebrana siewkarnią ze zgniataczem ziarna	4,46	4,71	44,65
Wsad 9	Celuloza z przemysłu papierniczego	7,35	7,43	65,37

Rezultaty badań i ich interpretacja

Masa organiczna (rolnicza) została pozyskana z gospodarstwa indywidualnego nastawionego na produkcję mleka. Biomasa pochodząca z PRS (wsady od 1-6) pochodziła z firmy Bio Alians Sp. z o.o.. Analiza próbek surowców wsadowych pod kątem bioróżnorodności mikrobiologicznej została wykonana na dwóch etapach fermentacji: początkowym (A) i końcowym (B).

Większość bakterii i promieniowców rozwija się w wąskim zakresie pH, który wynosi od 6,5 do 7,5. Grzyby pleśniowe i drożdże preferują niższy odczyn rzędu 4,0 – 6,0. W większości analizowanych próbek pH było kwaśne, jedynie w przypadku celulozy pochodzącej z przemysłu papierniczego stwierdzono odczyn lekko zasadowy.

W tabeli 4 podano wyniki liczebności badanych grup drobnoustrojów pochodzących z analizowanych surowców.

Tabela 4. Liczebność wybranych grup mikroorganizmów izolowanych z surowców stosowanych w biogazowniach

Mikroorganizm	Liczba jtk/cm ³	Wsad 1	Wsad 2	Wsad 3	Wsad 4	Wsad 5	Wsad 6	Wsad 7	Wsad 8	Wsad 9
Bakterie	A	560	33000	21000	10000	206000	81000	11777777	24757777	1546759
	B	16880	35183	13185	750	431500	111640	128208	15008	1562500
Grzyby	A	340	497	294666	400	500	60	306000	164000	2150
	B	420	1710	0	0	94333	0	1820	1633	6600
Promieniowce	A	0	0	0	0	0	0	0	6600	400
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C. perfringens	A	173	185	181	0	177	0	986	0	345
	B	200	195	200	0	225	0	1315	0	555

A – wsad; B – poferment ; 1 – 9 kolejne próbki

W badanych próbkach nie wykryto obecności: *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Azotobacter* spp., *Staphylococcus* spp., *E. faecalis* oraz bakterii grupy coli i *E. coli*. Biorąc pod uwagę fakt, iż temperatura panująca w komorze fermentacyjnej jest dość wysoka (36 0C) większość mikroorganizmów pod wpływem jej działania ginie. Drobnoustroje, które mimo tego pozostają aktywne znacznie spowalniają swój metabolizm, co może pośrednio przekładać się na wydajność procesu fermentacji. Worwąg i in. (2010) stwierdzili, iż w trakcie fermentacji liczebność mikroorganizmów we wszystkich badanych mieszaninach surowców gwałtownie spada. Inhibujący wpływ wysokiej temperatury na wzrost większości drobnoustrojów skłania do podejmowania badań nad wyselekcjonowaniem populacji termofilnych mogących służyć jako konsorcja starterowe w produkcji biogazu.

Biorąc pod uwagę fakt, iż pH w większości przypadków nie było optymalne dla wzrostu bakterii, ich ilość należy uznać za znaczną. Dodatkowo, w kilku próbkach (3, 4, 7, 8), mimo wzrostu pH stwierdzono spadek ogólnej liczby bakterii. Odczyn badanych surowców sprzyjał rozwojowi grzybów pleśniowych, jednakże wzrost liczebności stwierdzono jedynie w trzech próbkach (1, 2, 9). Obecność promieniowców wykryto tylko w dwóch przypadkach (8, 9) i to w początkowej fazie procesu fermentacji. *C. perfringens* nie stwierdzono w trzech próbkach (4, 6, 8). W pozostałych przypadkach ogólna liczebność *C. perfringens* uległa zwiększeniu. Ze względu na zjawisko stopniowego zużywania tlenu w komorze fermentacyjnej, prowadzącego do powstania warunków beztlenowych, rosnąca liczebność *C. perfringens* jest w pełni uzasadniona. Badania przeprowadzone przez Worwąg i in. (2010) pokazują, iż pH rośnie podczas trwania procesu fermentacji, zmiany te są jednak niewielkie i podlegają wahaniom w zależności od dnia pomiaru. Odczyn badanych przez Worwąg i in. (2010) surowców zawierał się w nieco wyższym od wykazanego w badaniach własnym przedziale, tj. 6,6 – 7,8.

Przeprowadzone badania procesu fermentacji w warunkach laboratoryjnych pozwoliły na porównanie intensywności wydzielania biogazu, prześledzenie faz fermentacji oraz ocenę podatności badanych mas wsadowych na procesy biochemicznego rozkładu masy organicznej. Ilość i intensywność wydzielania biogazu są parametrami, które świadczą o przebiegu procesu. Wyniki analizy uzysku biogazu w stosunku do suchej masy wskazały, że największą wydajność osiągnął wsad 9 (celuloza z przemysłu papierniczego), przy niskiej

wydajności biomasy pochodzącej z PRS (wsady od 1-6). W przebiegu fermentacji wsadów z biomasy z PRS, widoczne opóźnienie przyrostu objętości biogazu, które jest spowodowane pasteryzacją masy, w której niema środowiska mikrobiologicznego i bardzo słabo namnażają się mikroorganizmy fermentacji metanowej. Największa inhibicja przyrostu i opóźnienie powstawania biogazu podczas fermentacji była dla wsadu wykonanego na bazie wywaru pogorzelnianego zbożowego i młóta browarnianego świeżego. Normalny przebieg wydajności produkcji biogazu uzyskano dla wsadu 9 i wsadu 8.

Rodzaj i skład surowca użytego do produkcji biogazu może w istotny sposób oddziaływać na bioróżnorodność mikroorganizmów i zdolnych do jego zasiedlenia. Podczas procesu fermentacji mamy do czynienia z naturalną sukcesją poszczególnych grup drobnoustrojów, a także z ich selekcją w zależności od panujących parametrów procesu fermentacji.

W badanych próbkach substratów nie wykryto mikroorganizmów chorobotwórczych dla człowieka, poza bakteriami redukującymi siarczynę – *Clostridium perfringens*.

Wydajność biogazu uzyskana z wsadów w których jest znacząca ilość bakterii tj. pow. 1 mln. jtk/cm³ charakteryzuje się normalnym przebiegiem krzywej fermentacji metanowej.

Ilość grzybów, promieniowców oraz laseczka zgorzeli gazowej nie miała wpływu na przebieg intensywności wydzielania się biogazu podczas fermentacji.

Z mas wsadowych w których odnotowano zwiększoną ilość bakterii uzyskano biogaz o zawartości 50-60% CH₄ i H₂S na poziomie 30 ppm.

P-3. Sikora J., Rudkowski K. 2013. *Determining the amount of biogas derived from cosbstrate on base executed corn silage and wastes of agricultural industries.* 5Th Interniational Conference TAE 2013, Faculty of Engineering: 581-585

Uzasadnienie badań i cel pracy

W obecnym czasie, rozwój rynku doprowadził do powstania wielu różnych rozwiązań technicznych, dostosowanych do różnorodnych potrzeb użytkowników, jednak stosowane technologie obejmują często wycinek problemu. Dotyczy to zarówno rozwiązań na rynku polskim jak i światowym. Zagadnienia wykorzystania alternatywnych (w stosunku do powszechnie stosowanych) biogazowni były obiektem badań również w światowych ośrodkach naukowych. Jako badany substrat były to: odpady z produkcji drożdży [Merwe i Britz, 1993], odpady z oczyszczalni ścieków [Sharma i inni, 1999.], odpady z przemysłu farmaceutycznego [Sikora, 2012], odpady z przetwórstwa ryb [Yapa i inni, 1992.]. Przyniesione prace badawcze opisywały jednak wyniki badań w warunkach laboratoryjnych.

Niemcy i Wielka Brytania w chwili obecnej w procesie wytwarzania biogazu znajdują się w czołówce, łącznie wytwarzają prawie 70% całkowitej produkcja biogazu w Unii Europejskiej. Następnie w produkcji biogazu przodują takie kraje jak; Włochy, Hiszpania Francja, Holandia, Austria, Dania, Belgia. W Polsce oraz innych unijnych krajach, energia ta stanowi niewielki procent. W nadchodzących latach, we wszystkich krajach UE z powodu rozwijającego się rynku roślin energetycznych, m.in. kukurydza, nasiona słonecznika oraz pszenica, wzrost biogazu rolniczego może stać się bardziej dynamiczny. Niewielkim udziałem całkowitej produkcji biogazu w Polsce spowodowany jest tym, że działających biogazowni jest tylko kilka [Koutinas i inni, 1991]. W Niemczech na obecną chwilę funkcjonuje około 4000 biogazowni, które dostarczają moc o wartości 1,1 GWel. Niemcy produkują przeszło 23% powstałego obornika na biogaz. W Szwecji pracuje 22 duże biogazownie, które wytwarzają po 500 m³ metanu na godzinę, co pozwala na dostarczenie energii do około 2000 gospodarstw domowych [Londo i inni, 2009].

Celem opracowania było określenie ilości pozyskiwanego biogazu z materiału organicznego skomponowanego na bazie kiszonki z kukurydzy i wycieków jabłkowych. W celu porównania i zobrazowania ilości wydzielanego biogazu wykonano miksy wsadowe o parametrach przedstawionych w tabeli 5.

Materiał i metody

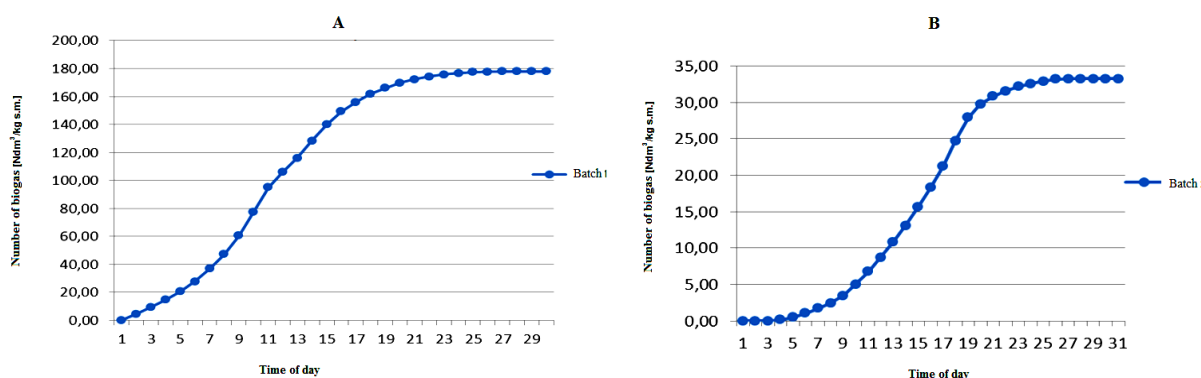
W sektorze przetwórstwa owoców i warzyw, rocznie produkuje się około 377 tys. ton odpadów, które są dobrym substratem dla biogazowni. Polskie rolnictwo produkuje rocznie 80750 tys. ton obornika i około 35 mln m³ gnojowicy z czego około 30% może być wykorzystana do produkcji biogazu. W Polsce produkcja biogazu na cele energetyczne wynosi 12,5%. Wykorzystywane rośliny to między innymi: kukurydza, trawy, koniczyna, buraki pastewne i cukrowe, owies, pszenica, jęczmień i słonecznik. Rośliny te można stosować w całości, w postaci owoców, liści, nasion lub jako rośliny przetworzone w postaci kiszonki lub słomy.

Materiał do badań pozyskano w 2012 roku z gospodarstwa indywidualnego zlokalizowanego w Dzięgielowie na terenie gminy Goleszów. Wycieki jabłkowe pozyskano z rodzinnej wytwórni soków z Łącka. Do badań przyjęto następujące frakcje: kiszonka z kukurydzy, wycieki jabłkowe oraz jako rozcieńczalnik gnojówkę bydlęcą.

