

prof. dr hab. inż. Mariusz Jerzy Stolarski
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Recenzja

pracy doktorskiej Pani mgr inż. Marty Kupryś-Caruk pt. „Ocena przydatności różnych surowców pochodzenia roślinnego do produkcji biogazu”

wykonanej pod kierunkiem Pana prof. dr hab. Sławomira Podlaskiego
w Katedrze Fizjologii Roślin, Wydziału Rolnictwa i Biologii, SGGW w Warszawie

Udział energii ze źródeł odnawialnych w energii pierwotnej ogółem w Polsce w 2014 r. wyniósł 11,9%. Średnioroczne tempo wzrostu tego wskaźnika w latach 2010–2014 wynosiło 4,0%. Natomiast w strukturze pozyskania energii ze źródeł odnawialnych (OZE) wg nośników w 2015 r. zdecydowanie dominowała biomasa w postaci biopaliw stałych 72,2%. Biomasa jest również surowcem do wytwarzania biopaliw ciekłych oraz biogazu, które stanowiły odpowiednio 10,8 i 2,6% w strukturze pozyskania OZE (GUS 2016). Tak więc szeroko rozumiana biomasa (wg definicji z Ustawy o OZE) to obecnie zdecydowanie główne źródło energii odnawianej w warunkach geograficznych naszego kraju.

Do wytwarzania biogazu rolniczego wykorzystuje się kilkadziesiąt różnych rodzajów substratów pochodzenia rolniczego oraz przemysłu rolno-spożywczego. Zapotrzebowanie na te substraty dynamicznie wzrasta. Świadczą o tym ilości przetwarzanych substratów na cele biogazowe w kolejnych latach. W 2011 r. do produkcji biogazu wykorzystano ok. 696 tys. Mg surowców pochodzenia rolniczego, a w 2012 r. 918 tys. Mg. Natomiast w 2013 r. było to ponad 1,5 mln Mg, a w 2014 już ponad 2,1 mln Mg. Najwięcej wykorzystano gnojowicy ok. 574 tys. Mg oraz kiszonki z kukurydzy ok. 417 tys. Mg (Stelmachowski 2015).

Z drugiej strony należy podkreślić, że sektor wytwarzania energii z biogazu rolniczego, tak jak inne sektory OZE, przechodził okresy kryzysowe, głównie pod względem opłacalności tego rodzaju inwestycji. W związku z powyższym bardzo ważne jest poszukiwanie uzupełniających i alternatywnych substratów do wytwarzania biogazu rolniczego, które byłyby jednocześnie relatywnie tanim i stabilnym źródłem biomasy oraz mogłyby poprawić efektywność ekonomiczną wytwarzania biogazu i energii. Co ważne potencjalne alternatywne substraty dla biogazowni nie powinny stanowić bezpośredniej

konkurencji dla celów produkcji żywności i pasz oraz powinny umożliwić zagospodarowanie gruntów marginalnych. Dlatego też podjęte przez Panią mgr inż. Martę Kupryś-Caruk badania nad przydatnością różnych surowców pochodzenia roślinnego, w tym szczególnie pozostałości poprodukcyjnych oraz introdukowanych traw energetycznych, do produkcji biogazu należy uznać za wychodzące naprzeciw zapotrzebowaniu rynku, a tym samym aktualne i interesujące. W związku z tym należy stwierdzić, że przedstawiona w ocenianej rozprawie doktorskiej problematyka jest bardzo istotna ze względów badawczych oraz utylitarnych.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska ma konwencjonalny i logiczny układ. Praca obejmuje łącznie 174 strony, w tym 68 tabel, 17 rysunków i 9 fotografii. Cytowanych jest 231 pozycji piśmiennictwa, w tym ponad 50% w języku angielskim, ponadto 5 aktów prawnych i 1 zgłoszenie patentowe. Należy podkreślić, że Doktorantka jest pierwszym współautorem tego zgłoszenia patentowego. Od strony formalno metodycznej dysertacja jest poprawnie zredagowana, zawiera wszystkie rozdziały występujące w tego typu pracach.

Tytuł pracy jest generalnie właściwy i odzwierciedla jej treść, chociaż nie uwzględnia aspektu ekonomicznego wytwarzania energii, a jest to kolejny, techniczny etap, po uzyskaniu biogazu. Po krótkim, logicznym wstępie Autorka dokonała przeglądu literatury, w którym scharakteryzowała: uwarunkowania prawne OZE; biomasę jako źródło OZE; biologiczne podstawy powstawania biogazu; substraty i ich przygotowanie do wytwarzania biogazu rolniczego. Następnie szczegółowo zostały przedstawione cel i zakres pracy; materiał i metody; wyniki badań; dyskusja oraz podsumowanie i wnioski. W dalszej kolejności zamieszczono wykaz literatury; aneksy oraz spis tabel i rysunków.

