

Poznań, dn.30 stycznia 2015 r.

Dr hab. inż. Jacek Dach, prof. nadzw.  
Zakład Inżynierii Systemów Energetycznych  
Instytut Inżynierii Biosystemów  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

## **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Kajetana Kościka**

**pt. „Wpływ terminu zbioru kukurydzy i sorga w warunkach zróżnicowanej uprawy na efektywność produkcji biogazu w procesie fermentacji metanowej”, wykonanej**

**na Wydziale Biogospodarki**

**Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie**

**pod kierunkiem promotora, dr. hab. Romana Prażaka**

**oraz dr inż. Aliny Kowalczyk-Juśko – promotora pomocniczego**

### **OCENA FORMALNA**

Recenzję rozprawy doktorskiej wykonałem na zlecenie Dziekana Wydziału Biogospodarki Panią prof. dra hab. Danutę Borkowską, które to zlecenie było konsekwencją wybrania mnie na recenzenta przez Radę Wydziału. Promotorem pracy jest pan dr hab. Roman Prażak, a promotorem pomocniczym dr inż. Alina Kowalczyk-Juśko.

Przedstawiona do recenzji praca porusza bardzo ważny gospodarczo problem rozwoju i funkcjonowania sektora biogazowego, jakim jest zwiększenie efektywności produkcji roślinnej w kontekście zastosowania uzyskanej biomasy do procesu fermentacji metanowej. Należy bowiem podkreślić, że choć wciąż oficjalnie obowiązuje uchwalony w 2010 roku rządowy program budowy ponad 2000 biogazowni rolniczych w Polsce, to jednak sektor biogazowy boryka się z ogromnymi problemami, podobnie jak cała branża OZE. Z uwagi na bardzo dużą różnicę pomiędzy poziomem wsparcia dla wytwarzanej przez biogazownie energii w Niemczech i w Polsce, nie da się bezpośrednio importować do naszego kraju rozwiązań niemieckich w zakresie produkcji biogazu, bowiem może być to prosta droga do bankructwa. Stąd tak ważne jest poszukiwanie sposobów obniżenia kosztów pozyskania substratu roślinnego oraz zwiększenia wydajności biomasowej uprawianych

roślin oraz podwyższenia ich efektywności biogazowej. Oceniana praca doskonale wpisuje się w ten trend, stąd bardzo pozytywnie oceniam fakt podjęcia i realizacji takich badań. Jest na nie bowiem bardzo duże zapotrzebowanie ze strony branży biogazowej.

Należy bowiem podkreślić, że choć w obecnej chwili działa w Polsce jedynie nieco ponad 50 biogazowni rolniczych, to jednak na różnych etapach realizowane jest ponad 550 inwestycji, a potencjał rynku szacowany jest na kilka tysięcy średnich i dużych biogazowni oraz nawet kilkanaście tysięcy małych instalacji. Polska ma ogromny potencjał rozwoju biogazowni gdyż posiada nieco większy areał gruntów rolnych niż Niemcy, tymczasem w Niemczech działa aktualnie ponad 9 tys. biogazowni rolniczych.

Przedstawiona mi do oceny praca podzielona jest na 4 główne rozdziały (związane z przeglądem piśmiennictwa oraz badaniami), a także 3 dodatkowe (spis literatury, tabel oraz rysunków i fotografii). Układ pracy uważam więc za właściwy. W pracy na 79. stronach zamieszczono 33 tabele oraz 19 rysunków i fotografii, a także wykorzystano cytowania ze 117. pozycji literaturowych (w tym 49 obcojęzycznych) co sprawia, że oceniana dysertacja w solidny sposób nawiązuje do wyników zarówno krajowych jak i zagranicznych.

## **OCENA PRACY**

**Tytuł pracy** odpowiada tematowi badań oraz zakresowi realizowanych prac.

**Wstęp** pracy jest swego rodzaju wprowadzeniem do właściwej tematyki, którą Doktorant rozwinął w **Przeglądzie Piśmiennictwa**. Rozdział ten zawiera szeroki opis warunków powstawania biogazu, parametrów wpływających na proces fermentacji, charakterystykę składu wytwarzanego biogazu jak i możliwości jego zastosowania. Autor opisuje także szeroko możliwości wykorzystania różnych substratów do produkcji biogazu, włączając w ten rozdział również wartościowe informacje na temat uprawy kukurydzy i sorga. Następnie płynnie przechodzi do kolejnego rozdziału jakim jest **Cel, Metodyka i Warunki Doświadczenia**. W Celu badań Pan mgr inż. Kajetan Kościk określił cel realizowanej przez siebie pracy jako: *„ocena efektów uprawy kukurydzy i sorga w siewie czystym i współrzędnym oraz wpływ terminu zbioru biomasy na cechy biometryczne roślin, plonowanie i przydatność biomasy do wykorzystania w procesie fermentacji metanowej”*. Co najważniejsze dla oceny pracy – określił także **problem naukowy**, który sformułował w postaci pytania: *„czy wspólna uprawa kukurydzy i sorga oraz wydłużenie terminu zbioru*

wpływa korzystnie na potencjał produkcji metanu z uprawianych roślin – zarówno w przeliczeniu na masę jak i na jednostkę powierzchni upraw?”. Następnie w rozdziale **Hipotezy badawcze** Doktorant sformułował 4 hipotezy badawcze, które podjął się zweryfikować w toku dalszych badań.

