

Zamość, dnia 30.06.2015 r.

Prof. dr hab. Bogdan Kościak
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Wydział Biogospodarki w Zamościu
ul. Szczepkowska 102
22-400 Zamość

Recenzja

pracy doktorskiej **mgr inż. Aleksandry Weroniki KRÓL**

pt.

„Ocena potencjału traw i roślinności łąkowej jako substratów do produkcji biogazu”

przygotowanej pod kierunkiem prof. dr hab. Jerzego Tysa w Zakładzie Fizycznych Właściwości Materiałów Roślinnych Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego w Lublinie.

Podstawą wykonania recenzji jest pismo Dyrektora Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie Nr RN-0001-2/15 z dnia 30 kwietnia 2015 roku.

Ogólna charakterystyka i ocena strony formalnej pracy

Praca liczy 181 stron i składa się z 9 rozdziałów podzielonych na podrozdziały. Są to: *Wstęp* (2 strony); *Przegląd literatury* (21 stron); *Cel i zakres pracy* (1 strona); *Materiał i metody* (20 stron); *Wyniki badań* (45 stron); *Podsumowanie* (4 strony); *Wnioski* (2 strony); *Literatura* (33 strony) oraz *Dokumentacja* (49 stron). W pracy zamieszczonych jest 15 tabel i 50 rysunków.

Wstęp zawiera ogólne informacje o biogazie a także źródłach energii z których ludzkość korzysta i może korzystać w przyszłości. W rozdziale 2 pt. „*Przegląd literatury*” Autorka dokonała przeglądu światowej literatury z zakresu odnawialnych źródeł energii, produkcji biogazu i pozyskania surowca do jego wytwarzania ze szczególnym uwzględnieniem traw.



Duży nacisk położony został na biogazownie rolnicze. Produkcja biogazu scharakteryzowana została zarówno pod względem właściwości substratów jak i stosowanych technologii ich przetwarzania. Autorka wskazuje też na znaczenie ekologiczne łąk.

Rozdziały od 3 do 7 dotyczą badań własnych i obejmują cel, metodykę, omówienie wyników oraz podsumowanie i wnioski. Uzyskane z własnych badań wyniki dotyczące biomasy łąkowej i miskantów Doktorantka przedstawiła na tle danych literaturowych i zamieściła w jednym z najobszerniejszych rozdziałów pt. „*Wyniki badań*”. Rozdział „*Podsumowanie*” jest dalszym ciągiem dyskusji wyników.

Autorka przygotowując pracę przestudiowała 339 pozycji literatury polsko i obcojęzycznej. Powoływała się też na branżowe portale internetowe. Źródła są trafnie dobrane. Świadczy to o dobrej znajomości tematyki badawczej.

Bardzo dużo danych zamieszczonych jest w rozdziale 9 pt. „*Dokumentacja*”. Jest to praktycznie aneks z wynikami badań własnych. Przyjmując takie założenie, tabela nr 11 powinna znaleźć się w rozdziale 2 „*Przegląd literatury*”.

Ocena doboru tematu, określenie celów oraz sformułowanie hipotez badawczych

W Polsce oficjalnie obowiązuje uchwalony w 2010 roku rządowy program budowy ponad 2000 biogazowni rolniczych. Jednak ten sektor boryka się z ogromnymi problemami, podobnie jak cała branża OZE. Stąd tak ważne jest poszukiwanie nowych źródeł biomasy, sposobów obniżenia kosztów pozyskania substratu roślinnego, zwiększenia wydajności uprawianych roślin oraz podwyższenia ich efektywności biogazowej. Oceniana praca doskonale wpisuje się w ten trend. Dlatego też bardzo pozytywnie oceniam fakt podjęcia i realizacji takich badań. Jest na nie bowiem bardzo duże zapotrzebowanie ze strony branży biogazowej. Należy 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.

Autorka wskazuje, w oparciu o literaturę, że jednym ze źródeł energii w Polsce może być biomasa traw zarówno celowo uprawianych na polach, jak i pozyskiwana z łąk. Tym samym jest to dalsze uszczegółowienie uzasadnienia wyboru tematu badawczego. Godny podkreślenia jest fakt, że Doktorantka przeanalizowała wykorzystanie traw do produkcji energii w świetle najnowszych zasad Wspólnej Polityki Rolnej, która zakłada uwzględnianie aspektów środowiskowych w produkcji rolniczej. Powyższe zasady znalazły swoje odzwierciedlenie w Strategii Rozwoju Województwa Lubelskiego, Regionalnej Strategii Innowacji Województwa Lubelskiego oraz Planie działań na Obszarach Strategicznej Interwencji.

