

Skierniewice dn. 25.09.2023 r.

Prof. dr hab. Lidia Sas-Paszt
Instytut Ogrodnictwa - PIB
ul. Konstytucji 3 Maja 1/3
Zakład Mikrobiologii i Ryzosfery
ul. Pomologiczna 18, 96-100 Skierniewice
Lidia.sas@inhort.pl

RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

Pani Mgr. Dominiki Kufki pt.: „**Fermentacja metanowa wybranych odpadów rolno-spożywczych w świetle analiz izotopowych węgla i wodoru**” wykonanej na Wydziale Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska, Instytutu Nauk Geologicznych, Uniwersytetu Wrocławskiego, w Zakładzie Geologii Stosowanej, Geochemii i Gospodarki Środowiskiem, pod kierunkiem Prof. zw. dr. hab. Mariusza-Oriona Jędryska.

Według definicji Gospodarka o Obiegu Zamkniętym (GOZ), inaczej Gospodarka Cyrkularna minimalizuje zużycie surowców i powstawanie odpadów, przy jednoczesnej minimalizacji powstawania odpadów lub ich ponownego włączenia w cykl produkcji. Jej celem jest zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i poziomu wykorzystania energii. Biogaz to mieszanina gazów będąca produktem beztlenowego rozkładu materii organicznej (ścieki, organiczne odpady komunalne, odchody zwierzęce, odpady przemysłu rolno-spożywczego, materiał roślinny), a także ich rozpadu gnilnego. Biogaz wytwarzany w procesie fermentacji metanowej przez mikroorganizmy anaerobowe, składa się głównie z metanu i dwutlenku węgla i niewielkich ilości siarkowodoru, wodoru, wody, tlenku węgla i siloksanów. Metan, wodór i tlenek węgla mogą ulec spaleniu lub utlenieniu wydzielając energię, co pozwala na wykorzystanie biogazu jako paliwa. Może być wykorzystywany do ogrzewania, także do gotowania i w generatorach prądu.

Głównym celem pracy doktorskiej, przedłożonej do recenzji, było izotopowe naświetlenie głównych mechanizmów geochemicznych w procesie beztlenowego rozkładu - fermentacji metanowej różnego rodzaju odpadów (biosurowców) pochodzenia rolno-spożywczego. Prace badawcze przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych. W przedstawianej pracy prowadzono beztlenową dekompozycję biosurowców rolno-spożywczych (w tym odpadowych), tj.: kiszonka kukurydzy, burak pastewny, melasa, kiszonka lucerny, kiszonka traw, kiszonka ślazuwca pensylwańskiego, obornik bydlęcy, wywar gorzelniany. Zakres badań fermentacyjnych realizowano w trzech etapach, które obejmowały:

- fermentacje biosurowców jednorodnych w bioreaktorach,
- fermentacje biosurowców mieszanych w butelkach,
- fermentacje biosurowców mieszanych w bioreaktorach. Eksperymenty przeprowadzono w zróżnicowanych warunkach temperatury.

Łącznie przeprowadzono 47 eksperymentów fermentacyjnych. Badania mają wysoką wartość poznawczą i aplikacyjną. Analiza wyników niniejszej pracy doktorskiej, pozwoliła określić Autorce tło izotopowe procesu fermentacji metanowej, zachodzącego przy udziale kombinacji różnych wsadów fermentacyjnych. Pozwoliła także na ocenę tempa biodegradacji wybranych surowców rolno-spożywczych w świetle analiz izotopowych oraz umożliwiła ocenę efektywności fermentacji wybranych surowców z dominacją ścieżki acetoklastycznej (najczęściej występującej w metanogenezie) podczas produkcji metanu z wykorzystaniem badanych surowców. Jestem przekonana, że po wdrożeniu wyników badań do praktyki, możliwym będzie wykorzystanie rozwiązań otrzymanych w warunkach doświadczalnych, ale jednocześnie wyjaśnienie jakie procesy mogą zachodzić w sytuacji depozycji odpadów rolno-przemysłowych w warunkach gruntowo-wodnych.

Badania były współfinansowane ze środków:

- Projektu strategicznego NCBiR, Umowa nr SP/E/4/65786/10, Program Strategiczny - Zaawansowane technologie pozyskiwania energii, zadanie nr 4: „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”,
- Projektu badawczego „Analiza izotopowa węgla i wodoru, jako wskaźniki do kontroli procesu metanogenezy”, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki, Umowa nr UMO-2011/01/N/ST10/02683.
- ze Środków Statutowych Uniwersytetu Wrocławskiego.

Temat dysertacji podjęty przez Doktorantkę jest ważny z naukowego i praktycznego punktu widzenia. Doceniam to, że Doktorantka podjęła ważną problematykę wpływu fermentacji metanowej wybranych odpadów rolno-spożywczych w świetle analiz izotopowych węgla i wodoru. Wyniki badań wnoszą nowe i bardzo cenne informacje na temat składu izotopowego węgla i wodoru po fermentacji metanowej i jakości biogazu.