W dalszej części pracy Doktorant opisuje metodologię prowadzenia badań, w tym warunki glebowe i meteorologiczne podczas doświadczeń oraz metodykę badań polowych. Doświadczenie polowe prowadził w układzie podbloków losowanych (split-plot), na poletkach o powierzchni 26 m<sup>2</sup>, a czynnikami zmiennymi w doświadczeniu był sposób uprawy oraz termin zbioru. 3-letnie doświadczenie traktowano jako powtórzenia. Stwierdzam, że doświadczenia zaplanowane były we właściwy sposób. *Mam za to pytanie dla Doktoranta odnośnie zakiszania próbek roślin w słojach: czy poza zagęszczaniem mechanicznym dodawano jakiś gaz (np. techniczny dwutlenek węgla) aby wypchnąć powietrze z wnętrza, czy słoje były przechowywane w ciemności i jak długo trwał okres pomiędzy rozpoczęciem zakiszania a wykonaniem analiz biogazowych?*

W metodyce badań laboratoryjnych opisano procedury analityczne próbek biomasy roślinnej oraz sposób prowadzenia pomiarów wydajności biogazowej, który oparto na standardowej procedurze DIN 38414/S8. Właściwe zastosowanie takiej procedury daje gwarancję uzyskania dobrych wyników badań, a w konsekwencji znacznie zwiększa szanse na ich opublikowanie w wysoko punktowanych czasopismach naukowych o zasięgu światowym.

*W metodyce stwierdziłem jednak pewne nieścisłości – stąd moje pytanie do Doktoranta: jak konkretnie (w jakich warunkach - temperatura i czas) dokonywano analizy zawartości materii organicznej (metoda wagowa nic mi nie mówi) oraz proszę o wyjaśnienie pewnej nieścisłości: najpierw podany jest sposób pomiaru składu biogazu metodą chromatograficzną (str. 25), a następnie na stronie 26. Doktorant podaje, że „Raz na dzień, sprawdzano skład powstałego biogazu przy pomocy automatycznego analizatora GasData”. Proszę więc o sprecyzowanie jaką techniką był mierzony skład biogazu.*

Ponadto uważam, że Tabela 2.7. Warunki fermentacji metanowej powinna zostać umieszczona raczej w rozdziale z wynikami badań niż w metodyce. Na koniec rozdziału założono też, że oznaczana będzie zawartość H<sub>2</sub>S w procentach. Uważam, że nie jest to poprawne bowiem z praktyki wiadomo, że w przypadku substratów roślinnych zawartość siarkowodoru w biogazie określana jest najczęściej na poziomie 50-200 ppm, czyli

zastosowanie jednostki jaką jest procent jest tu zupełnie nieadekwatne (1 % to jest wszak 10000 ppm). *Stąd pytanie do Doktoranta – skąd wzięto akurat taką jednostkę?*

Rozdział **Wyniki i dyskusja** rozpoczyna się określeniem cech biometrycznych roślin. Pan mgr inż. Kajetan Kościk zaprezentował interesujące wyniki związane ze wzrostem badanych roślin. Sorgo osiągało większą wysokość przy jednocześnie dłuższym terminie wegetacji, co może mieć duże znaczenie praktyczne przy zmniejszeniu szczytów zapotrzebowania na maszyny do zbioru (sorgo zbierane jest później niż kukurydza na kiszonkę). Z punktu widzenia podniesienia efektywności działania biogazowni, sprawą priorytetową jest zbiór jak największej masy roślinnej z hektara powierzchni upraw przy jednoczesnej wysokiej biogazowości tejże masy. W swych badaniach pan mgr Kościk podaje, że najwyższy plon świeżej masy uzyskano dla sorga ( $79,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) i potwierdza uzyskanie podobnych wyników również w badaniach innych autorów. Wynik ten jest jednak nieco mylący gdyż z punktu widzenia efektywności fermentacji metanowej bardziej właściwe jest określenia plonu roślin w suchej masie. Doktorant podaje te wyniki w rozdziale 3.2.4. i okazuje się, że to jednak kukurydza plonowała lepiej niż sorgo. Bardzo cenne dla interpretacji uzyskanych wyników jest porównanie dokonane przez Doktoranta z rezultatami innych badań. Wynika z nich (choć nie do końca jednoznacznie), że w większości cytowanych prac plon kukurydzy dominował nad plonem sorga. Potwierdza to więc wyniki uzyskane w ramach niniejszej pracy. W rozdziale **3.3. Wydajność biogazu z kiszonek** Doktorant podaje najpierw wyniki badań parametrów uzyskanych kiszonek. Posiadały one typową zawartość suchej masy, suchej masy organicznej i pH, co świadczy o poprawnym procesie zakiszania.

