

Warszawa, dnia 30. 12. 2020 r.

Dr hab. Piotr Gradziuk, prof. nadzw. IRWiR PAN
Instytut Rozwoju Wsi i Rolnictwa PAN
Ul. Nowy Świat 72
00-330 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Agaty Witorożec
na temat: „Ocena efektów produkcyjnych i środowiskowych nawożenia pofermentem roślin
przeznaczonych do produkcji biogazu”
przygotowanej pod kierunkiem naukowym
prof. dr hab. Mariusza Matyki
z udziałem promotora pomocniczego – dr Marty Oleszek,
w Instytucie Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowy Instytut badawczy w
Puławach

1. Podstawa prawna

Podstawą prawną wykonania recenzji była uchwała Rady Naukowej IUNG-PIB w Puławach z dnia 10 grudnia 2020 r. – pismo Zastępcy Przewodniczącego Rady Naukowej Pana Profesora dr hab. Janusza Podleśnego, z dnia 17 grudnia 2020 r. w sprawie powierzenie mi obowiązków recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Witorożec na temat „Ocena efektów produkcyjnych i środowiskowych nawożenia pofermentem roślin przeznaczonych do produkcji biogazu”, przygotowanej w dziedzinie nauk rolniczych, w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo. Przy jej przygotowaniu uwzględniono warunki określone w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789) w związku z art. 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę — Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1669).

2. Znaczenie podjętej tematyki badawczej

W dysertacji mgr inż. Agata Witorożec podjęła problematykę oceny efektów produkcyjnych i środowiskowych nawożenia pofermentem roślin przeznaczonych do produkcji biogazu. Podjęta tematyka badawcza jest niezmiernie ważna a zarazem aktualna, z co najmniej trzech powodów.

Pierwszy z nich wynika ze wzrostu zainteresowania wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii (OZE). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przewiduje się, że po 2020 r. nastąpi przyśpieszenie zmniejszania udziału paliw konwencjonalnych: ropy naftowej, gazu ziemnego i węgla, stosownie do wyczerpywania ich zasobów i związanego z tym wzrostu cen energii. Miejsce konwencjonalnych zasobów zajmować będą odnawialne źródła energii. Za jeden z najbardziej przyszłościowych kierunków wykorzystania OZE uznaje się produkcję energii cieplnej, elektrycznej oraz paliw płynnych i gazowych z biomasy.

Kolejny czynnik to troska o środowisko, bowiem intensywne wykorzystanie i przetwarzanie tradycyjnych surowców energetycznych oraz intensyfikacja produkcji rolnej wywierają niekorzystny wpływ na zasoby natury. Od trzech ostatnich dekad XX wieku najpoważniejsze zagrożenie stanowią zmiany klimatyczne powodowane antropogennym ogrzewaniem atmosfery w wyniku wzrastającej koncentracji gazów cieplarnianych, przede wszystkim CO₂, metanu i tlenków azotów. Istnieje uzasadniona obawa, że zjawisko to może stanowić zagrożenie życia dla przeważającej części ludzkości, a nawet całej cywilizacji

I przesłanka trzecia to znaczne pogorszenie się salda bilansu glebowej materii organicznej. W ostatnich latach (od początków transformacji systemowej) głównie w wyniku zmniejszenia powierzchni uprawy traw i roślin motylkowatych wieloletnich, które mają istotne znaczenie dla odnowy zapasów substancji organicznej w glebie, oraz dalszego spadku obsady zwierząt i związanej z tym niższej produkcji obornika, zachodzi obawa, że w niektórych rejonach saldo to przyjmie wartości ujemne. Zastosowanie pofermentu z biogazowni rolniczych jako nawozu może ten problem łagodzić.

W mojej ocenie podjęty problem jest oryginalny, ważny, poświęcony problematyce mieszczącej się w głównym nurcie nauk rolniczych i prezentuje wyniki badań wzbogacających dorobek dyscypliny rolnictwo i ogrodnictwo.