Praca jest więc odpowiedzią na wyzwania postawione w powyższych dokumentach przez Zarząd Województwa Lubelskiego, który planuje podjąć działania mające na celu złagodzenie negatywnych skutków źle przeprowadzonej inwestycji przed kilkudziesięciu laty.

Celem pracy było określenie potencjału energetycznego 3 wieloletnich gatunków traw z rodzaju *Miscanthus* i wybranych zbiorowisk roślinności łąkowej rejonu kanału Wieprz-Krzna do produkcji biogazu.

Zakres prac obejmował następujące problemy badawcze:

- określenie składu gatunkowego 9 wybranych stanowisk roślinnych;
- określenie plonowania poszczególnych zbiorowisk łąkowo-szuwarowych;
- ocena jakości biomasy łąkowej oraz 3 wybranych gatunków traw wieloletnich z rodzaju *Miscanthus* pod kątem przydatności do zakiszania;
- określenie właściwości fizykochemicznych kiszzonek uzyskanych z biomasy łąkowej i z 3 gatunków traw należących do rodzaju *Miscanthus*;
- określenie potencjału produkcyjnego biogazu poszczególnych kiszzonek;

- porównanie przydatności poszczególnych kiszzonek do produkcji dobrej jakości biogazu o wysokiej zawartości metanu.

W oparciu o przedstawiony cel pracy sformułowano następujące tezy rozprawy:

1. Potencjał energetyczny traw wieloletnich z rodzaju *Miscanthus* wykazuje różnice w porównaniu do roślinności łąkowej z użytków ekstensywnych,
2. Analiza fizyko-chemiczna substratów umożliwia właściwą ocenę oraz porównanie potencjału wybranych zbiorowisk łąkowych i traw energetycznych pod kątem ich przydatności do produkcji biogazu,
3. Ekstensywnie użytkowane zbiorowiska kanału Wieprz-Krzna wykazują wysoką przydatność do produkcji biogazu oraz wysoką wydajność produkcji metanu, na poziomie porównywalnym z gatunkami uprawianymi na cele energetyczne. Z tego względu rośliny te mogą stanowić lokalnie dostępny surowiec do produkcji energii odnawialnej.

Cel pracy został określony jasno a tezy badawcze zostały sformułowane poprawnie. Szeroki zakres prac spowodował, że Doktorantka podjęła wiele problemów badawczych począwszy od składu gatunkowego i plonowania poszczególnych łąk a skończywszy na produkcji biogazu.

Ocena metod i zastosowanych narzędzi badawczych

Materiałem badawczym była biomasa 3 wieloletnich gatunków traw (miskant olbrzymi, miskant cukrowy oraz miskant chiński) uprawianych w województwie zachodniopomorskim, a także roślinności łąkowej z rejonu kanału Wieprz–Krzna.

Próbki z łąk pobierane były z 9 stanowisk badawczych zlokalizowanych na użytkach rolnych Stacji Dydaktyczno-Badawczej w Sosnowicy oraz w okolicy miasta Łęczna. Zbiór przeprowadzony został w 2012 roku. W większości obiektów (7) był to zbiór jednorazowy w fazie wegetacyjnej najbardziej odpowiedniej do zakiszania zielonki (lipiec). Jedyne łąka mozgowo-wyczyńcowa koszona była dwukrotnie.

Badania składu gatunkowego zbiorowisk roślinnych przeprowadzono metodą Braun-Blanqueta. Podstawą tej analizy były zdjęcia fitosocjologiczne. Umożliwiły one wydzielenie jednostek syntaksonomicznych i zakwalifikowanie poszczególnych stanowisk badawczych do systemu fitosocjologicznego. Ponadto oszacowana została wartość użytkowa (LWU) analizowanych zbiorowisk uwzględniająca trawy dobrej i gorszej wartości, motylkowate, turzyce i sity oraz zioła i chwasty.