Frakcje przyjęte do badań rozdrobiono i pobrano pięć próbek z każdej. Próbki zważono w celu określenia ich masy przed suszeniem. Rozdrobniony materiał został uwodniony do około 90% wilgotności w celu stworzenia optymalnych warunków do rozwoju bakterii mezofilnych. Do badań wykonano sześć podłoży fermentacyjnych o parametrach przedstawionych w tabeli 5. Fermentację prowadzono w komorze fermentacyjnej o objętości 20 dm³ w regulowanej temperaturze otoczenia. Kontrolowane były w tym fermentorze: pH, potencjał redoks i temperatura wsadu. Wytworzony biogaz zbierano w zbiorniku o zmiennej objętości.

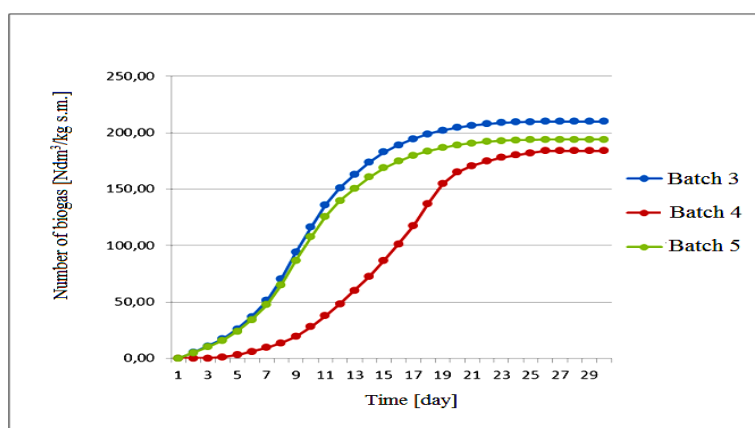
Tabela 5. Charakterystyka parametrów wsadów

Nazwa	Fracje	
	Kiszonka kukurydzy [%]	Wycieki jabłkowe [%]
Wsad 1	100	0
Wsad 2	0	100
Wsad 3	50	50
Wsad 4	25	75
Wsad 5	75	25



Rys.1. Sumaryczny uzysk gazu: A – z kiszonki kukurydzy B – wycłoków jabłkowych

Na rysunku 1B widzimy, że w pierwszych trzech dniach fermentacji występował okres hydratacji, dopiero w kolejnych dniach nastąpił rozkład masy organicznej i zaczął wydzielać się biogaz. Wzrost uzysku biogazu przebiegał łagodnie i stopniowo co świadczy o niewystępowaniu zakłóceń podczas przebiegu fermentacji. Pierwszy etap fermentacji kiszonki z kukurydzy (rys. 1A) przebiegał pomyślnie, w dniu 12 fermentacja zostaje delikatnie zakłócona z powodu różnej grubości frakcji, która wpływa niekorzystnie na proces. Po czym znów przebiegał prawidłowo.



Rysunek. 2. Sumaryczny uzysk gazu z kiszonki kukurydzy oraz wycłoków jabłkowych

Sumaryczny uzysk gazu z kiszonki kukurydzy oraz wycłoków jabłkowych w stosunku 50% do 50% przedstawia prawidłowo zachodzący proces fermentacji. Wzrost uzysku gazu następuje intensywnie i dochodzi do najwyższej wartości spośród trzech wsadów.

Na wykresie przedstawiającym kiszonkę kukurydzy oraz wycłoki jabłkowe w stosunku 25% do 75%, w pierwszym etapie fermentacji widać 4 dniową hydratację po której następuje właściwa fermentacja. W następnych dobach, proces przebiega płynnie bez żadnych zakłóceń. Uzysk biogazu jest mniejszy, proces zachodził wolniej niż w dwóch wcześniejszych wsadach i uzysk biogazu był niższy. W wsadzie w którym kiszonka kukurydzy oraz wycłoki jabłkowe były w stosunku 75% do 25%, przez kilka dni uzysk biogazu był stopniowy. Dopiero po 5 dniach procesu można zauważyć większy i gwałtowniejszy uzysk wydzielanego biogazu.

Rezultaty badań i ich interpretacja

Wyniki analizy wykazują, że największe wydzielanie metanu wystąpiło w wsadzie, który został wykonany z kiszonki kukurydzy i wycieków jabłkowych w stosunku 50% do 50%. Otrzymany biogaz zawierał aż 65% metanu. Niższą ale również zadowalającą wydajnością charakteryzuje się biogaz uzyskany z próbki w której stosunek substratów kiszonki kukurydzy i wycieków jabłkowych wynosił 75% do 25%. Wydajność metanu wyniosła 54%. Najwyższy poziom dwutlenku węgla zaobserwowano w próbie w której stosunek substratów kiszonki kukurydzy i wycieków jabłkowych wynosił 25% do 75%. Uzysk dwutlenku węgla wynosił 57%. Widoczne zakłócenie ilości tlenu i dwutlenku węgla było spowodowane otwarciem komory i dodaniem bakterii do fermentacji.

Największa dobowo aktywność uzysku biogazu występowała w próbie w której stosunek substratów kiszonki kukurydzy i wycieków jabłkowych wynosił 50% do 50%. Wydajność próby sięgała wartości 4700 Nml. Wydajność próby drugiej, w której stosunek kiszonki kukurydzy i wycieków jabłkowych wynosił 75% do 25%, była niewiele niższa. Otrzymano w niej wydajność rzędu 4350 Nml.

Różnorodność substratów wpływa bardzo korzystnie na proces, ponieważ odpady przemysłu spożywczego są tanim surowcem dla biogazowni. Produkcja biogazu z tego typu odpadów przyczynia się do zagospodarowania odpadów rolno-spożywczych, których utylizacja w wielu przypadkach jest bardzo kosztowna. Odpady przemysłu spożywczego są dostępne przez cały rok.

P-4. Dzedzic K., Łapczyńska-Kordon B., Malinowski M., Niemiec M., Sikora J., 2015.: *Impact Of Aerobic Biostabilisation And Biodrying Process Of Municipal Solid Waste On Minimisation Of Waste Deposited In Landfills*. Chemical and Process Engineering , vol. 36, nr 4, 2015, ss. 381-394, DOI:10.1515/cpe-2015-0027

Uzasadnienie badań i cel pracy

W artykule został przedstawiony innowacyjny system, który jest wykorzystywany do prowadzenia procesu stabilizacji tlenowej i biologicznego suszenia stałych odpadów komunalnych. Przeprowadzono proces mechaniczno-biologiczny (MBT) oczyszczania odpadów komunalnych (MSW), który był monitorowany i wykonany w 5 bioreaktorach. Wstępna obróbka mechaniczna dostarczyła trzy frakcje. Pierwsza frakcja składała się z oddzielnych odpadów (papieru, plastiku, metalu i szkła) przeznaczonych do recyklingu materiałów. Druga próbka była frakcją nadwymiarową ($\varnothing > 80$ mm). Tę frakcję wykorzystano do produkcji paliwa pochodzącego z odpadu (RDF), ze względu na niską zawartość wilgoci ($175-235 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) i wysoką wartość kaloryczną ($19-21.5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). Frakcję podsitową ($\leq <80$ mm) poddano biologicznemu oczyszczaniu w bioreaktorach z zastosowaniem procesu tlenowego. W badaniu wykorzystano dwustopniowy proces biologicznego oczyszczania. W pierwszym etapie frakcję podwymiarową poddano biologicznej stabilizacji przez okres 14 dni, w wyniku czego nastąpił spadek strat przy prażeniu ($77,1 + 1,3$ do $41 + 2,2\%$ dm), ale niewystarczająco do spełnienia wymagania (kryteria) technologii MBT. W drugim etapie obróbki biologicznej zastosowano 7-dniowe intensywne suszenie biologiczne MSW przy użyciu utrzymującej się wysokiej temperatury ($\approx 50^\circ \text{C}$) w bioreaktorze. W artykule przedstawiono wyniki analizy składu chemicznego frakcji podsitowej i odpadów po biologicznym suszeniu, a także wyniki: zmian temperatury, współczynnika pH, strat przy zapłonie, zawartości wilgoci, palnych i lotnych, ciepła spalania i wartości opałowej odpady i inne parametry mierzone na różnych etapach przeprowadzania procesów biologicznego

oczyszczania. Bilans masy mechaniczno-biologicznej obróbki MSW przy użyciu innowacyjnego systemu napowietrzania wykazał, że w wyniku procesu tylko 14,3% odpadów wymaga składowania, 61,3% może być wykorzystane do obróbki termicznej, a 19,1% jest tracone w procesie jako CO₂ i H₂O. Tak przygotowaną masę ze strumienia odpadów komunalnych podano procesowi fermentacji metanowej oraz wykazano przydatność tych odpadów do wytwarzania biogazu.

Materiał i metody

Proces biologicznego przetwarzania odpadów był realizowany w bioreaktorach o pojemności całkowitej 36 m³ i objętości roboczej 31.5 m³ (2.1m wide, 6.5 m length and 2.3 m high). Pozostałą objętość bioreaktora stanowi przestrzeń pod dnem fluidyzacyjnym przeznaczona do wtłaczania do bioreaktora powietrza oraz do gromadzenia odcieków. Bioreaktory zostały zbudowane na bazie kontenerów hakowych, co umożliwia ich bezpośredni załadunek na specjalny samochód i wykonywanie pomiarów np. ubytku masy w kolejnych dniach cyklu. Bioreaktory zostały wyposażone w okna inspekcyjne do pobierania materiału do badań laboratoryjnych. Wilgotne powietrze po procesowe było transportowane do filtra biologicznego (jedne filtr o objętości 36m³ na 7 bioreaktorów) za pomocą wentylatora o mocy 4 kW.

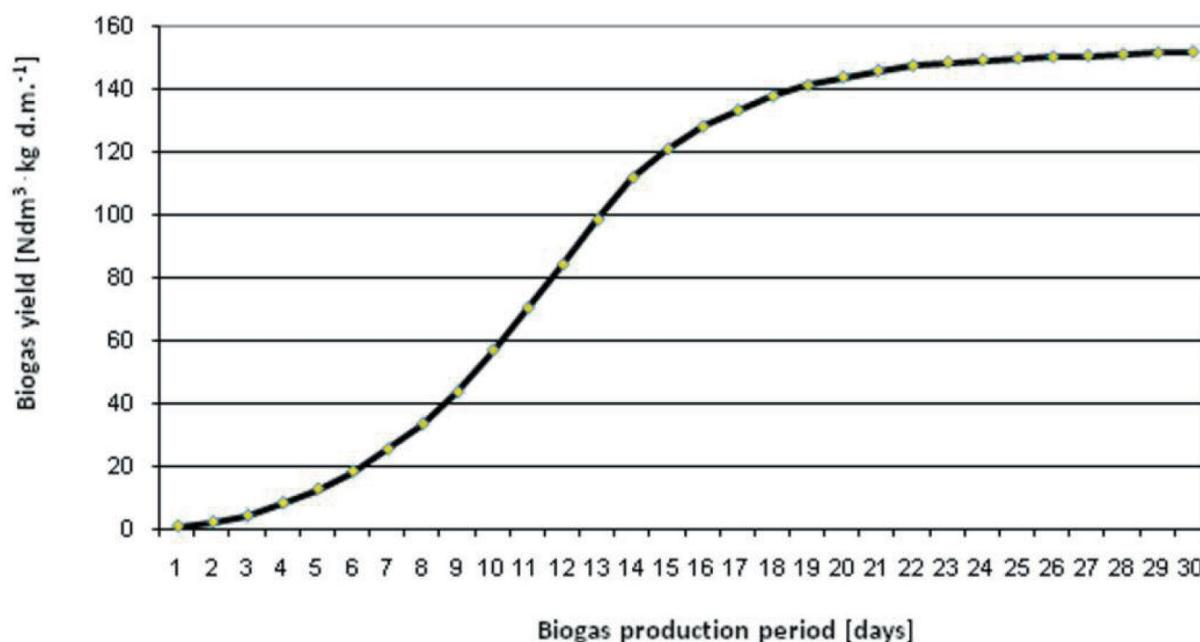
W typowych bioreaktorach do kompostowania odpadów, stabilizacji lub biosuszenia wykorzystywane są dna fluidyzacyjne wykonane z płaskownika z nawierconymi otworami o różnej średnicy. Badania przedstawione w artykule były prowadzone w bioreaktorze, w którym dno fluidyzacyjne zostało wykonane z odpowiednio rozmieszczonych strumienic. Dno fluidyzacyjne składa się z 6 strumienic (0.05m wide, 6.5m length and 0.04m high) ułożonych w całej długości dna połączonych płaskownikiem. Każda ze strumienic posiada półokrągłe otwory ($r=0.025m$) umieszczone po obu bokach. Całkowita powierzchnia otworów we wszystkich 6 strumienicach wynosi około 7% całkowitej powierzchni dna. Odpowiednie rozmieszczenie strumienic w bioreaktorze powoduje lepsze rozprowadzenie powietrza w stabilizowanym i suszonym złożu, a także ograniczenie możliwości zalepiania się otworów materiałem.