Przedłożona mi do oceny praca napisana jest w sposób zgodny z zasadami obowiązującymi przy prezentowaniu rozpraw doktorskich, przedstawiających wyniki prac eksperymentalnych. Praca doktorska pod względem redakcyjnym wykonana jest starannie i obejmuje 130 stron. Praca ma ogólnie przyjętą budowę i składa się z następujących rozdziałów: streszczenia i abstraktu, wstępu, wprowadzenia składającego się z 4 podrozdziałów, materiałów i metod, wyników badań, dyskusji, wniosków, spisu literatury, spisu rycin i spisu tabel.

Bibliografia zawiera 115 pozycji literatury (103 pozycje literatury w języku angielskim, 12 pozycji publikacji w języku polskim) dobrze dobrane i wykorzystanego w dyskusji piśmiennictwa. Pracę zilustrowano 75 rycinami i 17 tabelami.

Materiałem w badaniach były biosurowce (odpady z przemysłu rolno-spożywczego), które poddano licznym analizom i eksperymentom (m.in. analizy laboratoryjne biosurowców oraz pofermentu, eksperymenty fermentacyjne, analizy chromatograficzne biogazu, analizy izotopowe i analizy statystyczne). Eksperymenty i część analiz przeprowadzono w Zakładzie Geologii Stosowanej, Geochemii i Gospodarki Środowiskiem Uniwersytetu Wrocławskiego. Analizy na zawartość azotu ogólnego i Lotnych Kwasów Tłuszczowych, Chemicznego Zapotrzebowania na Tlen zlecono Firmie BIOGAZ ZENERIS TECH Sp.z.o.o.

Na początku pracy nie zdefiniowano celów pracy i hipotez badawczych. Cel badań przedstawiono dopiero w rozdziale Dyskusja.

Wyniki pracy doktorskiej są bardzo cenne dla nauki, a także dla pozyskiwania biogazu w wyniku fermentacji metanowej odpadów rolno-spożywczych i mają znaczenie użytkowe w gospodarce cyklu zamkniętego.

Szczegółowa ocena pracy

Tytuł pracy

Tytuł pracy „Fermentacja metanowa wybranych odpadów rolno-spożywczych w świetle analiz izotopowych węgla i wodoru” jest poprawnie sformułowany, w pełni przedstawia tematykę i zakres przeprowadzonych badań.

Streszczenie/Abstract

Ten rozdział pracy napisany jest jasno i przejrzysto, zamieszczono go na początku pracy (str. 5 i 6), co umożliwia czytelnikowi zorientowanie się w treści pracy i przebiegu prowadzonych badań. Streszczenie pracy jest napisane w języku polskim i w języku angielskim.

Spis treści

Ten rozdział obejmuje spis poszczególnych (12) rozdziałów pracy i listę poszczególnych wyników badań. Umożliwia zapoznanie się z zastosowanymi metodami badawczymi i prowadzonymi pomiarami. Spis treści jest bardzo pomocny dla czytelnika.

Wstęp

Ten rozdział, chociaż krótki, napisany jest poprawnie i bardzo dobrze zaprezentowany. Zawiera właściwe uzasadnienie zaplanowanych badań.

Wprowadzenie

Podzielone jest na 4 podrozdziały: „Podstawy geochemii izotopowej”, „Podstawy biogeochemii środowiska”, „Rozkład materii organicznej”, „Biosurowce do badań”, co ułatwia czytelnikowi zaznajomienie się z treścią rozprawy. Rozdział ten jest bardzo dobrze napisany. Doktorantka przytacza i omawia wiele pozycji literatury fachowej, w większości w języku angielskim, które mają związek bezpośredni lub pośredni z przeprowadzonymi badaniami i pomiarami. Przedstawia wpływ fermentacji metanowej na skład izotopów węgla i wodoru w biogazie. Opisuje uzasadnienie wyboru wsadu fermentacyjnego z odpadów z przemysłu rolno-spożywczego. Doktorantka właściwie opisała stanowiska badawcze wykorzystane w eksperymentach. W sposób właściwy przeprowadziła 47 eksperymentów, które szczegółowo opisała. Publikacje z literatury światowej są właściwie przedstawione i poprawnie cytowane.