Badania przedstawione w rozprawie doktorskiej realizowane były w latach 2011-2014. Składały się na nie badania polowe, badania laboratoryjne oraz analizy teoretyczne i statystyczne. Materiałem badawczym było 8 rodzajów biomasy, pozyskanej z:

- czterech gatunków traw energetycznych (miskanta olbrzymiego, spartiny preriowej, prosa różgowatego oraz palczatki Gerarda);
- dwóch gatunków roślin jednorocznych (całe rośliny kukurydzy oraz korzenie buraka cukrowego);
- dwóch rodzajów pozostałości przemysłu rolno-spożywczego (wytloki z jabłek oraz wysłodki buraka cukrowego).

Biomasę traw wieloletnich pozyskano z kolekcji roślin energetycznych Katedry Fizjologii Roślin, Wydziału Rolnictwa i Biologii, SGGW w Warszawie, prowadzonej w Stacji

2. Biomasa pozyskiwana dwa razy w sezonie wegetacyjnym łatwo się zakiszała, a uzyskane kiszonki były dobrej jakości, stabilne tlenowo i o zwiększonej zawartości kwasu octowego.
3. W przypadku konserwacji biomasy miskanta olbrzymiego, o zawartości suchej masy poniżej 30% sugeruje się dodatek mikrobiologicznych dodatków kiszonkarskich w celu poprawy jakości kiszonki.
4. Zastosowanie preparatu enzymatycznego o aktywności hemicelulolitycznej do kiszenia traw energetycznych skutkuje zwiększeniem zawartości kwasu octowego, co pozytywnie wpływa na proces powstawania biogazu.
5. Najwyższym plonem biomasy ($24,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ sm}$), uzyskiem biometanu ($7559 \text{ Nm}^3 \text{ ha}^{-1}$) i ilością energii elektrycznej (24 MWh ha^{-1}) z jednostki powierzchni charakteryzowała się uprawa miskanta olbrzymiego, a najniższym prosa różgowatego.
6. Najniższy stosunek kosztów surowca do wartości sprzedaży energii elektrycznej uzyskanej z biogazu uzyskano dla miskanta olbrzymiego.
7. Kofermentacja traw wieloletnich z kiszonkami z kukurydzy oraz pozostałościami przemysłu rolno-spożywczego umożliwiła zwiększenie biogazodochodowości w stosunku do monofermentacji traw.

Każda recenzja rozprawy naukowej winna również wskazać na kwestie dyskusyjne o charakterze polemicznym czy też krytycznym, które mają na celu zwrócenie uwagi Autorki na precyzję i ważność przygotowywania, opracowania, interpretacji i dyskusji badań naukowych na każdym etapie ich tworzenia.

1. Cała praca powinna być napisana w czasie przeszłym. Ponadto w wielu miejscach w pracy nie stosowano prawidłowych symboli i zapisu jednostek, zgodnie z aktualnie obowiązującym układem SI. Nie wszystkie pozycje literatury cytowane w tekście pracy znajdują się w wykazie piśmiennictwa.
2. Strona 14. W spisie treści pracy brak jest podrozdziałów: 4.3.2.1; 4.3.2.2; 4.3.2.3 oraz 4.4.2.1 i 4.4.2.2, które zostały wyszczególnione i opisane w treści pracy.
3. Strona 15. W tabeli „Skróty i symbole” zamieszczono tylko wybrane symbole i podano ich znaczenie oraz jednostkę. Jednakże bardzo wiele stosowanych w pracy symboli nie zamieszczono w tej tabeli. Niektóre z nich są powszechnie znane i używane ale jeśli podjęto decyzję o wprowadzeniu takiego elementu to należało zamieścić i wyjaśnić wszystkie stosowane w pracy skróty i symbole.