Plon zielonej masy z 1 ha ustalono na podstawie masy runi łąkowej zebranej z powierzchni 25 m². Z pozyskanej biomasy pobrane zostały reprezentatywne próby roślinności w 4 powtórzeniach, które były suszone w temperaturze 105⁰C w celu określenia plonu suchej masy.

Zielona masa roślin została rozdrobniona za pomocą siewkarni ręcznej. Materiał zakiszono w plastikowych, gazoszczelnych beczkach o pojemności 30 litrów. Beczki przechowywane były w ciemnym pomieszczeniu w temperaturze 18-21⁰C przez okres 16 tygodni. Z każdej beczki pobrano 6 prób. Dwukilogramowe próby pochodziły z różnej głębokości. Tak pobraną kiszonkę dokładnie wymieszano i poddano analizom jakościowym mającym na celu ocenę jej przydatności do produkcji biogazu. Były to oceny organoleptyczne oraz bazujące na składzie chemicznym i właściwościach fizycznych. Łącznie wykonano ich 17.

Badania i analizy wykonane zostały zgodnie z powszechnie przyjętą metodologią i obowiązującymi normami.

Fermentację prowadzono przez okres 55 dni w Laboratorium Fermentacji Metanowej Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie. Badania przeprowadzone były w 3 fermentorach Biostat B Plus firmy Sortorius o pojemności 2 dm³. Fermentowano w nich biomasę z 12 obiektów nazwanych przez Autorkę: miskant olbrzymi, miskant cukrowy, miskant chiński, turzyca zastrzona, manna wodna, mozga trzcinowata, trzcina, łąka śmiałkowa, łąka pobagienna, łąka pokrzywowo-mozgowa, łąka mozgowo-wyczyńcowa (I pokos), łąka mozgowo-wyczyńcowa (II pokos).

W metodyce badań jest informacja, że proces fermentacji powinno się prowadzić do czasu, gdy dzienna produkcja biogazu stanowi mniej niż 1% dotychczasowego, całkowitego uzysku. Takie podejście jest powszechnie stosowane w doświadczałnictwie. W tej sytuacji wyjaśnienia wymaga fakt podawania wyników pomiarów zawsze w ciągu 55 dni, niezależnie od intensywności procesu fermentacji.

Fermentacja prowadzona była w trzech powtórzeniach lecz w tabelach i na wykresach zamieszczono tylko wartości średnie. Łącznie przeprowadzono 36 oddzielnych procesów fermentacji metanowej. Fermentacja mezofilna została przeprowadzona zgodnie z normą DIN 38414-S8. Zachowane zostały odpowiednie parametry fermentowanej masy i samego procesu fermentacji

Ocena układu, wartości naukowej i oryginalności rozprawy

Strukturę pracy oceniam pozytywnie. Ma ona logiczny układ z zachowaniem proporcji pomiędzy rozdziałami.

Wartość naukowa pracy wynika z zawartości merytorycznej tych rozdziałów, które są bezpośrednio związane z realizacją celu pracy oraz weryfikacją postawionych hipotez. Należy podkreślić, że cel został zrealizowany a hipotezy zweryfikowane.

Za znaczące osiągnięcie Doktorantki należy uznać:

1. Przedstawienie w sposób uporządkowany stanu wiedzy z zakresu produkcji energii z biomasy poprzez jej fermentację metanową,
2. Zinwentaryzowanie gatunków roślin występujących w wybranych zbiorowiskach na łąkach w rejonie kanału Wieprz-Krzna, a także ocena ich wartości użytkowej zarówno energetycznej jak i pastewnej. Uzyskane wyniki mogą być przydatne przy wypracowywaniu nowej koncepcji zagospodarowania łąk w tym rejonie,

3. Kompleksowe przeanalizowanie wszystkich elementów mających wpływ na produkcję metanu, a w tym plonu biomasy, jakości i składu chemicznego kiszzonek oraz uzysku biogazu i zawartości w nim metanu. Uzyskane wyniki umożliwiły wyciągnięcie wniosku, że biomasa roślinności łąkowej z rejonu kanału Wieprz–Krzna jest odpowiednim substratem do produkcji biogazu i ma podobną wydajność do traw z rodzaju *Miscanthus*. Kiszzonka wytwarzana z biomasy II pokosu łąki mozgowo-wyczyńcowej charakteryzowała się najwyższą wydajnością biogazu z jednostki suchej masy organicznej. Autorka sugeruje, że zwiększenie liczby pokosów do 2 a nawet 3 byłoby korzystne. Zaobserwowała jednak niestabilną fermentację i niską wydajność metanu z mozgi trzcinowatej i biomasy z łąki pobagiennej. Uważa, że przyczyną takiego zjawiska mogła być duża zawartość włókna surowego w kiszonce.