W procesie biostabilizacji napowietrzanie materiału było realizowane w sposób periodyczny i regulowany w zależności od temperatury przetwarzanych odpadów (moc silnika wentylatora 5.5 kW, maksymalna ilość powietrza dopływającego do reaktora mogła wynosić 4500 m³·h⁻¹), zaś w procesie biologicznego suszenia powietrze było dostarczane w sposób ciągły z maksymalną intensywnością. Powietrze po procesowe kierowane było do biofiltra. Badania prowadzono jednocześnie w 5 termicznie izolowanych bioreaktorach. Średnia dobową zewnętrzną temperaturę powietrza zawierała się w zakresie 2 – 13 °C. Temperatura procesu była monitorowana w sposób automatyczny z wykorzystaniem trzech dwumetrowych sond PT 100 w 3 różnych punktach w bioreaktorze (umieszczanych od góry), tj. w części centralnej, 2 metry od wlotu powietrza oraz 2 metry od ściany bioreaktora z wylotem powietrza. Ponadto mierzono temperaturę otoczenia oraz temperaturę powietrza wylotowego. Program sterujący procesem zapisywał także dane o przepływie powietrza. Masę przetwarzanych odpadów w bioreaktorach mierzono w czasie prowadzenia procesu na legalizowanej wadze samochodowej.

Rezultaty badań i ich interpretacja

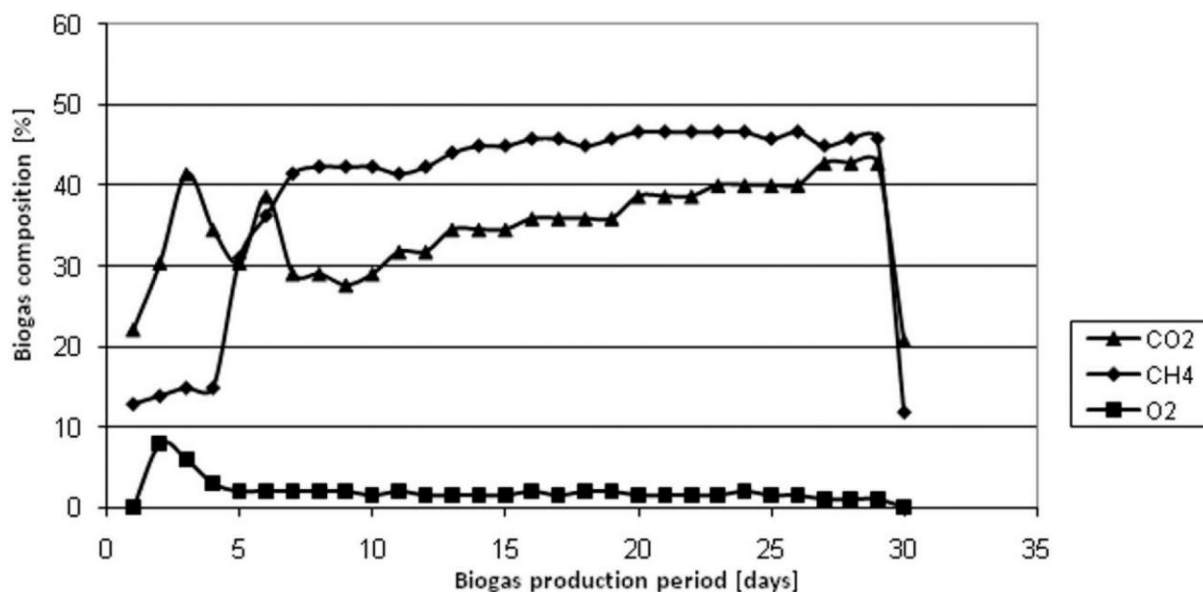
Pozostała masa po procesie biostabilizacji została podana fermentacji beztlenowej w celu określenia przydatności do produkcji biogazu. W pierwszych dwóch dobach biogaz wydzielał się w niewielkich ilościach, była to faza hydratacji (rysunek 3). Po nawodnieniu nastąpił

intensywny wzrost wydzielania się biogazu, o czym świadczy krzywa sumarycznego uzysku biogazu.



Rysunek. 3. Sumaryczny uzysk biogazu z badanej frakcji

Analizując krzywą sumarycznego wydzielania biogazu nie obserwuje się zahamowanie procesu. Do szóstego dnia obserwuje się opóźnienie procesu daje to również pewne wahania w składzie biogazu. nie było obserwowane. Po czasie retencji (30 dni) całkowita wydajność biogazu wyniosła $140 \text{ Ndm}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ W dwudziestym dniu fermentacji odnotowano najwyższą zawartość metanu (rysunek 4), osiągnięto poziom 46% CH_4 (38% CO_2 i 0,4% O_2). Zawartość metanu zaczęła spadać po dwudziestym ósmym dniu. Zawartość siarkowodoru podczas badania mieściła się w przedziale od 149 do 320 ppm. Przeprowadzone badania miały dać odpowiedź czy z badanej frakcji można uzyskać biogaz i czy badana frakcja nie będzie inhibitorem procesu oraz czy fermentację metanową można wykorzystać do dalszej mineralizacji tak przygotowanej frakcji odpadów komunalnych. Z przedstawionych w tej publikacji wyników można jednoznacznie stwierdzić, że ta frakcja nadaje się do fermentacji metanowej i daje uzyskać biogazu porównywalne do powszechnie stosowanych w biogazowniach nawozów naturalnych.



Rysunek 4. Skład biogazu

P-5. Sikora J., Niemiec M., Szelań-Sikora A. 2016. Use of sugar beet leaves for biogas production. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Vol. 61(4). s. 151-155

Uzasadnienie badań i cel pracy

W dzisiejszych czasach nikt nie może wyobrazić sobie życia bez energii. Obecny problem polega na tym, że zasoby, z których korzystamy, nie są odnawialne. Są zużywane szybciej niż są uzupełniane. Oprócz czystego powietrza i racjonalnego wykorzystania ziemi i innych zasobów, pozyskiwanie energii jest konieczne dla przetrwania życia na Ziemi. Dzisiejsza cywilizacja charakteryzuje się wysokim i rosnącym zużyciem energii. Efektem obecnej sytuacji jest to, że nie tylko ocena istniejących zasobów energii, ale także poszukiwanie sposobów oszczędzania energii są coraz częściej przedmiotem dyskusji, założeń i programów energetycznych [Sikora i inni, 2014.].

Rozmawia się również o poprawie efektywności energetycznej, efektywności źródeł energii i infrastruktury energetycznej, ale przede wszystkim o poprawie sposobów wytwarzania i poszukiwania nośników energii, które nie mają negatywnego wpływu na stan środowiska naturalnego.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że odnawialne źródła energii są ważne z dwóch głównych powodów, jeżeli chodzi o środowisko naturalne oraz odgrywają ważną rolę w gospodarowaniu energią. Udział zasobów energii odnawialnej w bilansie paliwowo-energetycznym na świecie wynosi około 18%. Liczba ta wynika z rozwoju nowych technologii wykorzystujących odnawialne źródła energii, a także z faktu, że na świecie są ludzie, którzy nie mają dostępu do konwencjonalnych źródeł energii [Klugmann-Radziemska, 2009].

Paliwa odnawialne obejmują produkty organiczne, które powstają podczas fotosyntezy z wody i dwutlenkiem węgla pochłanianymi z atmosfery, a ich spalanie nie zwiększa stężenia cząstek dwutlenku węgla w atmosferze. Wykorzystanie biopaliw nie tylko przyczynia się do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla, ale także zmniejsza emisję innych gazów i pyłów szkodliwych dla ludzi. Odchody zwierzęce, odpady komunalne i emisja związków szkodliwych w nich obecnych również mają znaczący wpływ na stan środowiska naturalnego. Do zagospodarowania odpadów biodegradowalnych zaczęto stosować proces fermentacji

metanowej do produkcji biogazu (bioenergii) [Głuszczka i inni, 2010]. Produkty uboczne pochodzenia rolniczego są najczęściej stosowane w biogazowniach rolniczych i obejmują między innymi: gnojowicę, obornik i odchody drobiu (ściółka), a także rośliny, takie jak kukurydza, żyto, rośliny motylkowe. Aby zapewnić ciągłość produkcji biogazu, rośliny przechowuje się w postaci kiszonki [Rutkowski, 2011]. Liczni autorzy [Fiederowicz i Romaniuk, 2006; Chamrádová i Rusín, 2015] twierdzą, że biogaz jest gazem otrzymany podczas beztlenowej fermentacji nawozów naturalnych i odpadów organicznych bogatych w tłuszcze, białka i węglowodany, przy udziale bakterii metanowych. Pozytywną cechą biogazu jest jego powstawanie w warunkach naturalnych, głównie na bagnach i obszarach podmokłych (gaz bagienny), natomiast na składowiskach odpadów powstaje gazy wysypiskowe. Ograniczone rezerwy paliw kopalnych, a także ryzyko, jakie stanowią dla środowiska podczas spalania, potwierdzają potrzebę produkcji paliw z biomasy roślinnej. Nadprodukcja produktów rolnych, która czasami ma miejsce, a także chęć zwiększenia produkcji, nie powinna przyczynić się do obniżenia ceny lub spowodować problemu ze sprzedażą. Przedsiębiorcy rolni powinni dążyć do zwiększenia produkcji roślinnej w celach energetycznych. Odpowiednio przetworzone produkty rolne powinny stopniowo zastępować konwencjonalne nośniki energii.

Biogazownie rolnicze są szansą dla rolnictwa i wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich. Produkcja i zużycie energii z biogazu rolniczego jest jednym z aspektów systemu elektroenergetycznego opartego na zasobach odnawialnych. Według Wiesego i Kujawskiego [Krawiec, 2010] wykorzystanie odnawialnych źródeł energii zaczyna być ważnym elementem bezpieczeństwa energetycznego. Efektem tego są rosnące ceny energii i pierwsze oznaki zmian klimatu spowodowane działalnością człowieka. Jeżeli istnieją warunki do rozwoju tej dziedziny, potrzebne są działania wspierające i promujące odnawialne źródła energii.

Celem pracy było przeprowadzenie badań dotyczących określenia ilości wydzielania biogazu z frakcji wykonanych na bazie liści buraka cukrowego.