Materiał i Metody/ Metodyka badań

Rozdział ten jest jasno i przejrzysto napisany, podzielony na 5 podrozdziałów: „Analizy laboratoryjne biosurowców i pofermentu”, „Eksperymenty fermentacyjne”, „Analizy chromatograficzne biogazu”, „Analizy izotopowe”, „Analizy statystyczne”. Zawiera charakterystykę zastosowania najnowszych metod badawczych, które dobrze zostały dobrane i opisane, aby właściwie oznaczyć analizowane parametry. Przeprowadzono fermentację metanową odpadów rolno-spożywczych i analizy izotopowe w warunkach laboratoryjnych. Do obliczeń zastosowano właściwe metody statystyczne (oprogramowanie Microsoft Office Excel 2007 i Grapher 7 firmy Golden Software). Wyniki poprawnie opisano i prawidłowo zinterpretowano.

Wyniki

Rozdział ten podzielony jest na podrozdziały: „Biosurowce”, „Warianty eksperymentalne jednorodne i mieszane (bioreaktory, butelki (batch), temperaturowe)”, „Stężenia w biogazie”. W tym rozdziale Autorka przedstawia wiele tabel i rycin z wynikami badań. Uzyskane wyniki są jasno opisane i prezentują wysoki poziom naukowy przeprowadzonych doświadczeń i analiz. Wyniki własne Doktorantka właściwie interpretuje i porównuje z wynikami badań z literatury światowej. Świadczy to o opanowaniu wiedzy teoretycznej, umiejętności poprawnego opisu i interpretacji wyników badań oraz wyjaśniania procesu metanogenezy.

W recenzowanej pracy doktorskiej analizie poddano relację pomiędzy występowaniem izotopów węgla i wodoru we wsadzie fermentacyjnym, a ich obecnością w biogazie. Udowodniono, że za pomocą obserwacji zmian składu izotopowego produkowanego biogazu i wsadu fermentacyjnego możliwe jest określenie czasu wyczerpania źródła węgla w biosurowcu. Prowadzenie fermentacji przepływowych w bioreaktorach może być narzędziem wpływającym na podnoszenie efektywności procesu metanogenezy, w celu wytwarzania dobrej jakości biogazu, zgodnie z zasadami gospodarki cyrkularnej.

Dyskusja

Dyskusja podzielona jest na podrozdziały: „Biodegradacja w eksperymentach fermentacyjnych”, „Zmiany składu izotopowego wsadów fermentacyjnych mieszanych”, „Zmiany składu izotopowego biogazu”, „Ścieżki metanogenezy”. Dyskusja wyników z przeprowadzonych badań własnych jest poprawnie i wyczerpująco opisana na tle wyników z literatury światowej w tym zakresie. Dane z literatury światowej są odpowiednio cytowane i

obejmują najnowsze trendy w badaniach biogazu otrzymanego na drodze metanogenezy. Dyskutowane wyniki własne i cytowane dane z literatury światowej odnoszą się również do składu izotopów węgla i wodoru we wsadzie i w produktach.

Doktorantka poprawnie interpretuje wyniki badań własnych w odniesieniu do wyników cytowanej literatury, co świadczy o Jej dużej wiedzy, dojrzałości naukowej i dobrze opanowanym warsztacie badawczym. Doktorantka posiada wszechstronną wiedzę teoretyczną i praktyczną, dotyczącą istotnych problemów związanych z metanogenezą odpadów przemysłu rolno-spożywczego, które mogą być źródłem cennego, wysokiej jakości biogazu wykorzystywanego jako źródło energii odnawialnej.

Wnioski

Zaprezentowane wnioski są bardzo dobrze sformułowane i mają uzasadnienie w odniesieniu do przeprowadzonych badań i tytułu rozprawy. Wynika to z poprawnie przyjętej metody statystycznego opracowania wyników. Wykazano, że biosurowce wykorzystane do badań prezentują zróżnicowany skład chemiczny i izotopowy, który ma bezpośredni wpływ na proces fermentacji metanowej oraz na jakość i ilość generowanych produktów poprocesowych. Łącznie wykonano 47 procesów fermentacji metanowej. Biodegradacja w procesie beztlenowej dekompozycji jest złożona i ściśle zależna od parametrów startowych wsadu fermentacyjnego, szczególnie w zakresie stosunku C:N i składu molekularnego użytych biosurowców. Wykazano wpływ składu izotopowego biosurowca wykorzystywanego do fermentacji metanowej na skład izotopowy otrzymywanych produktów gazowych. Za pomocą obserwacji zmian składu izotopowego produkowanego biogazu, możliwe jest określenie czasu wyczerpania źródła węgla w biosurowcu.