Doświadczalnej w Skierniewicach. W badaniach (lata 2011-2014) określono wielkość i jakość plonu biomasy 4 gatunków traw zbieranych w dwóch pokosach w trakcie jednego okresu wegetacji oraz dla porównania z jednokrotnego zbioru po zakończeniu okresu wegetacji roślin. Korzenie buraka cukrowego pozyskano z Kutnowskiej Hodowli Buraka Cukrowego (brak informacji o roku pozyskania biomasy). Kukurydzę pozyskano z Rolniczej Stacji Doświadczalnej SGGW w Żelaznej (jesień 2013 r.). Wytłoki z jabłek oraz wysłodki buraka cukrowego pozyskano z zakładów zlokalizowanych na terenie woj. mazowieckiego (jesień 2013 r.). W tym miejscu należy podkreślić bardzo dobry wybór materiału badawczego oraz bardzo szeroki zakres badań podjętych w ramach ocenianej rozprawy doktorskiej. Ocena jakości biomasy, jej podatności na zakiszenie i wydajność biogazu z wybranych gatunków traw energetycznych jest mało rozpoznana. Z kolei szacuje się, że przetwórstwo w Polsce zagospodarowuje około 2,29 mln Mg jabłek rocznie, w tym głównie do wytwarzania soków. W związku z tym powstają bardzo duże ilości wytłoków jabłkowych, które mogłyby być substratem dla biogazowni. W rozprawie doktorskiej badano podatność ww. rodzajów biomasy na zakiszenie, jakość kiszonek, efektywność produkcji biogazu i biometanu z czystych monosubstratów oraz w procesie kofermentacji różnych rodzajów biomasy. Dodatkowo analizowano wpływ trzech mikrobiologicznych (Lactosil, 11CH4, LAB) i dwóch enzymatycznych (CelustarXL, E-XYRU6) dodatków kiszonkarskich na zakiszenie oraz jakość i stabilność tlenową uzyskanych kiszonek oraz przebieg fermentacji. Ponadto w oparciu o przeprowadzone analizy oszacowano ilość energii elektrycznej możliwej do pozyskania z badanych surowców, a następnie oszacowano efekty ekonomiczne wytwarzania biogazu z badanych surowców roślinnych.

Bardzo szeroki zakres materiału badawczego oraz zrealizowanych badań i przeprowadzonych analiz skutkowały bardzo dużą liczbą i różnorodnością uzyskanych wyników badań. Tym nie mniej Dyplomantka umiejętnie i w odpowiedni sposób zaprezentowała, zinterpretowała i przedyskutowała uzyskane wyniki badań. Następnie całą rozprawę doktorską podsumowała i wyciągnęła 11 wniosków, które stanowią odzwierciedlenie uzyskanych wyników i treści pracy. Do cennych osiągnięć dysertacji zaliczam:

1. Stwierdzenie, że dwukrotny zbiór w okresie wegetacyjnym badanych gatunków traw energetycznych jest sposobem na maksymalizację plonu biomasy w porównaniu do zbioru jednokrotnego. Ponadto zbiór w dwóch pokosach miał pozytywny wpływ na skład chemiczny biomasy pod kątem jej przydatności do wytwarzania biogazu przez zmniejszenie zawartości suchej masy i poprawę stosunku C:N.

4. Strona 19. W ostatnim akapicie napisano, „...powierzchnia użytków rolnych przypadająca na mieszkańca wynosi w Polsce 0,41 ha...” i dalej „...szacowane jest na 4.36 mln t/a...” cytując literaturę, odpowiednio [Kuś i Matyka 2010] i [Grzybek 2008]. Należy stwierdzić, że są to wartości niekatulane, należałoby użyć nowszych danych (praca doktorska była napisana w 2016 r.). Jest to w pewnym sensie pokłosie pisania pracy w czasie terażniejszym i cytowanie wcześniejszych danych literaturowych bez ich analizy i uwzględnienia ewentualnych zmian w czasie.
5. Strona 23. Autorka podaje wartość opałową biogazu ($21,54 \text{ MJ m}^{-3}$) na tle innych paliw. „...Energia zawarta w 1 m^3 biogazu odpowiada energii zawartej w $0,93 \text{ m}^3$ gazu ziemnego, 1 dm^3 oleju napędowego; $1,25 \text{ kg}$ węgla...”. W takim bezpośrednim i bezkrytycznym (bez wyjaśnienia) zestawieniu zdanie takie nie jest prawdziwe, ponieważ średnia wartość opałowa 1 m^3 gazu ziemnego to ok. 35 MJ, 1 dm^3 oleju napędowego to ok. 36 MJ; a $1,25 \text{ kg}$ węgla to ok. 31 MJ.
6. W podrozdziale 1.4, strony 29-37 cytowane są wydajności biogazu z różnych substratów z 1 Mg smo, z 1 kg, z 1 dm^3 , z 1 ha lub wydajności biometanu też z różnych jednostek masy lub powierzchni, co wprowadza zamieszanie i chaos. Dlatego też celowe byłoby w miarę możliwości ujednoczenie i sprowadzenie do wspólnych jednostek wydajności biogazu lub biometanu np. do jednostek stosowanych dalej w badaniach własnych, ułatwiłoby to porównanie i interpretację cytowanych wartości, np. na str. 36 napisano „...z ha uprawy kukurydzy można uzyskać 4050-6750 m^3 biogazu o średniej zawartości metanu 54%...”, a w następnym akapicie napisano „...można wyprodukować $6759 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$...”.
7. Strona 37. W ostatnim akapicie wskazano na pozytywny wpływ roślin wieloletnich w ujęciu glebowym i środowiskowym, a na stronie 22, w drugim akapicie, napisano o znacznym (czytaj negatywnym) wpływie na środowisko. Jest zrozumiałym, że w różnych badaniach uzyskiwano zróżnicowane wyniki. Jednakże celem przeglądu literatury w pracy naukowej jest również kompleksowe rozważanie i argumentowanie analizowanego wątku w określonym miejscu w pracy, i nie wracanie do niego w postaci wtrąceń, w innych miejscach przeglądu.
8. Po dokonaniu przeglądu literatury przed celem i zakresem pracy, zasadnym i celowym byłoby wyraźne postawienie hipotezy badawczej.
9. Strona 47. Cele i zakres pracy należy uznać za bardzo obszerny, kompleksowy, ambitny i bardzo wymagający. Jednakże z drugiej strony powstaje pytanie czy Autorka nie chciała wykonać zbyt dużo, co mogło przełożyć się na pobieżne analizy