Z przeprowadzonych badań wynika, że najlepiej fermentują liście zakiszone rozdrobnione. Uzyskany w ten sposób biogaz może być wykorzystany jako alternatywne źródło energii, a dzięki temu można minimalizować powstające odpady z produkcji rolniczej.

Materiał i metody

Analizie poddano cztery rodzaje kombinacji masy wsadowej. Badania przeprowadzone zostały przez okres 30 dni. Pomiary odczytywano dwa razy na dobę o tej samej porze od momentu umieszczenia wsadu w fermentatorach do momentu zakończenia fermentacji. Podczas przeprowadzonych badań próbki były mieszane, co wpływało na intensywność fermentacji w całej objętości.

Przygotowanie frakcji:

Zebrane bezpośrednio po zbiorze buraka cukrowego rozety liściowe wraz z główką zostały podane odpowiedniej obróbce. Z części rozet przygotowano kiszonkę bez dodatku substancji wspomagającej zakiszenie w dwóch wariantach z liści rozdrobnionych i nierozdrobnionych. Przygotowano również dwa warianty masy z dodatkiem substancji wspomagającej konserwację kiszonki z liści buraka – wykonano kiszonkę z liści rozdrobnionych z dodatkiem zakiszacza oraz nierozdrobnionych z dodatkiem zakiszacza. Taki dobór kompozycji mas wsadowych miał na celu zobrazowanie jak wpływa sposób przechowywania oraz rozdrobnienia masy z liści buraka cukrowego na przebieg procesu fermentacji metanowej.

Dla zwiększenia efektywności uzysku biogazu dodano zakiszacza typu Silaprilis Pro. Zakiszacz ten posiada dużą zawartość koncentracji dwóch homofermentacyjnych szczepów bakterii kwasu mlekowego co powoduje, że proces zakiszania jest bardzo szybki i efektywny.

Rozety liści buraczanych zostały poddane homogenizowaniu na rozdrabniaczu bijakowym firmy Stalgast. Podczas wykonywanych badań został określony skład chemiczny uzyskanego biogazu na podstawie miernika wielo gazowego Nanosens 60 oraz została dokonana analiza porównawcza poszczególnych próbek.

Praca została wykonana w oparciu o źródła literaturowe i wyniki doświadczeń laboratoryjnych. Przedmiotem badań jest materiał w postaci rozet liści buraczanych. Materiał użyty do fermentacji został zebrany na terenie Gminy Słomnik w miejscowości Miłocice po sezonowym zbiorze buraków 2013. Gospodarz po zakończonej technologii produkcyjnej dostarcza buraki do cukrowni, natomiast liście stanowiące odpad z produkcji rolniczej przeznaczone są na kiszonkę dla zwierząt lub jako nawóz (są przyorywane). Badania zostały rozpoczęte 7 kwietnia 2014 roku. Cały proces trwał 49 dni. Fermentatory o pojemności 2 dm³ były zanurzone w łaźni wodnej. Pomiary odczytywano dwa razy na dobę o tej samej porze od momentu umieszczenia wsadu w fermentatorach do momentu zakończenia fermentacji. Podczas przeprowadzonych badań próbki były mieszane, co wpływało na intensywną fermentację w całej objętości. Temperatura w komorze była stale monitorowana i wynosiła 40 °C czyli, optymalna temperatura dla bakterii mezofilnych. Po 49 dniach obserwacji czterech próbek, została dokonana analiza porównawcza, która próbka dała największy uzysk biogazu. Uzyskane wyniki pozwoliły ocenić, która frakcja będzie najbardziej opłacalna do produkcji biogazu na szeroką skalę. Komponowanie wsadów dokonano zgodnie z parametrami umieszczonymi w tabeli 6.

Tabela 6. Parametry wykonanych wsadów do fermentorów

Sucha masa wsadu (g)	Masa kiszonki liści buraka (g)	Wilgotność próbki (%)
Kiszonka z liści buraków, rozdrobniona, ze środkiem zakiszającym - wsad 1		
200	956	79.07
Kiszonka z liści buraków, nierozdrobniona, ze środkiem zakiszającym - wsad 2		
200	871	77.03
Kiszonka z liści buraków, rozdrobniona, bez środka zakiszającego - wsad 3		
200	1,103	81.87
Kiszonka z liści buraków, nierozdrobniona, bez środka zakiszającego - wsad 4		
200	1,397	85.68

Rezultaty badań i ich interpretacja

W fermentorze z wsadem wykonanym na bazie rozdrobnionej kiszonki z liści buraka ze środkiem zakiszającym uzyskany biogaz zawierał najwięcej metanu najwcześniej w dniu 12, osiągając 50%. Ta zawartość utrzymywała się na tym poziomie tylko przez kilka dni, po czym zmniejszyła się nieznacznie i ponownie wzrosła. Procentowy poziom metanu uzyskanego podczas badania jest zbliżony do innych mas wsadowych pochodzenia rolniczego.

Analizując przebieg fermentacji widać, że fermentator z kiszonką z rozdrobnionych rozet buraka bez dodatku środka zakiszającego uzyskał znacznie wyższą ilość biogazu w porównaniu z innymi badanymi próbkami. Okazuje się, że wydajność biogazu uzyskano drugiego dnia w tej próbce, co oznacza, że fermentacja przebiegła prawidłowo. Wskazuje na to, że ta frakcja jest najlepszym wsadem, ponieważ nie miało miejsca w tym fermentorze opóźnienie ani inhibicja procesu. Próbka osiągnęła najwyższą ilość biogazu w piątym dniu pomiarów, osiągając 3008 (Nml). Otrzymane wyniki oraz literatura wskazują,

że rozdrabnianie substratu ma wielki wpływ na wydajność biogazu, ponieważ drobniejsze cząstki mają większą powierzchnię, na której działają enzymy. Analiza ilości biogazu emitowanego z substratu wykonanego z kiszonki z nie-rozdrobnionych rozetek liści buraka cukrowego wykazała, że był on porównywalny z kiszonką wykonaną z rozdrobnionych liści buraka cukrowego bez środka zakiszającego. Najwyższy uzysk biogazu zaobserwowano ósmego dnia. Wyniki badań przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych wskazują, że emisja biogazu z tej frakcji również miała miejsce drugiego dnia. Najwyższa uzyskana wydajność wyniosła 2957 (Nml). Ilość emitowanego biogazu jest nieco niższa niż biogazu uzyskanego z podłoża wykonanego z rozdrobnionych rozetek bez środka zakiszającego, co oznacza, że rozdrabnianie wpływa na ilość uzyskanego biogazu.

Istotnym faktem jest, że biomasę liści buraka cukrowego można z powodzeniem zagospodarować jako substrat wsadowy dla produkcji biogazu. Biogazownie rolnicze dają możliwość zaspokojenia potrzeb energetycznych poprzez sprzedaż nadwyżek do sieci oraz utylizację własnych odpadów, które wpływają negatywnie na stan środowiska. Z dostępnych źródeł odnawialnych biogazownie należą do najbardziej efektywnych instalacji, gdyż są w stanie produkować energię przez cały czas niezależnie od czynników atmosferycznych jak w przypadku farm wiatrowych. Produkcja rolnicza z przeznaczeniem na cele energetyczne powinna być optymalizowana pod względem maksymalizacji energetycznej efektywności a nie cech jakościowych. Dobrymi dostawcami substratów dla biogazowni powinny być gospodarstwa, które posiadają dużą obsadę zwierząt oraz duży areal na uprawę roślin z przeznaczeniem na produkcję biogazu. Biogazownie powinny być zlokalizowane blisko źródła substratów.

P-6. Sikora J., Niemiec M., Szelaż-Sikora A. 2018. *Evaluation of the chemical composition of raw common duckweed (*Lemna minor* L.) and pulp after methane fermentation.* J. Elem., 23(2): 685 - 695. DOI: 10.5601/jelem.2017.22.2.1444

Uzasadnienie badań i cel pracy

Rozwój cywilizacji wiąże się ze wzrostem zużycia energii przez społeczeństwo. Wymaga to wprowadzenia nowych technologii jej pozyskiwania, a także wykorzystywania nowych paliw. Tym samym sektor energetyczny ma strategiczne znaczenie dla rozwoju współczesnych państw, dlatego powszechnie prowadzone są działania w zakresie poszukiwania nowych technologii oraz surowców do produkcji odnawialnych źródeł energii (OZE).

Pozyskiwanie biomasy roślin wodnych jest najbardziej uzasadnione na obszarach o silnej antropopresji ze względu na dużą podaż składników odżywczych. Najczęściej są to zanieczyszczone zbiorniki w rejonach intensywnego rolnictwa lub na terenach zurbanizowanych i uprzemysłowionych, rejonach zatok, portów oraz estuariów. Wylądowanie roślinności wodnej z takich obszarów przynosi potwierdzalnie pozytywny wpływ na trofnię zbiornika oraz właściwości chemiczne i fizykochemiczne wody [Pugliese i inni, 2015]. Jednak ze względu na specyfikę obszarów zbierania takich roślin istnieje realne ryzyko zagrożenia nadmierną akumulacją pierwiastków śladowych oraz zanieczyszczeń organicznych. Rośliny wodne cechują się wyjątkowymi zdolnościami akumulacji pierwiastków śladowych, na co zwraca uwagę wielu autorów [Niemiec i inni, 2015; Oyuela Leguizam i inni, 2017]. Rośliny pozyskiwane z takich rejonów mogą cechować się zawartością pierwiastków potencjalnie toksycznych na poziomie dyskwalifikującym je do wykorzystania na cele spożywcze, paszowe a nawet na cele nawozowe. Dlatego też przed wykorzystaniem roślin wodnych należy kontrolować ich jakość [Yadav i Chandra, 2011]. W

warunkach intensywnego wzrostu roślin wodnych może pojawić się problem niedoboru niektórych pierwiastków, szczególnie mikroelementów i wapnia [Yasee i inni, 2016].

Zagospodarowanie pofermentu z dużych biogazowni rolniczych, o mocy ponad 1 MWe stanowi aktualnie duży problem. Jedną z metod unieszkodliwienia pofermentu może być wykorzystanie go na cele energetyczne jako paliwo formowane. Dostępne rozwiązania w tym zakresie związane są z biologiczną obróbką tych odpadów (kompostowanie). Osuszanie pofermentu i przekazywanie do zakładów energetyki zawodowej jest niewystarczająco rozpoznane. Zagospodarowanie go w formie nawozu naturalnego obniża rentowność produkcji biogazu, jednak takie postępowanie stanowi element racjonalnego gospodarowania glebą. Wraz z tymi odpadami wprowadza się do gleby znaczne ilości pierwiastków biogennych, mikro i makroelementów. Rzęsa wodna jest bardzo cennym substratem do produkcji energii, ponieważ jej produkcja związana jest z pobieraniem biogenów z wody. Wykorzystanie rzęsy wodnej do fermentacji metanowej a pofermentu do celów nawożenia wydaje się być zasadne z punktu widzenia środowiskowego.

Celem pracy była ocena zawartości magnezu, potasu, fosforu i wapnia w podłożach przeznaczonych do fermentacji metanowej oraz masach pofermentacyjnych na bazie rzęsy wodnej.

Materiał i metody

Próbki do badań pobrano bezpośrednio przed fermentacją metanową oraz po upływie 30 dni fermentacji metanowej statycznej. Pobrane próbki podłoży oraz mas pofermentacyjnych wysuszone, a następnie homogenizowano i mineralizowano. Zawartość pierwiastków w roztworzonych próbkach frakcji wsadowych i pofermentów oznaczono metodą ICP-OES. Wyniki podano w przeliczeniu na suchą masę.