Podsumowując ocenę merytoryczną stwierdzam, że Doktorantka przedstawiła konkretną i kompleksową koncepcję badawczą bardzo przydatną dla polskiej gospodarki a szczególnie województwie lubelskim. Wykazała, na bazie konkretnych wyników, że ruń łąkową z użytkowanych bądź też nieużytkowanych łąk z rejonu kanału Wieprz–Krzna można wykorzystać do produkcji energii. Wskazała na pewne ograniczenia takiej produkcji związane głównie ze składem chemicznym biomasy.

Myślę, że właśnie ten szeroki zakres badań spowodował, że Doktorantka nie ustrzegła się błędów i pomyłek, a głównie niedomówień, które należy wyjaśnić. Umożliwi to pełną analizę uzyskanych wyników. Generalnie praca nie jest przejrzysta, co jest dużym utrudnieniem dla czytelnika. Właśnie to chaotyczne ujęcie problemu jest jedną z przyczyn konieczności przedyskutowania kilku niżej wymienionych kwestii.

W podrozdziale 5.5 pt. „*Wyniki fermentacji metanowej*” Autorka przedstawiła szereg wyników dobowych zmian uzysku biogazu. Są to głównie stwierdzenia i niewiele jest prób interpretacji zaobserwowanych zjawisk. Przykładem mogą być dobowe i całkowite uzyski

biogazu z kiszonek z łąki mozgowo-wyczyńcowej pierwszego i drugiego pokosu (tab. 21, 22, 23 i rys. 49, 50).

W metodyce Doktorantka nie wspomina o obliczeniach statystycznych a na rysunkach np. 9 czy 10 są podane odchylenia standardowe. Równocześnie we wniosku 4 używa słowa „istotnie” – choć omawiane cechy nie były analizowane statystycznie.

Autorka dokładnie opisuje miejsca i terminy pobierania próbek z łąk z rejonu kanału Wieprz–Krzna. Za mało jest natomiast informacji o uprawie miskantów np. w którym roku i na jakiej glebie została założona plantacja.

Autorka na rys. 7 podaje zawartość popiołu w kiszonkach. Można się domyślać (bowiem brak jest wyraźnej informacji), że jest to procentowa zawartość. Natomiast w opisie posługuje się dwoma wskaźnikami : % i $g \cdot kg^{-1}$ s.m. przez co ten opis staje się mało czytelny i budzi poważne wątpliwości. Myślę, że należałoby korzystać tylko z jednego wskaźnika lub bardzo precyzyjnie i czytelnie stosować jeden i drugi. Doktorantka omawiając wyniki badań zamieszczone w tabelkach posługiwała się dwoma wskaźnikami. Niestety analiza składu chemicznego (np. zawartość popiołu, suchej masy organicznej) wykazała, że tylko dane wyrażone w procentach są porównywalne do danych literaturowych. Ponadto zastanawiające są duże różnice w składzie chemicznym pomiędzy obiektami, szczególnie łąkowymi.

W metodyce podano, że codziennie za pomocą urządzenia GFM410 firmy GAS Data Ltd prowadzono pomiary CH_4 , CO_2 i O_2 . W pracy zamieszczone zostały tylko wyniki dotyczące metanu. Nasuwa się jednak pytanie czemu brak jest wyników odczytu zawartości pozostałych składników biogazu.

Czym należy wytłumaczyć aż tak dużą różnicę w uzysku biogazu i metanu pomiędzy mozgą trzcinowatą a biomasą z łąki mozgowo-wyczyńcowej (II pokos). Czy jest to wynikiem składu botanicznego runi czy też terminu zbioru, a może jednego i drugiego czynnika.