lub interpretację niektórych etapów pracy? Nie wszystkie eksperymenty i analizy zostały wykonane w tej samej liczbie powtórzeń, a niektóre były wykonane jednorazowo.

10. Strona 48-50. Czy fot. 1-5, pochodzą z eksperymentu polowego, z którego pobierano biomasę do dalszych badań? Fot. 5 przedstawia zbiór miskanta, powstaje pytanie w jakim okresie wegetacji i kiedy było wykonane to zdjęcie? W akapicie powyżej fot. 5. opisywane są dwa zbiory w okresie wegetacji, a zdjęcie przedstawia raczej zbiór jednokrotny na koniec okresu wegetacji.
11. Strona 49, pierwszy akapit. W którym roku uprawy zbierano trawy i jaka była obsada roślin/pędów na jednostce powierzchni w momencie zbioru? Czy ilość nawozów P i K podano w formie pierwiastkowej czy w formie tlenkowej?
12. Strona 49, tabela 1. Błędnie podano wartości plonu technologicznego cukru. Dlaczego jest on prawie 2-krotnie wyższy niż plon korzeni buraka, jeśli zawartość cukru zawierała się w przedziale 17-20%? Wystąpił tu prawdopodobnie błąd w zapisie jednostek lub pomyłono rząd wielkości w zapisie wartości liczbowych.
13. Strona 51, tabela 2; strona 169 Aneks II oraz w opisie wyników badań (pkt. 4.1; 4.2) stosowane są różne, niejednoznaczne określenia, np. (i) I zbiór letni; II zbiór jesienny lub (ii) I zbiór wiosenny; II zbiór jesienny-odrost. W tym miejscu powstaje wątpliwość, kiedy rzeczywiście zbierano trawy i jakie były wartości cech biometrycznych roślin?, tzn. np. wysokość roślin i średnica pędu przy zbiorze letnim i jesiennym. Jeśli w I terminie trawy zbierano na przełomie czerwca i lipca, to jaka była ich wysokość i czy możliwe było pozyskanie np. ponad 22 Mg ha⁻¹ suchej biomasy miskanta olbrzymiego, po praktycznie 2 miesiącach wzrostu roślin (maj-czerwiec). Następnie jaka była wysokość roślin przy zbiorze jesiennym (początek października), po 3 miesiącach wzrostu roślin, po ich wcześniejszym skoszeniu na przełomie czerwca i lipca?
14. Strona 60. Błędne odwołania i informacje w ostatnim zdaniu. W tab. 2 jest tylko informacja o zakiszaniu traw w 2012 r. z dodatkiem, a bez dodatku nie ma takiej informacji. W tab. 54 nie podano uzysku biogazu z kiszonek z traw, tylko z innych surowców.
15. Strona 62-63. W analizach ekonomicznych należałoby przyjąć bardziej uśrednioną, z dłuższego okresu czasu, cenę zielonego certyfikatu, ponieważ ulegała ona znaczącym zmianom w czasie (przyjęto cenę z 15.09.2016 r.). Natomiast w odniesieniu do kosztów pozyskania surowca cytowana jest zdecydowanie starsza pozycja literatury