W ramach realizacji założonego celu analizie poddano biomasę rzęsy wodnej pochodzącej ze stawów hodowlanych karpia zlokalizowanych w gminie Strumień. Biomasa rzęsy wodnej była pozyskana z krat filtracyjnych pompowni zasilającej w świeżą wodę pierwszy zbiornik w hodowli kaskadowej krocza karpia królewskiego również część biomasy pozyskano z odławiania rzęsy z powierzchni hodowlanej stawów. Rzęsę ze zbiornika wyławia się metodą sieciową w celu zmniejszenia ilości przyswajalnych biogenów znajdujących się w ekosystemie. Rzęsę pozyskano w lipcu 2014 w ilości 20 kg świeżej masy. Z pozyskanej partii pobrano 2 kg biomasy roślin, które poddano analizie chemicznej. Drugą część poddano fermentacji statycznej metanowej w laboratorium biogazu. W masie z rzęsy wodnej została określona wilgotność, która jest istotnym parametrem przygotowania podłoża do fermentacji metanowej. Wilgotność pobranej masy wyznaczono za pomocą wagi suszarki. Próbki były suszone do momentu ustalenia się równowagowej zawartości wody. W celu obliczenia ilości suchej masy (s.m.) poddanej fermentacji (msf), optymalne warunki fermentacji to 10% s.m. objętości roboczej fermentora. Odpowiednie przygotowanie wsadu biomasy do fermentora, umożliwia określenie ilości wydzielanego biogazu danej masy organicznej.

Uzysk biogazu przeprowadzono zgodnie z normą DIN 38414. Frakcje były fermentowane w warunkach statycznych, czyli polegających na wprowadzeniu wsadu jednorazowo do komór fermentacyjnych i prowadzeniu procesu, aż do momentu zakończenia fermentacji. Pomiar temperatury, wody, ciśnienia oraz ilość uzyskanego biogazu przeprowadzono na stanowisku badawczym, którego schemat jest przedstawiony na rysunku. W czasie trwania badań pomiary ilości wydzielanego biogazu odczytywano dwa razy na dobę o tej samej porze od momentu umieszczenia wsadu w fermentatorach do momentu zakończenia procesu fermentacji. Pozostałe parametry procesu takie jak: temperatura, wilgotność gazu, ciśnienie gazu, metan, tlen, dwutlenek węgla, oraz siarkowodor były zapisywane na twardym dysku komputera przy użyciu oprogramowania sterująco-archiwizującego.

Przeprowadzone badania procesu fermentacji w laboratorium pozwoliły na ocenę podatności badanej frakcji na zachodzące procesy biochemiczne. Potwierdzają to uzyskane wyniki analizy składu gazu oraz intensywność wydzielanego gazu.

Po przeprowadzonej fermentacji metanowej badanego materiału pobrano próbki frakcji stałej pofermentu. Zarówno w rzęsie, stanowiącej wsad do fermentatora jak i w pofermencie oznaczono zawartość makroelementów (C, N, P, K, Ca, Mg i Na) oraz pierwiastków śladowych (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn i Cd). Próbki laboratoryjne suszono w temperaturze 65°C, homogenizowano i poddano mineralizacji na sucho w systemie otwartym. Próbki mineralizowano w piecu muflowym w temperaturze 450°C. Następnie roztworzano je w roztworze kwasu azotowego(V). Naważka analityczna wynosiła 3 g suchej masy. Stężenie badanych pierwiastków w uzyskanych roztworach oznaczono metodą atomowej spektrometrii emisyjnej, w aparacie Optima 7600 firmy Perkin Elmer.

Rezultaty badań i ich interpretacja

Zawartość magnezu we wsadach z rzęsy wodnej kształtowała się na poziomie 3,172 g Mg · kg⁻¹ s.m., potasu 6,332 g K · kg⁻¹, fosforu 4,425 g P · kg⁻¹ oraz wapnia 37,23 g Ca · kg⁻¹. Zawartość magnezu w masach pofermentacyjnych wykonanych z rzęsy wodnej kształtowała się na poziomie 3,180 g Mg · kg⁻¹, potasu 8,062 g K · kg⁻¹, dla fosforu 3,480 g P · kg⁻¹ oraz wapnia 44,98 g Ca · kg⁻¹. W wyniku procesu fermentacji metanowej stwierdzono zwiększenie zawartości azotu, wapnia oraz potasu oraz zmniejszenie się zawartości fosforu. Zawartość magnezu nie uległa zmianie w wyniku przeprowadzonego procesu. Uzyskany w procesie materiał spełnia minimalne wymagania jakościowe jakie powinny spełniać nawozy organiczne.

W wyniku procesu fermentacji metanowej biomasy rzęsy drobnej zaobserwowano zwiększenie ilości większości badanych pierwiastków.

W badanym pofermencie stwierdzono bardzo duże zawartości wapnia, większe niż stwierdzane w nawozach naturalnych. Przy aplikacji badanych pofermentów w ilości około 5 Mg na hektar ilości wprowadzonego wapnia wynosiłyby ponad 200 kg Ca. Ilości azotu i fosforu wprowadzone z tą dawką pofermentu wynosiłyby odpowiednio 80 i 22 kg.

Zawartości pozostałych makroelementów były mniejsze niż podawane w literaturze dla różnych nawozów naturalnych.

W żadnym przypadku w badanym materiale nie zaobserwowano przekroczenia zawartości metali ciężkich dla nawozów naturalnych.

Przeprowadzone badania wskazują, że poferment po fermentacji metanowej biomasy rzęsy drobnej może być wykorzystany jako środek wspomagający uprawę roślin.

Przeprowadzone badania fermentacji metanowej wykazały, że ilość uzyskanego biogazu z rzęsy wodnej jest zadawalająca – od czternastej doby ilość uzyskanego biogazu wynosiła 251-294 Ndm³·kg⁻¹·s.m. Porównując rzęsę wodną oraz kisonkę kukurydzy jako monosubstrat można stwierdzić, że większą sumaryczną ilość biogazu uzyskano z wsadu wykonanego na bazie rzęsy wodnej.

W wydzielanym biogazie podczas fermentacji podłoża wykonanego z rzęsy wodnej odnotowano udział 68% CH₄ i jest to wynik lepszy o 15% od gazu uzyskiwanego z kisonki kukurydzy uznawanej jako optymalny wsad do biogazowni rolniczych.

P-7. Sikora J., Niemiec M., Szląg-Sikora A., Kuboń, M., Olech, E., Marczuk, A. 2017. Zgazowanie odpadów z przemysłowego przetwórstwa karpia. Przemysł Chemiczny, vol. 96, nr 11, 2017. s. 2275-2278, DOI:10.15199/62.2017.11.12

Uzasadnienie badań i cel pracy

Zagospodarowanie odpadów z przemysłu spożywczego stanowi ważny problem. Pomimo że zawierają one znaczne ilości materii organicznej oraz makroelementów, w dalszym ciągu znaczna ich część jest utylizowana w sposób nieracjonalny. Najczęściej wykorzystywaną metodą utylizacji tych odpadów jest składowanie lub odprowadzanie w postaci ciekłej do oczyszczalni ścieków. Konieczność poszukiwania alternatywnych źródeł energii oraz substytutu nawozów naturalnych na obszarach o niskim pogłowiu zwierząt zwraca uwagę na potencjał tych odpadów w zakresie pozyskiwania energii oraz nawożenia. Wykorzystanie tych odpadów do produkcji biogazu, a następnie wykorzystanie uzyskanego pofermentu do nawożenia może stanowić ważne ogniwo obiegu pierwiastków w agroekosystemach, w ramach wdrażania racjonalnych metod produkcji.

Potrzeba dywersyfikacji źródeł energii stała się podstawą rozwoju technologii produkcji paliw z biomasy [Pawłowski i Pawłowski, 2016; Sikora i inni, 2014]. Jedną z metod pozyskiwania energii z biomasy jest jej beztlenowe przekształcanie przez fermentację metanową. W ten sposób uzyskuje się energię (w postaci gazu), która może być wykorzystywana jako źródło ciepła lub też stanowić substrat do produkcji prądu elektrycznego [Niemiec i inni, 2017; Rejman-Burzyńska i in. 2013]. W większości współczesnych biogazowni materiałem wejściowym są przede wszystkim mieszaniny obornika oraz roślin uprawianych specjalnie w tym celu. Największy udział stanowią kiszonki z kukurydzy. Pomimo że takie mieszanki cechują się bardzo dużą efektywnością pozyskiwania biogazu, coraz częściej zwraca się uwagę na możliwość fermentacji odpadów komunalnych oraz odpadów z przemysłu [Podstawka, 2014; Kafle i inni, 2013]. Ważnym instrumentem wspomagającym rozwój metod pozyskiwania energii z odpadów są wspólnotowe akty prawne, wśród których najważniejsze to dyrektywa w sprawie składowania odpadów [Alkanok, 2014], która wymaga zmniejszenia ilości odpadów ulegających biodegradacji kierowanych na składowiska odpadów, oraz dyrektywa ramowa w sprawie odpadów [Maragkaki i inni, 2017]. Pomimo mniejszego potencjału energetycznego oraz trudności technologicznych, wykorzystanie odpadów do fermentacji metanowej ma znaczenie w aspekcie ich utylizacji oraz ograniczania emisji gazów cieplarnianych ze składowisk [Afazeli i inni, 2014].

Celem pracy była ocena składu chemicznego odpadów pochodzących z produkcji mrożonek oraz składu chemicznego pofermentu pochodzącego z fermentacji metanowej tych odpadów. Jako kryterium oceny przyjęto przydatność tych odpadów do użycia jako środków poprawiających właściwości gleby. W ramach realizacji założonego celu analizie poddano odpady z przetwórstwa brokułów oraz marchwi. Po przyjęciu do zakładu wstępnie rozdrobnionego surowca (zależnie od rodzaju) następuje jego płukanie i oczyszczenie. W przypadku brokułów poddaje się je blanszowaniu (działanie wysokiej temperatury). Następnie z blanszowane różyczki są kierowane do tunelu zamrażalniczego. Odpadem są zbyt małe kawałki i zgniecione części warzyw. W przypadku marchwi odpadem są części warzyw oraz pozostałości po ściąganiu skórki. Stanowiąca przedmiot badań frakcja odpadowa zostaje oddzielona od reszty materiału, który wędruje do szokowego zamrożenia. Odpady organiczne w zakładzie stanowią do 20% przyjętego surowca. Obecnie część tych odpadów jest przekazywana producentom rolnym i wykorzystywana przez nich jako surowiec do skarmiania lub jako nawóz. Wybór substratu do przeprowadzenia fermentacji metanowej wynikał z sezonowości dostaw surowca, którego było najwięcej w chwili przeprowadzania badań.

Materiał i metody

Próbki do analiz pobrano z odpadów powstałych po przetworzeniu partii marchwi. Wielkość partii odpadu wynosiła ok. 20 t świeżej masy. Próbka zbiorcza stanowiła 10 próbek pierwotnych o masie jednostkowej ok. 0,5 kg. Próbkę laboratoryjną stworzono przez zmniejszenie masy próbki reprezentatywnej. Równolegle pobrano próbkę odpadów powstałych z obróbki brokułów. Po przeprowadzonej fermentacji metanowej badanych materiałów pobrano próbki stałej frakcji pofermentu. Poboru pofermentu dokonano tak jak w przypadku odpadów surowych.

Próbki laboratoryjne suszono w temp. 65°C, homogenizowano i mineralizowano na sucho w systemie otwartym w piecu muflowym w temp. 450°C, a następnie roztwarzano w roztworze kwasu azotowego (V). Naważka analityczna wynosiła 3 g suchej masy (s.m.). Stężenie badanych pierwiastków w uzyskanych roztworach oznaczono metodą atomowej spektrometrii emisyjnej w aparacie Optima 7600 firmy Perkin Elmer. Zawartość azotu oznaczono metodą Kieldahla przy użyciu aparatu Kjeltac 2100. Do kontroli prawidłowości analiz badanych pierwiastków użyto certyfikowanego materiału odniesienia IEA-V-10. W tabeli zamieszczono wyniki analiz materiału referencyjnego oraz oszacowano wartość odzysku na podstawie analiz wykonanych w 4 powtórzeniach. Badania ilości wydzielanego biogazu przeprowadzono zgodnie z normą [DIN 38414-S8] na autorskim stanowisku badawczym szczegółowo opisanym w poprzednich artykułach.