ZA WYRÓŻNIAJĄCE OSIĄGNIĘCIA PRACY UWAŻAM:

- Zastosowanie obróbki enzymatycznej wsadu fermentacyjnego, która wpływa na zmiany składu izotopowego produktów gazowych, co jest pomocne podczas optymalizowania przemysłowego procesu metanogenezy.
- Zastosowanie wyższej temperatury inkubacji wsadu fermentacyjnego, która wpływa na końcowy skład izotopowy produktów beztlenowej biodegradacji i na efektywność procesu fermentacji metanowej.
- We wszystkich eksperymentach fermentacyjnych wykonanych w przedłożonej pracy, udowodniono występowanie acetoklastycznej ścieżki metanogenezy.
- Wykazano, że znajomość wpływu biosurowca na skład izotopowy biogazu i znajomość ścieżki metanogenezy, która może służyć jako narzędzie do sterowania procesem fermentacji metanowej w drodze pozyskiwania biogazu wysokiej jakości.
- Uzyskane wyniki prac laboratoryjnych umożliwiły poznanie tła izotopowego fermentacji metanowej różnych wsadów fermentacyjnych i tempa biodegradacji surowców rolno-spożywczych, co daje ważny wkład do zwiększenia efektywności procesów przemysłowych oraz wyjaśnia zjawiska biogeochemiczne rozkładu materii organicznej w pedosferze.

Uwagi i zagadnienia szczegółowe do wyjaśnienia:

- **Brak w rozprawie Rozdziału Hipotezy i cele pracy.** Cele opisano w Rozdziale „Dyskusja”.
- W większości tekstu pracy, nazwiska Autorów cytowanych pozycji literatury są niewłaściwie zamieszczone. W cytowaniach publikacji zamieszcza się nazwiska dwóch autorów lub nazwisko pierwszego autora, bez inicjałów imienia lub imion. W tekście pracy, pozostali Autorzy cytowanych publikacji są niepoprawnie opisani. W pracach w j. polskim pozostałych Autorów cytuje się „i in.”, a w j. angielskim „et al.”.
- W pracy są drobne uchybienia redakcyjne (literówki, brak spacji), ale nie mają one istotnego wpływu na wysoką wartość merytoryczną pracy: na str. 35 na Ryc. 11, brak jest opisu osi Y.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Podsumowując przedstawioną mi do oceny rozprawę doktorską Pani mgr. Dominiki Kufki oceniam bardzo wysoko. Stwierdzam, że Doktorantka zrealizowała wszystkie postawione cele naukowo-badawcze. Dokładnie opanowała literaturę związaną z tematem badawczym, samodzielnie i właściwie dobrała odpowiednią literaturę.

Doktorantka zgromadziła i opracowała bardzo wiele cennych wyników badań i poprawnie napisała rozprawę doktorską. Praca posiada wyjątkowe i bardzo wartościowe walory poznawcze i aplikacyjne. Wyniki pracy doktorskiej są bardzo cenne dla praktyki, poprzez ich zastosowanie w procesie metanogenezy i otrzymywania wysokiej jakości biogazu w Polsce.

Bardzo wysoko oceniam Doktorantkę za ogromny zakres pomiarów w ramach przeprowadzonych eksperymentów, obejmujących ocenę wielu różnych parametrów procesu metanogenezy. Na szczególną uwagę zasługują dobrze opanowany warsztat badawczy przez Doktorantkę i liczne analizy prób biosurowców, wykonane z zastosowaniem najnowszej aparatury. Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorantka posiada bardzo wysoki poziom wiedzy teoretycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Praca jest starannie i wnikliwie napisana. Doktorantka zastosowała szereg testów statystycznych (analizy regresji), które przeprowadzono w programie Excel 2007 i Grapher 7. Doktorantka zastosowała w praktyce koncepcję analiz izotopów węgla i wodoru w metanogenezie i poprawnie przeprowadziła doświadczenia laboratoryjne. Zastosowanie obróbki enzymatycznej wsadu fermentacyjnego wpływa na zmiany składu izotopowego produktów gazowych. Znajomość tych parametrów jest pomocna w optymalizacji przemysłowego procesu metanogenezy. Wykorzystanie w eksperymentach laboratoryjnych odpadów przemysłu rolno-spożywczego ma duże znaczenie praktyczne, z możliwością zastosowania w biogazowniach.

Bardzo wysoko oceniam pracę doktorską Pani mgr. Dominiki Kufki, którą wyróżnia zastosowanie innowacyjnych metod badawczych (określenie w próbkach izotopów węgla i wodoru). Wdrożenie do praktyki metod fermentacji metanowej odpadów z zastosowaniem analizy izotopowej węgla i wodoru ma duże znaczenie w gospodarce obiegu zamkniętego.

W mojej ocenie przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr. Dominiki Kufki pt. „Fermentacja metanowa wybranych odpadów rolno-spożywczych w świetle analiz izotopowych węgla i wodoru” spełnia wszelkie wymagania stawiane tego typu pracom i dlatego wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony zrecenzowanej pracy doktorskiej.

Prof. dr hab. Lidia Sas-Paszt

Lidia Sas-Paszt

INSTYTUT OGRODNICTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
Zakład Mikrobiologii i Ryzosfery
Kierownik Zakładu Mikrobiologii i Ryzosfery
Prof. dr hab. Lidia Sas-Paszt