Uzyskane wyniki wydajności fermentacyjnej wykazują przewagę w ilości produkowanego biogazu z kiszonki z kukurydzy w stosunku do sorga. Potwierdziła się też ważność parametru jakim jest sucha masa plonu bowiem spośród zielonek zbieranych w trzech terminach ilość uzyskiwanego biogazu rosła wraz z późniejszym zbiorem. Jest to cenna informacja praktyczna, którą należałoby rozpropagować w publikacjach naukowych oraz (zwłaszcza) popularno-naukowych, skierowanych dla praktyków.

Z kolei bardzo ciekawe wyniki uzyskał Doktorant analizując wydajność biogazu w przeliczeniu na jednostkę suchej masy. Okazało się bowiem, że wystąpił tu efekt synergii tzn. najwyższą wydajność biogazową uzyskano z mieszanki obu roślin (kiszonka z kukurydzy i sorga). Jest to bardzo ciekawa informacja, również godna szerokiego rozpowszechniania.

Dalej Autor przedstawia zestawienie wydajności biogazu w przeliczeniu na jednostkę powierzchni, zestawiając uzyskane wyniki na rysunku 3.10. Widać na nim, że produktywność uzyskana z mieszanki sorga i kukurydzy była w 2. latach badań najlepsza, lecz tuż za nią plasowała się kiszonka z kukurydzy. Tymczasem z punktu widzenia zarządcy biogazowni produktywność biogazu nie jest tak istotna jak produkcja metanu w procesie fermentacji – bowiem to metan jest paliwem, a pozostałe gazy to tzw. balast. Takie zestawienie dotyczące produktywności metanu z badanych kiszonek roślin Doktorant zestawił na rysunku 3.13., gdzie wyraźnie zaznaczona jest dominacja kiszonek z mieszanek sorga i kukurydzy nad kiszonkami uzyskanymi pojedynczo z kukurydzy lub sorga. Te wyniki uważam za jedne z najbardziej cennych w pracy i chcę podkreślić konieczność ich szerokiego rozpowszechnienia wśród rolników oraz specjalistów z branży biogazowej.

*Odnosnie rozdziału dotyczącego badań biogazowych mam jednak kilka wątpliwości i pytań skierowanych do Doktoranta. Ponownie stawiam pytanie odnośnie sposobu, jakim mierzony był siarkowodór (w metodyce określono dwa sposoby pomiaru: miernikiem i chromatografem). Podane bowiem na rysunku „3.11. Skład biogazu w różnych systemach uprawy” dane dotyczące zawartości siarkowodoru na poziomie 1% (czyli 10000 ppm) jest absolutnie niemożliwy do uzyskania w przypadku fermentacji metanowej roślin uprawnych typu kukurydza czy sorgo. Może on natomiast wynikać z małej dokładności miernika. Mam też pytanie – z czego może wynikać tak duży udział pozostałych gazów (powyżej 10%) w sytuacji, gdy z reguły jest on na poziomie jednocyfrowym.*

Pracę kończą **Wnioski**, gdzie Doktorant w 17. punktach podsumował zrealizowaną przed siebie pracę, zweryfikował hipotezy badawcze oraz rozwiązał postawiony w celu pracy problem naukowy. Z uwag krytycznych na końcu należy wspomnieć o pewnych błędach literowych czy interpunkcyjnych, czy też nieścisłych danych w tabeli 1.1. (przy 75% zawartości metanu suma gazów wynosi ponad 102%), na które to błędy zdarzało mi się natrafić w trakcie lektury rozprawy doktorskiej. Błędy te jednak nie miały żadnego wpływu na ogólnie wysoką, pozytywną ocenę pracy.

## **WNIOSKI KOŃCOWE**

Przedstawiona do recenzji praca podejmuje ważny problem związany z efektywnością pozyskiwania substratów roślinnych dla biogazowni rolniczych na przykładzie

najpowszechniej stosowanej w Europie kukurydzy oraz mniej popularnego sorga. Stwierdzam wysoki poziom przeprowadzonych badań wg właściwej metodyki, uzupełnionych rozbudowaną analizą statystyczną. Sugeruję publikacje uzyskanych wyników w renomowanych czasopismach z zakresu rolnictwa oraz energetyki odnawialnej.

Chciałbym też podkreślić bardzo duże aspekty praktyczne. Stąd ponownie podkreślam, że poza publikacjami naukowymi - uzyskane wyniki powinny zostać rozpowszechnione w prasie branżowej z zakresu bioenergetyki, agronomii i techniki rolniczej.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska przedłożona przez mgra inż. Kajetana Kościka spełnia wymagania wynikające z ustawy z dnia 18 marca 2011 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. Nr 84, poz. 455). Niewielkie niedociągnięcia czy błędy popełnione przez Doktoranta w żaden znaczący sposób nie pomniejszają wartości przedłożonej mi do recenzji pracy. Na tej podstawie kieruję wniosek do Rady Wydziału Biogospodarki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie o dopuszczenie mgra inż. Kajetana Kościka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

*Jack Doda*