Rezultaty badań i ich interpretacja

W wyniku fermentacji metanowej badanych odpadów z przemysłu spożywczego zaobserwowano zmniejszenie zawartości większości badanych pierwiastków w stałej frakcji pofermentu. Zwiększenie zawartości zaobserwowano tylko w przypadku siarki. W badanych pofermentach stwierdzono bardzo duże zawartości azotu. Przy aplikacji tych pofermentów w ilości ok. 3 t/ha ilość wprowadzonego azotu wynosiłaby ponad 135 kg/ha w przypadku odpadów z brokułów i 108 kg/ha w przypadku odpadów z marchwi. Przy tak dużych ilościach azotu należy zwracać uwagę na ilość wykorzystywanych odpadów, aby nie został przekroczony limit tego pierwiastka, który wynosi 170 kg/(ha·r) [Maragkaki i inni, 2017]. Z punktu widzenia nawożenia azotem oraz ograniczania rozpraszania tego pierwiastka w środowisku, wykorzystanie pofermentu byłoby uzasadnione. Azot zawarty w przefermentowanej materii organicznej jest znacznie łatwiej przyswajalny dla roślin niż azot z innych nawozów organicznych przy mniejszych stratach niż w przypadku aplikowania tego pierwiastka w postaci nawozów mineralnych [Afazeli i inni, 2014]. Zawartości pozostałych makroelementów były mniejsze niż podawane w literaturze dla różnych nawozów naturalnych. Pomimo że ich zawartości kształtowały się na poziomie kilkakrotnie mniejszym niż spotykane w nawozach naturalnych, to wprowadzanie pofermentów do gleb mogłoby stanowić cenne źródło tych pierwiastków dla roślin. Przy dawce 3 t s.m. badanego pofermentu z brokułów do gleby zostanie wprowadzone ponad 135 kg N, ponad 3 kg P i prawie 15 kg K. W przypadku zastosowania takiej ilości pofermentu z marchwi zostanie wprowadzone 108 kg N, 4,12 kg P i 22,5 kg K. Dawka siarki przy zastosowaniu 3 t s.m. badanych pofermentów będzie wynosić prawie 15 kg. Przy uwzględnieniu dobrej przyswajalności tych pierwiastków z masy pofermentacyjnej zasadne jest wykorzystanie ich do celów nawożenia lub poprawy właściwości gleby (element recyklingu cennych składników odżywczych). W żadnym przypadku w badanym materiale nie zaobserwowano przekroczenia zawartości metali ciężkich dla nawozów naturalnych. Przeprowadzone badania wskazują, że badany poferment po fermentacji metanowej odpadów z przemysłu spożywczego wykazuje dużą przydatność do wykorzystania go jako środka wspomagającego uprawę roślin.

P-8. Niemiec M., Sikora J., Szląg-Sikora A., Kuboń, M., Olech, E. , Marczuk, A. *Przydatność odpadów organicznych z przemysłu spożywczego w procesie fermentacji metanowej.* Przemysł Chemiczny, vol. 96, nr 3, 2017, ss. 685-688, DOI 10.15199/62.2017.3.38

Uzasadnienie badań i cel pracy

Odzysk energii z odpadów jest strategicznym elementem gospodarki odpadami współczesnego świata i jest nieodłącznym elementem polityki związanej ze zrównoważonym rozwojem [Velis i inni, 2009]. Masa z przetwórstwa ryb jest specyficzna z powodu szybkiego się psucia. Duża ilość odpadów przypada na okres letni natomiast w okresie zimowym tych odpadów jest znacznie mniej [Karellas i inni, 2010]. Z braku możliwości ich przechowywania (konserwowania) musi być zagospodarowywana w miejscu jej powstawania w bardzo krótkim czasie. Technologia ich unieszkodliwiania powinna zatem umożliwiać w tym samym czasie i miejscu przetwarzanie odpadów. Wydaje się że biogazownie spełnią stawiane wymogi oraz przyniosą korzyści ekonomiczne (wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła) oraz ekologiczne (zmniejszenie odorów). Z punktu widzenia wykorzystania biogazu na cele energetyczne, najistotniejszym jego składnikiem jest metan, natomiast pozostałe gazy stanowią balast, pogarszając walory użytkowe produktu finalnego z fermentacji metanowej [Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady, 2008].

Celem badań było określenie ilości oraz jakości wydzielanego biogazu podczas fermentacji metanowej podłoży skomponowanych na bazie odpadów przemysłowych powstałych podczas filetowania karpia na cele wędzarnicze. W badaniach do określenia ilości wydzielanego biogazu wykorzystano statyczną fermentację metanową. W zależności od składu ilościowego i jakościowego związków budujących materię organiczną poddawaną fermentacji, efektywność tego procesu jest różnicowana. Optymalizacja procesu związana jest ze zwiększaniem ilości węgla poddawanego procesowi metanogenezy [Alkanok, 2014]. Aby proces metanogenezy mógł zachodzić sprawnie i efektywnie, materiał poddany fermentacji musi charakteryzować się odpowiednimi właściwościami, wśród których najważniejszy jest stosunek węgla do azotu, który powinien wynosić 40:1. Odpady pochodzenia zwierzęcego charakteryzują się dużą zawartością azotu, co może ograniczać efektywność procesu ich biogazowania, na co zwracają uwagę niektórzy naukowcy [Vilalba i inni, 2008]. Zbyt duża zawartość azotu w masie poddawanej procesowi fermentacji metanowej może prowadzić do podwyższenia zawartości amoniaku oraz siarkowodoru w biogazie, co pogarsza jego wartość [Garcia-Pena, 2011]. Autorzy ci stwierdzili ok. 50-proc. ubytek azotu w postaci amoniaku w trakcie metanowej fermentacji gnojowicy świńskiej. Z punktu widzenia zapewnienia właściwych parametrów dla procesu fermentacji oraz jakości uzyskanego biogazu, nie jest korzystne biogazowanie odpadów pochodzenia zwierzęcego bez dodatku substratu wzbogacającego złożę w węgiel. Problemem związanym z biogazowaniem materiałów odpadowych pochodzenia zwierzęcego może być również zagospodarowanie pofermentu. Biomasa z przemysłowego przetwórstwa ryb może zawierać znaczne ilości pierwiastków śladowych, co może przełożyć się na podwyższoną ich ilość w pofermencie [Bustamante i inni, 2013], a podwyższona zawartość tych pierwiastków może ograniczać wykorzystanie pofermentu na cele nawozowe.

Materiał i metody

Badano odpady przemysłowe pochodzące z przetwórstwa karpia. Materiał pozyskano z gospodarstwa rybackiego „Zarząd Dóbr Smolin” zlokalizowanego w Lubaczowie w województwie podkarpackim, gdzie planowana jest budowa przemysłowej przetwórni ryb

w ramach dywersyfikacji dochodów produkcji akwakultury. Masa odpadowa składała się z głów wraz ze skrzelami, wnętrzności, płetw i skóry. Próbką zbiorczą o masie 200 kg składała się z 20 próbek pierwotnych. Próbkę zbiorczą poddano homogenizacji i wyodrębniono z niej próbki do komponowania podłoży fermentacyjnych. Próbki zostały rozdrobnione, a następnie poddane analizie na zawartość wilgoci oraz suchej masy organicznej. Z przygotowanej masy pobrano 5 próbek o masie ok. 2 kg i umieszczono je w konwekcyjnej suszarce Elkon 110 z wymuszonym obiegiem powietrza. Badania ilości wydzielanego biogazu przeprowadzono zgodnie z normą [DIN 38414-S8] na autorskim stanowisku badawczym szczegółowo opisanym w poprzednich artykułach.

Rezultaty badań i ich interpretacja

Podczas przeprowadzonej fermentacji metanowej odpadów z przetwórstwa karpia uzyskano biogaz w ilości 480 L/kg s.m. Badania wykazały, że materiał poddany analizie można z powodzeniem wykorzystywać w biogazowniach przemysłowych.

Wsad z odpadów rybnych fermentował dając uzysk biogazu o 50% wyższy niż kiszonka z kukurydzy, która uznawana jest jako główny substrat do produkcji biogazu. Zawartość biometanu wynosiła ok. 65%, czyli o 10% więcej niż w biogazie uzyskanym z kiszonki kukurydzy. Przeprowadzone badania i analizy potwierdzają przydatność biomasy rybnej w procesie fermentacji metanowej na skalę przemysłową. Problemem może być niewłaściwy stosunek węgla do azotu w odpadach, co może ograniczać wydajność procesu.

4. Podsumowanie

Podstawą rozprawy habilitacyjnej są prezentowane, w załączonych ośmiu publikacjach, wyniki badań dotyczących oceny podłoży fermentacji metanowej i sposobu zagospodarowania pofermentu.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy habilitacyjnej zaliczam:

- uzyskane wyniki potwierdzają przydatność mas odpadowych w procesie fermentacji metanowej. W związku z powyższym biomasę odpadową można z powodzeniem wykorzystywać jako kosubstrat do biogazowni. Pozwala to ograniczyć monosubstrat w postaci kiszonki z kukurydzy oraz monokulturę uprawy kukurydzy z przeznaczeniem na wsad do biogazowni. Instalacje biogazowe oparte tylko na wsadzie z plantacji energetycznych wprowadzają nową masę w obieg transportowy, tym samym po zastosowaniu przebadanych kosubstratów biogazownie ograniczą obieg transportowy. Proponowane substraty są już w obiegu transportowy tylko na pewnym etapie zgodnie z przyjętymi założeniami badawczymi, należy je zmineralizować w fermentorach biogazowych.

Wyniki analizy uzysku biogazu w stosunku do suchej masy wskazały na zdecydowane największą wydajność wsadów skomponowanych na bazie biomasy rolniczej z masą odpadową tj. wsad wykonany na bazie kiszonki z kukurydzy z dodatkiem do 30% organicznej frakcji odpadów komunalnych cechował się o 17% większą produkcją biogazu w stosunku do wsady wykonanego na bazie kiszonki z kukurydzy.

- opracowane nowe podłoża oparte na biomasach odpadowych ukazuje inne aspekty produkcji biomasy do biogazowni, tzn. oprócz wyprodukowanej na działkach rolnych docelowej masy przeznaczonej do fermentacji, można zagospodarowywać masę odpadową (np. przeterminowana żywność, odpady z przetwórstwa rolno-spożywczego) występującą na danym terenie.

- biomasa, która była biologicznie aktywna o dużej bioróżnorodnością na początku fermentacji cechowała się normalnym przebiegiem procesu fermentacji. Biomasa pochodząca z przemysłu rolno-spożywczego o małej zawartości suchej masy, może być z powodzeniem wykorzystywana jako materiał uwadniający podłoża do fermentacji. Należy założyć, że stosowanie do podłoża fermentacyjnych biomasy odpadowej spowoduje obniżenie kosztów produkcji wsadów, przechowywania oraz zwiększy opłacalność produkcji energii z biogazu.
- podjęta próba analizy masy pofermentacyjnej z kofermentacji, która jest uciążliwa do zagospodarowania w biogazowniach, ponieważ powstaje jej bardzo dużo, wykazała że można ją z powodzeniem stosować na działkach rolnych jako nawóz naturalny. W wyniku procesu fermentacji metanowej stwierdzono, zwiększenie zawartości azotu, wapnia, potasu oraz zmniejszenie się zawartości fosforu. Zawartość magnezu nie uległa zmianie w wyniku przeprowadzonego procesu. Uzyskany w procesie materiał spełnia minimalne wymagania jakościowe jakie powinny spełniać nawozy organiczne.