Wnioski nie są do końca precyzyjne (5, 7) i wypracowane nie zawsze w oparciu o wyniki badań własnych (3, 10). Przykładowo wniosek 5 nie określa w jaki sposób makro- i mikroelementy wpływały na ilość uzyskanego metanu. Ewidentny błąd (myślę, że redakcyjny) jest we wniosku 7 (powinno być miskant cukrowy, a nie chiński).

Szczegółowe uwagi dotyczące strony formalnej i edytorskiej

Praca generalnie spełnia wymogi formalne. Niemniej jednak zdarzają się zarówno błędy językowe jak i edytorskie. Przykładowo dość często występują tzw. literówki głównie w nazwach gatunków, a w tym duże i małe litery np. strona 32 i 51, tabela 10. Zdarza się też błędna pisownia np. „z pośród”, „Brownna Blanqueta”, czy też używanie niewłaściwie dobranych słów np. „zawartość” w tytule rysunków 45, 46, 47. Niektóre z tabel (np. nr 6) mają wadliwą konstrukcję, bądź też rysunki (np. 7) są mało czytelne z uwagi na brak pełnych opisów. Nie rozumiem czym Doktorantka kierowała się zamieszczając część tabel z wynikami badań np. nr 6 w rozdziale 5 („Wyniki badań”), a część np. 12 w 9 („Dokumentacja”). Są też 2 rysunki o numerze 7.

Mam uwagi do tytułów niektórych rozdziałów. Przykładowo rozdział 5 „Wyniki badań” to w rzeczywistości jest omówienie wyników, podobnie jak rozdział 6 „Podsumowanie”. Rozdział 7 powinien być zatytułowany „Stwierdzenia i wnioski”. Tytuły podrozdziałów nie zawsze odzwierciedlają treść. Przykładem może być 5.2 zatytułowany „Jakość zielonek”. Już na samym jego początku jest omawiany plon, a dopiero w następnej kolejności jakość zielonki.

Doktorantka używa niewłaściwych lub też nieprecyzyjnych określeń. Przykładowo na stronie 46 jest napisane, że „Fermentację poszczególnych **gatunków** prowadzono zgodnie ze schematem w którym wymienia obok gatunków również zbiorowiska łąkowe. Charakterystyczny jest też brak jednolitości w nazewnictwie jednostek syntaksonomicznych. Wszystko to powoduje, że czytelnik ma duże problemy z jej zrozumieniem. Dlatego przygotowując pracę do druku

należy przeanalizować moje uwagi, sprawdzić przeliczenia i zgodności danych w tabelach z opisem czytelnie je zaprezentować.

Wnioski końcowe

Przedstawioną mi do oceny pracę doktorską mgr inż. Aleksandry Weroniki Król uważam za interesującą, gdyż dostarcza wielu ciekawych wyników. Rolników i przedsiębiorców mogą zainteresować wyniki dotyczące produkcji biogazu. Natomiast dla środowiska naukowego cenne są dane dotyczące składu gatunkowego zbiorowisk łąkowych. Dokładna analiza pracy, pomimo zgłoszonych uwag i zastrzeżeń (czasem dyskusyjnych) upoważnia mnie do pozytywnej jej oceny. Dotyczy to zarówno wyboru problematyki badawczej jak i sposobu zrealizowania postawionego zadania. Opracowanie zawiera poprawnie sformułowane i zweryfikowane hipotezy badawcze oraz jasno określony cel. Zastosowane narzędzia i metody badawcze są właściwe.

Na szczególne podkreślenie zasługują następujące aspekty rozprawy:

- ambitnie zaprojektowany cel badań,
- interdyscyplinarne podejście do realizacji celu i weryfikacji postawionych hipotez,
- ogromna ilość wykonanych badań przede wszystkim laboratoryjnych,
- duże znaczenie dla gospodarki regionu podjętej w rozprawie tematyki,
- wartościowy przegląd literatury dotyczący analizowanego problemu,
- aplikacyjny charakter rozprawy.

Uwzględniając wszystkie aspekty oceny mogę stwierdzić, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Aleksandry Weroniki Król pt. „Ocena potencjału traw uprawowych i roślinności łąkowej jako substratów do produkcji biogazu” spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim określonym w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz

**o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. z 2003 nr 65 poz. 595)
z późniejszymi zmianami.**

**Wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
w Lublinie o dopuszczenie recenzowanej rozprawy do publicznej obrony.**