- (Wiśniewski i Podlaski 2008), która nie znajduje się w wykazie piśmiennictwa, a więc nie ma możliwości weryfikacji przyjętych do analiz wartości. Dlatego też w celu utrzymania integralności analiz ekonomicznych z badaniami polowymi i laboratoryjnymi korzystniej byłoby przyjąć średnie ceny, koszty itp. z lat 2011-2014.
16. Tabela 9, 11. Czy skład chemiczny biomasy traw został podany w % sm, czy w % smo? Przy nagłówku tabeli 9 podano [% sm], a w opisie skrótów i symboli (strona 15) ten skrót jest przypisany do suchej masy organicznej. Pytanie to dotyczy również innych tabel, opisu wyników oraz dyskusji w miejscach, w których używano tej jednostki.
 17. Rozdział 4.3.2.2 zawiera bardzo dużą liczbę wyników, jednakże ich opis i interpretacja są wykonane wybiórczo, np. strona 96, w opisie tab. 50 zapisano, że uzyskano zmniejszenie zawartości celulozy i hemicelulozy podczas gdy również inne badane parametry były istotnie niższe. Można to będzie uzupełnić przy publikacji wyników badań.
 18. Strona 106. Zastanawiająca jest treść ostatniego zdania „...gatunek trawy nie miał istotnego wpływu na uzysk biogazu...”, a następnie na stronie 147 wyciągnięty jest wniosek „...spośród badanych wieloletnich traw energetycznych, miskant olbrzymi charakteryzuje się największą biogazodochodowością z uwagi na największy plon suchej masy oraz największy uzysk biogazu z jednostki suchej masy organicznej....”
 19. Strona 119. Błędna numeracja rozdziału jest 4.8, a w spisie treści jest 4.7.
 20. Strona 121-122. W tab. 65, na rys. 17 oraz w opisie wyników błędnie używane jest określenie „bilans ekonomiczny”, ponieważ w analizach oceniano jedynie udział kosztów surowca w wartości sprzedaży energii. Ponadto w pierwszym zdaniu na str. 122, odwołano się do tab. 62, w której nie znajdują się wskazywane wartości.
 21. Strona 123. W pierwszym zdaniu użyto sformułowania „...jak stwierdzono...”, a następnie jako literaturę podano (informacja ustna). Należy tu podkreślić, że w badaniach naukowych nie można formułować takich tez i stwierdzeń w oparciu o jakąś niezidentyfikowaną, subiektywną informację ustną.
 22. W dyskusji (rozdział 5) nie ma potrzeby ponownego przywoływania numerów tabel i rysunków opisanych wcześniej w wynikach badań.
 23. Strona 142, punkt 5.4., pierwszy akapit napisano „...Badania własne potwierdziły fakt, iż potencjalna produktywność roślin energetycznych, zaliczanych do II generacji jest większa od plonowania roślin jednorocznych I generacji, w warunkach mniejszych nakładów energetycznych na wytworzenie plonu...” Zastosowano tu zbyt duży,

nieuprawniony skrót myślowy, ponieważ w pracy nie badano nakładów energetycznych na produkcję biomasy roślin jednorocznych i wieloletnich. Co prawda zacytowano przy tym internetową pozycję literatury.

24. We wnioskach niektóre analizowane rodzaje biomasy podsumowano dosyć szczegółowo (szczególnie trawy), natomiast nie odniesiono się np. do korzeni buraka cukrowego.
25. W pracy występują drobne błędy redakcyjne, które nie umniejszają jej wartości merytorycznej.
26. W wykazie piśmiennictwa zastosowano niejednolity i niepełny opis bibliograficzny.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Marty Kupryś-Caruk pt. „Ocena przydatności różnych surowców pochodzenia roślinnego do produkcji biogazu” jest komplementarna z punktu widzenia koncepcji, problematyki badań oraz uzyskanych wyników i w pełni spełnia wymagania stawiane tego typu opracowaniom w art. 13 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 z późn. zmian.). W związku z powyższym stawiam wniosek do Rady Wydziału Rolnictwa i Biologii, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie o dopuszczenie jej Autorki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Olsztyn, dnia 24 stycznia 2017 r.



prof. dr hab. inż. Mariusz Jerzy Stolarski