W wyniku procesu kofermentacji metanowej w masie pofermentacyjnej zaobserwowano zwiększenie ilości większości badanych pierwiastków. W badanych pofermentach stwierdzono bardzo duże zawartości wapnia, większe niż stwierdzane w nawozach naturalnych. Przy aplikacji badanych pofermentów w ilości około 5 Mg na hektar, ilości wprowadzonego wapnia wynosiłyby ponad 200 kg Ca. Ilości azotu i fosforu wprowadzone średnio z tą dawką pofermentu wynosiłyby odpowiednio 80 i 22 kg. Zawartości pozostałych makroelementów były mniejsze niż podawane w literaturze dla różnych nawozów naturalnych. W żadnym przypadku w badanym materiale nie zaobserwowano przekroczenia zawartości metali ciężkich dla nawozów naturalnych.

Podsumowując podkreślam, że wyniki otrzymane w badaniach własnych, oprócz wymiaru naukowego, można uznać za niezmiernie przydatne w praktyce. Wiele instalacji biogazowni rolniczych boryka się z problemem pozyskiwania wsadów i zagospodarowania pofermentów. Niektóre instalacje biogazowe są niekorzystnie zlokalizowane, tzn. są nastawione na wsad z plantacji energetycznych, ale niestety w obrębie wspomnianych instalacji nie ma odpowiedniej powierzchni działek rolnych do produkcji wsadów i zagospodarowania masy pofermentacyjnej. Tym samym, w tych instalacjach produkcja energii elektrycznej jest nieopłacalna. W takich przypadkach można wykorzystać kofermentację i pozyskiwać biomasę odpadową, ale nadal pozostaje problem: jak zagospodarowywać poferment. Jest to wskazanie nowego kierunku badań, tj. w jakim sposób zagospodarować powstającą masę pofermentacyjną na działkach o dużym rozdrobnieniu agrarnym, które cechuje polską przestrzeń rolniczo-produkcyjną. Przedstawione efekty prac badawczych są wynikiem nawiązania współpracy z przedsiębiorstwami oraz naukowcami z różnych dziedzin nauki.

5. Literatura

- Heidrich Zb., Nieścier A. (1999). Stabilizacja beztlenowa osadów ściekowych. Wyd. Instalator Polski, Warszawa.
- Holm-Nielsen J.B., Al Seadi T. Oleskowicz-Popiel P. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource technology*, 100(22).
- Holt J.G. (ed) (1989). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Vol. 1 Williams & Wilkins, Baltimore.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Metz B., Davidson O.R., Bosch P.R., Dave R., Meyer L.A. 2007. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., XXX pp.
- Kafle G.K., Kim S.H., Sung K.I. 2013. *Bioresour. Technol.* 2013, 127, 326.
- Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. 2001. *Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken*
- Klugmann-Radziemska, E. 2009. *Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe*. Gdańsk, PG, ISBN 978-83-7348-255-5.
- Kłosowski, G., Mikulski, D. (2010). The effect of raw material contamination with mycotoxins on the composition of alcoholic fermentation volatile by-products in raw spirits. *Bioresource Technol.* 101.
- Koutinas A.A., Toutoutzidakis G., Kana K., Kouinis I. 1991. Methane fermentation promoted by alumina pellets. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 72(1).
- Koutinas A.A., Toutoutzidakis G., Kana K., Kouinis I., 1991. Methane fermentation promoted.
- Krawiec, F. (2010): *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego*. Warszawa, Difin, ISBN 978-83-7641-241-2.
- Kurek S., Małucha K., Toch R., Zemanek J. 2008, Wyznaczanie procentowego składu frakcji w odpadach komunalnych w zależności o systemu zbiórki Materiały konferencyjne: IV Ogólnopolska Młodzieżowa Konferencja Naukowa nt.: „Nowe tendencje rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich”, str. 100-103.
- Lewandowski W. 2006. *Proekologiczne odnawialne źródła energii*. WNT Warszawa.
- Lewandowski W. 2007, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa.
- Londo M., Lensink S., Wakker A., Kupczyk A., 2009. The REFUEL EU road map for biofuels in transport: Application of the project's tools to some short-term policy issues *Biomass and Bioenergy*.
- Maragkaki A.E., Fountoulakis M., Kyriakou A., Lasaridi K., Manios T. 2017. Improving biogas production from anaerobic co-digestion of sewage sludge with a thermal dried mixture of food waste, cheese whey and olive mill wastewater. *Waste Manage.* doi: 10.1016/j.wasman.2017.08.016.
- Marcinowska J. 2003. *Oznaczanie rodzajów grzybów ważnych w patologii roślin*. Fundacja rozwój SGGW. Warszawa.
- Merwe V.M., Britz T.J., 1993. Anaerobic digestion of baker's yeast factory effluent using an anaerobic filter and a hybrid digester. *Bioresource Technology*, 43(2).
- Niemiec M., Sikora J., Szelaż-Sikora A., Kuboń M., Olech E., Marczuk A. 2017. *Przem. Chem.* 2017, 96, nr 3.
- Niemiec M., Wiśniowska-Kielian B., Komorowska M., Kuzminova N. 2015. Assessment of the Black Sea ecosystem pollution with copper and cadmium in selected bays of Sevastopol region. *J. Ecol. Eng.*, 16(5): 119-127. DOI: 10.12911/22998993/60467.

- Nimmrichter R., Kuebler H. (1999). Biogas yield of thermophilic and mesophilic anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste. Barcelona 15-18 June.
- Oukarroum A., Bussotti F., Goltsev V., Kalaji H.M. 2015. Correlation between reactive oxygen species production and photochemistry of photosystems I and II in *Lemna gibba* L. plants under salt stress. *Environ. Exp. Bot.*. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.08.005
- Pawłowski A., Pawłowski L. 2016 *Ann. Set Environ. Protection.* 18, nr 2, 19.
- Phae C.G., Sasaki M., Shoda M., Kubota H. (1990). Characteristics of isolated from composts suppressing phytophthogenic microorganisms. *Soil Sci. Nutr.*; 36(4).
- Podstawka M., 2014. *ZN SGGW EiOGŻ.* 2014, 107, 155.
- Pugliese A., Bidini G., Fantozzi F. 2015. Anaerobic digestion of macrophytes algae for eutrophication mitigation and biogas production. *Energy Procedia*, 82: 366-373. 70th Conf. of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2015. DOI: 10.1016/j.egypro. 2015.11.806.
- Rejman-Burzyńska A., Jędrzyk E., Gądek M., 2013. *Przem. Chem.* 2013, 92, nr 1.
- Rutkowski, K. 2011 *Analiza wydajności oraz składu biogazu w biogazowni o mocy 1MW.* *Inżynieria Rolnicza*, 6(131).
- Sathaye J., Najam A., Cocklin C., Heller T., Lecocq F., Llanes-Regueiro J., Pan J., Petschel-Held G., Rayner S., Robinson J., Schaeffer R., Sokona Y., Swart R., Winkler H. 2007. Sustainable Development and Mitigation. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Sharma V.K., Testa C., Castelluccio G. 1999. Anaerobic treatment of semi-solid organic waste. *Energy Conversion and Management*, 40(4).
- Sharma V.K., Testa C., Castelluccio G., 1999. Anaerobic treatment of semi-solid organic waste.
- Sieliwanowicz B. (2003). Żyto i kukurydza w technologii gorzelniczej BUS, zacieranie i fermentacja. W: *Aktualne problemy gorzelnictwa rolniczego. Teoria i praktyka.* Wyd. PM „LOGO”. Bydgoszcz.
- Sikora J., Szelań-Sikora A., Cupiał M., Niemiec M., Klimas A. 2014. Możliwość wytwarzania biogazu na cele energetyczne w gospodarstwach ekologicznych. *Proc ECOpole.* 2014;8(1):279-288. DOI: 10.2429/proc.2014.8(1)037.
- Sikora J. 2012. Badanie efektywności produkcji biogazu z frakcji organicznej odpadów komunalnych zmieszanej z biomasą pochodzenia rolniczego. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich.* Nr 2012/ 02 (4).
- Sikora J., Szelań-Sikora A., Cupiał M., Niemiec M., A. Klimas, *Proc. ECOpole* 2014, 8, nr 1.
- Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., O'Mara F., Rice C., Scholes B., Sirotenko O. 2007. Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- transport: Application of the project's tools to some short-term policy issues. *Biomass and bioenergy*, 34(2): 244-250. und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Velis C.A., Longhurst P.J., Drew G.H., Smith R., Pollard S.J.T. 2009. *Bioresour. Technol.*
- Vilalba G., Liu Y., Schroder H., Ayres R.U., Ind J. 2008. *Ecol.* 2008, 12, nr 4.

- Weiland, P. 2001. Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDIBerichte, Nr. 1620 „Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven“; str. 19-32; VDI-Verlag.
- Weiland, P.; Rieger, Ch. 2001. Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im Landwirtschaftlichen Bereich; (FNR-FKZ: 00NR179); 3. Zwischenbericht; Institut für Technologie i Systemtechnik / Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig.
- Yadav S., Chandra R. 2011. Heavy metals accumulation and ecophysiological effect on *Typha angustifolia* L. and *Cyperus esculentus* L. growing in distillery and tannery effluent polluted natural wetland site, Unnao, India. *Environ. Earth Sci.*, 62: 1235-1243. DOI: 10.1007/s12665-010-0611-6.
- Yapa M.G.S., Nigh W.J., Chuaa H. 1992. Performance of an anaerobic biofilter for 2-ethylhexanoic acid degradation. *Bioresource Technology*, 41(1).
- Yapa M.G.S., Nigh W.J., Chuaa H., 1992. Performance of an anaerobic biofilter for 2-ethylhexanoic acid degradation. *Bioresource Technology*, 41(1).
- Yasee D.A., Scholz M. 2016. Shallow pond systems planted with *Lemna minor* treating azo dyes. *Ecol. Eng.*, 94: 295-305. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.05.081
- <http://prawo.sejm.gov.pl>
- <http://www.gov.pl>
- <http://www.ieo.pl/webpage/> Instytut Energetyki Odnawialnej (EC BREC IEO), lipiec 2009
- <http://www.ieo.pl/...badan/Biogaz%20-%20Produkcja%20Wykorzystywanie.pdf>

V. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

Po ukończeniu studiów doktoranckich rozpocząłem pracę naukowo-dydaktyczną w Katedrze Technicznej Infrastruktury Wsi, Wydziału Agrotechnologii, Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, na stanowisku nauczyciela akademickiego. Obecnie jestem zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie.

5.1. Działalność naukowa przed uzyskaniem stopnia doktora nauk rolniczych

Po rozpoczęciu studiów doktoranckich w 2004 roku moja tematyka badawcza koncentrowała się głównie wokół oceny potencjału infrastruktury technicznej na terenach wiejskich. Realizowane zagadnienia dotyczyły:

- analizy zmian potencjału infrastruktury na terenach wiejskich,
- wyznaczanie autokorelacji przestrzennej potencjału środków technicznych na poziomie gmin,
- analizy rozkładu przestrzennego badanych zjawisk.

W ramach powyższych badań, wykonano prace zamieszczone w załączniku 3: **(publikacje: od IIA68 do IIA74)** ora podjęto współpracy z jednostkami terytorialnymi. Podjęta współpraca z gminami owocowała opracowaniami dotyczącymi stanu infrastruktury na ich terenach oraz w gminie Wilkowice analiza dostępnych zasobów wody w miejscowości Bystra Śląska.