3. Formalny opis rozprawy

Licząca 119 stron dysertacja została przygotowana w formie tradycyjnej i posiada typowy układ dla rozpraw doktorskich. Zawiera pięć rozdziałów zasadniczych, do których zaliczam: *Wstęp*, *Przegląd literatury*, *Material badawczy i metodyka badań*, następnie *Wyniki i dyskusja* oraz *Wnioski*. Do rozdziałów uzupełniających rozprawę zaliczam *Hipotezy i cel pracy*, jak również *Bibliografia*, *Streszczenie* (w języku polskim i angielskim), *Wykaz skrótów i symboli* oraz *Spis rycin, wzorów i tabel*. Literatura obejmuje 266 pozycji, w przeważającej

części obcojęzycznej, głównie w języku angielskim. Została trafnie dobrana, zawiera najnowsze doniesienia naukowe. Proporcje rozprawy pod względem zawartości problematyki teoretycznej, wyników badań własnych oraz wniosków są poprawne, praca ma charakter zwarty, z logiczną kolejnością wywodu. W pracy choć napisanej starannie od strony redakcyjnej, Doktorantka nie uniknęła błędów oraz uchybień w nazewnictwie. Ich wskazanie wynika z przysługujących obowiązków recenzenta i które należy traktować jako swego rodzaju wskazówki na przyszłość.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawę rozpoczyna wstęp (jest pierwszym rozdziałem), w którym Autorka w sposób lakoniczny, uzasadnia podjęcie badanej problematyki.

W rozdziale drugim mgr inż. Agata Witorożec dokonała przeglądu literatury. W pierwszej kolejności zamierzeniem Doktorantki było rozpoznanie technologii produkcji biogazu rolniczego, ze szczególnym uwzględnieniem doboru substratów roślinnych. Na podstawie przeprowadzonych studiów literatury przedmiotu Autorka stwierdziła, że kluczowymi „*kryteriami doboru roślin do produkcji biogazu są: wydajność suchej masy z jednostki powierzchni, zawartość łatwo fermentujących składników oraz przydatność do magazynowania po zbiorze świeżej masy*”. Następnie scharakteryzowała pszenżyto, kukurydzę i sorgo dwukolorowe od względem przydatności jako substratów do produkcji biogazu. Moim zdaniem ten wybór należało uzasadnić, dokonać porównania z innymi potencjalnymi substratami z upraw celowych. Ta część rozprawy została zakończona informacją o liczbie biogazowni rolniczych w Polsce oraz stwierdzeniem, że jedną z przyczyn niestabilnego rozwoju tego sektora w Polsce są bardzo częste zmiany ustawodawstwa regulującego wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. Do tego akapitu mam trzy uwagi. Pierwsza dotyczy sformułowania „*W 2015 roku w Polsce funkcjonowało 77 biogazowni rolniczych o łącznej mocy 83 MWe, w 2020 liczba tych obiektów wzrosła do 96, o łącznej mocy 111,401 MWe*”. Z tego zdania wynika, że 19 biogazowni oddano do eksploatacji w 2020 r., a w rzeczywistości ta liczba – wg mnie wytwórców – rejestrowała swoją działalność z tego zakresu w całym okresie to jest latach 2016-2020. Po drugie należało podać stan biogazowni na konkretny dzień, tak jak to czyni KOWR, np. na dzień 04 grudnia 2020 r. liczba wytwórców biogazu rolniczego wynosiła 99, a liczba biogazowni 116. Te liczby, które podano w pracy moim zdaniem dotyczyły liczby wytwórców a nie biogazowni. I uwaga trzecia, dotyczy braku odniesienia do potencjału produkcyjnego biogazu rolniczego w Polsce

(artykuły naukowe z tego zakresu lub „Kierunków rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010-2020). Na tej podstawie można było oszacować skalę problemu.