5.2. Działalność naukowa po uzyskaniu stopnia doktora nauk rolniczych

Moje zainteresowania badawcze po uzyskaniu stopnia doktora koncentrowały się głównie wokół zagadnień:

- analiza przestrzenna badanych zjawisk przestrzennych,
- analiza termogramów obiektów, roślin i małych zwierząt,
- badanie efektywności produkcji biogazu z różnych frakcji organicznej jako monosubstrat lub kosubstracie,
- analiza ekonomiczna, społeczna oraz środowiskowa produkcji rolniczej i wytwarzania biogazu.

Wyniki realizowanych badań, niewchodzących w skład osiągnięcia naukowego, o którym mowa jest w rozdziale 4, zostały opublikowane w 86 pracach, których jestem autorem bądź współautorem.

Analiza przestrzenna badanych zjawisk przestrzennych

Wyniki badań dotyczące analiz przestrzennych zostały opublikowane w pracach zamieszczonych w załączniku 4 **(publikacje: IIA6, IIA9, IID33, IID35, IID43, IID44, IID45, IID46, IID57, IID60, IID63, IID65, IID66, IID67)**.

Badania te dotyczyły:

- przestrzennej analizy dostępności biomasy na cele fermentacji metanowej,
- poszukiwania obiektów przestrzennych o podobnych wartościach badanych zmiennych (cechujących się podobnym potencjałem dostępności biomasy na cele fermentacji metanowej),

- wyznaczanie przestrzennych zależności na podstawie statystyki *I* Morana,
- poszukiwania ładu przestrzennego badanych zmiennych dotyczących infrastruktury technicznej na terenach gmin wiejskich za pomocą lokalnych i globalnych statystyk przestrzennych.

W celu rozwijania warsztatu badawczego, związanego z analizami przestrzennymi, odbyłem kursy z zakresu pracy z gomediami prowadzone przez firmy Intergraph Esri. Kursy te dotyczyły wymiany doświadczeń w zakresie pracy z oprogramowaniem z zakresu GIS tych firm. Wymiernym efektem tej współpracy jest wykonana pracownia komputerowa do pracy z oprogramowaniem GIS dla pracowników i studentów Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.

Systemy GIS, SIP, LIS itp. pomagają lepiej operować wiedzą, ułatwiają organizację, przechowywanie i dostęp do potrzebnych danych. Istnieje wiele terminów opisujących naszą wiedzę o zjawiskach zachodzących w przestrzeni. Ich wspólną cechą jest brak jednoznaczności. Termin „dane” odnosi się do najbardziej podstawowego rodzaju informacji o świecie nas otaczającym, natomiast mądrość określa najwyższy poziom uporządkowania informacji. Na dane składają się liczby, tekst lub symbole które są w pewnym stopniu neutralne, gdy są pozbawione kontekstu. Dane gromadzimy w bazie danych, tworząc ogromne zbiory.

Posiadanie takiego oprogramowania i narzędzi badawczych pozwoliło na pozyskanie projektu badawczego broker inowacji (**II I 7**).

Analiza termogramów obiektów, roślin i małych zwierząt

Interesując się problematyką badawczą z wykorzystaniem termografii w badaniach naukowych nawiązałem współpracę z Pracownikami Wydziału Biotechnologii i Ogrodnictwa Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie w wyniku której pozyskano projekt badawczy (**II.I.2**) oraz została przygotowana publikacja (**II.A.1**). W ramach wspólnie przeprowadzonych badań z zakresu doświetlania roślin za pomocą lamp LED zostało przygotowane stanowisko badawcze w którym można monitorować temperaturę roślin za pomocą termografii podczas doświetlania. Przeprowadzone badania z tego zakresu wykazały, że w oparciu o monitorowanie wzrostu i składu chemicznego wydajności oraz zużycie energii, najlepsze wyniki uzyskano przy lampach LED, które emitowały 90% czerwieni + 10% niebieskiego i 70% czerwieni + 30% światła niebieskiego. Tylko białe diody LED, niezależnie od temperatury barwowej, spowodowały gorsze efekty w porównaniu z HPS.

W innych badaniach z tego zakresu przy współpracy z Pracownikami Wydziału Farmaceutycznego Uniwersytetu Jagiellońskiego dokonywałem analiz termogramów zwierząt laboratoryjnych przy skarmianiu różnymi paszami oraz stymulowania lekarswami. Wymiernym wynikiem było przygotowanie stanowiska badawczego do wykonywania termogramów małych zwierząt takie stanowisko jest unikatowe w odniesieniu do badań tego typu na całym świecie. Przeprowadzone badania pozwoliły na przygotowanie publikacji (**II.A.1**) oraz przygotowanie są wyniki z tego zakresu do publikacji. W ramach zainteresowań związanych z powyżej opisanym tematem prowadziłem badania związane z termogramami obiektów budowlanych oraz materiałów (**II.D.34; II.D.54; II.D.55; II.D.56**). Wyniki przedstawione w tych publikacjach odnosiły się do wyznaczanie temperatur za pomocą termografów przegród budowlanych. Termografia wykorzystywana jest w wielu różnorodnych kierunkach badawczych. W artykułach związanych z wykorzystaniem termografii przedstawiono rezultaty badań polegających na wykorzystaniu termogramów w ocenie termoizolacyjności wybranych zewnętrznych przegród budowlanych. Szczególną uwagę poświęcono elementom fasady budynków. Badania wykonano zgodnie z normą PN-EN

13187:1998, z wykorzystaniem kamery termograficznej ThermaCAM e300 firmy FLIR. Termogramy opracowano w programie ThermaCAMTM QuickRaport 1.1, uwzględniając różnorodne współczynniki emisyjności analizowanych powierzchni. Głównymi celami pracy było określenie różnic w termoizolacyjności analizowanych przegród budowlanych w zależności od wykonanej (lub niewykonanej) termomodernizacji oraz określenie miejsc występowania mostków termicznych, wynikających najczęściej z wad konstrukcyjnych budynków. Jak wykazały badania, kamera termograficzna jest bardzo przydatnym narzędziem do oceny termoizolacyjności przegród budowlanych.

Badanie efektywności produkcji biogazu z różnych frakcji organicznej jako monosubstrat lub kosubstracie

Moje zainteresowanie naukowe zagadnieniem związanym z wytwarzaniem biogazu z biomasy odpadowej, zostało zapoczątkowane współpracą z najmniejszymi jednostkami terytorialnymi w kraju. Na terenie gmin pojawiał się problem zagospodarowania odpadów komunalnych. Pierwsze publikacje w tym zakresie odnosiły się do odpadów komunalnych i ich składu morfologicznego. Badania składu morfologicznego odpadów na terenie badanych gmin wskazywały, że aż 60% w tych odpadach to odpady organiczne. Tym samym, zrodził się problem: jak te odpady organiczne zagospodarowywać. W Instytucie Inżynierii Rolniczej i Informatyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, powstał pomysł na wykonanie laboratorium do określania ilości i jakości biogazu wydzielanego się podczas fermentacji metanowej. W tym celu obylem staż naukowy w Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu (III.L.2). Wymiernym efektem zdobytej wiedzy było wykonanie komory fermentacyjnej do prowadzenia fermentacji metanowej, obecnie jest to osobne laboratorium na Wydziale Inżynierii Produkcji i Informatyki można w nim prowadzić badania z zakresu biologicznego przetwarzania biomasy. Wykonane laboratorium i prowadzone w nim badania pozwoliły na zdobycie projektów badawczych (II.I.7, II.I.8, II.I.9, II.F.1). Uzyskane wyniki pozwoliły na 13 publikacji z zakresu analizy intensywności wydzielania się biogazu podczas fermentacji metanowej (II.D.1, II.D.4, II.D.8, II.D.14, II.D.15, II.D.18, II.D.22, II.D.24, II.D.26, II.D.29, II.D.37, II.D.39, II.D.62). W publikacjach tych problematyka donosi się nie tylko do ilości uzyskiwanego biogazu ale również do pozyskiwania biomasy jej dostępności oraz co najważniejsze zagospodarowania pofermentau.

Zrównoważony rozwój przestrzenni rolniczej produkcyjnej

Kolejnym aspektem mojej działalności naukowej jest szeroko pojęta współpraca z gospodarstwami rolnymi i gospodarką rolniczą a w szczególności aspekty ekonomiczne i dywersyfikacja dochodów w rolnictwie. Współpraca z grupami producentów rolnych zaowocowała uzyskaniu projektu badawczego (II.I.1). Wymiernym efektem współpracy z grupami producentów rolnych w projekcie badawczym było napisanie autorskiej monografii (II.D.3). Moje zainteresowania w kierunku zastosowania odnawialnych źródeł energii w produkcji rolniczej a zgłasza aspekty środowiskowe, magazynowania energii oraz analiza odpowiednich systemów grzewczych zaowocowało napisaniem wielu autorskich lub współautorskich publikacji naukowych (II.A.3, II.A.4, II.A.5, II.A.7, II.A.8, II.A.10, II.A.11, II.A.12, II.A.13, II.A.13, II.A.14, II.A.15, II.A.16, II.A.17, II.A.18, II.A.19, II.D.2, II.D.3, II.D.5, II.D.6, II.D.7, II.D.9, II.D.10, II.D.11, II.D.12, II.D.16, II.D.17, II.D.19, II.D.20, II.D.21, II.D.23, II.D.25, II.D.27, II.D.28, II.D.30, II.D.31, II.D.32, II.D.36, II.D.38, II.D.40, II.D.41, II.D.42, II.D.47, II.D.48, II.D.49, II.D.50, II.D.51, II.D.52, II.D.53, II.D.58, II.D.59, II.D.61, II.D.64). Obecnie z tego zakresu badań

jestem wykonawcą w projekcie BIOSTRATEG i zajmuję się wpływem nawożeniem pofermentem z biogazowni rolniczych działek rolnych na których był aplikowany biowęgiel. Wszystkie moje publikacje są osiągnięciami przy współpracy z gospodarką oraz angażowaniu naukowców z wielu dyscyplin naukowych.

VI. PODSUMOWANIE BIBLIOMETRYCZNE OSIĄGNIĘTEGO DOROBKU PUBLIKACYJNEGO

Mój dotychczasowy dorobek naukowy składa się z 101 publikacji w układzie pełnych prac naukowych, w recenzowanych czasopismach naukowych, a 21 prac naukowych mojego dorobku zostało opublikowanych w czasopismach z bazy JRC, ich łączna miara oddziaływania IF zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 11,249.

Zgodnie z załącznikami komunikatu MNiSW w sprawie wykazu czasopism naukowych w latach wydania publikacji, łączna punktacja mojego dorobku naukowego wynosi 1028 pkt. Po wyłączeniu 8 prac, wchodzących w skład przedstawianego osiągnięcia naukowego, mój pozostały dorobek naukowy stanowi 86 prac naukowych o łącznym IF 8,875 i punktacji MNiSW 921 pkt.

Przedstawione w Tabeli 7 dane bibliometryczne dokumentują mój rozwój naukowy po doktoracie. Według bazy Web of Science h-indeks prac mojego dorobku naukowego wynosi obecnie 3. Pozostałe osiągnięcia w zakresie pracy naukowej, dydaktycznej, popularyzatorskiej i organizacyjnej zostały przedstawione w Załączniku 3 do niniejszego wniosku.

Tabela 7. Dane bibliometryczne

Wyszczególnienie	Przed doktoratem			Po doktoracie			Łącznie		
	Ilość	Pkt. MNiSW	IF	Ilość	Pkt. MNiSW	IF	Ilość	Pkt. MNiSW	IF
Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego				8	107	2,374	8	107	2,374
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie JCR				19	290	8,875	19	290	8,875
Publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujących się w bazie JCR	7	28		67	631		74	659	
Razem	7	28		94	1028	11,249	101	1056	11,249

Kraków, 25 marca 2019 r.



Podpis Wnioskodawcy