W dalszej części rozdziału drugiego Doktorantka przeprowadziła wnikliwą analizę możliwości wykorzystania pofermentu z biogazowni rolniczych jako nawozu, w tym metod jego utylizacji, pod względem oddziaływania na środowisko i efektywności ekonomicznej. Podsumowaniem tego rozdziału są interesujące rozważania dotyczące nawożenia jako czynnika plonotwórczego oraz skutków jego stosowania na środowisko.

W rozdziale trzecim mgr inż. Agata Witorożec przedstawiła hipotezę i cele pracy. Za cel ogólny rozprawy Autorka przyjęła „ocenę różnych aspektów związanych z wykorzystaniem pofermentu z biogazowni rolniczej jako nawozu”. W rozprawie dla zweryfikowania hipotez badawczych sformułowano także trzy cele badawcze:

1. Porównanie efektów produkcyjnych stosowania różnych wariantów nawożenia azotem z wykorzystaniem pofermentu w uprawie pszenżyta, kukurydzy i sorga przeznaczonych na substrat do produkcji biogazu.
2. Zbadanie efektywności fermentacji metanowej oraz produktywności energii z jednostki powierzchni w odniesieniu do wariantu nawożenia i gatunku rośliny.
3. Ocena następstw środowiskowych stosowania różnych wariantów nawożenia z wykorzystaniem pofermentu w uprawie badanych gatunków roślin.

W mojej ocenie sformułowanie celu ogólnego jak i celów badawczych jeden i trzy jest poprawne. Moje wątpliwości budzi drugi cel badawczy, a konkretnie sformułowanie „produktywności energii”. Klasyczna definicja produktywności energii oznacza uzyskane korzyści na jednostkę zużytej energii (pierwotnej, netto itp.). Pojęcie produktywności w rolnictwie odnosi się do ziemi - to wielkość lub wartość produkcji globalnej rolnictwa przypadająca na 1 ha UR. Wskaźnik produktywności ziemi określany też bywa terminem produktywności rolnictwa. Jerzy Kostrowicki (IGiPZ PAN), Jan Bud-Gusaim i Franciszek Budzyński (SGGW), przez produktywność rolnictwa rozumieją jednak nie tylko stosunek wielkości produkcji rolnej do powierzchni użytków rolnych, ale także jej relacje w stosunku do pozostałych czynników produkcji w rolnictwie — pracy, kapitału. Pojęcia te czasem błędnie określane są terminem produktywności (Roman Kulikowski IGiPZ PAN). Przez produktywność rozumie się jednak najczęściej wydajność jednostkową, stąd też można byłoby rozważyć następujące sformułowanie celu drugiego: Zbadanie efektywności fermentacji metanowej oraz wydajności (uzysku, wartości, produktywności) energetycznej(ego) uzyskanych substratów z jednostki powierzchni w odniesieniu do wariantu nawożenia i gatunku rośliny. Tym bardziej, że w podrozdziale „5.3. Wydajność procesu fermentacji metanowej” Autorka obliczyła te

wartości w odniesieniu do 1 Mg suchej masy organicznej z kiszzonek badanych gatunków roślin w zależności od wariantu nawożenia ($\text{m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1}$ s.m.o.). Do zaakceptowania jest też sformułowanie, które Autorka użyła na str. 70 „*Produktywność biomasy przeznaczona do fermentacji beztlenowej wyrażona jest uzyskiem metanu oraz energii z jednostki powierzchni*”.

Uwzględniając cel badań Doktorantka postawiła dwie hipotezy badawcze:

1. Otrzymany w wyniku procesu produkcji biogazu poferment może być wykorzystywany jako nawóz organiczny, stanowiący substytut lub uzupełnienie nawożenia mineralnego.
2. Stosowanie pofermentu z biogazowni pozytywnie wpływa na efekty produkcyjne uprawy pszenżyta, kukurydzy i sorga wykorzystywanych jako substrat do produkcji biogazu oraz nie niesie za sobą niekorzystnych następstw środowiskowych.

Tak postawiona pierwsza hipoteza jest oczywista, nie wymaga udowodnienia, są już opracowania to potwierdzające, np.: Tamara Jadczyżyn (IUNG PIB Puławy), Magdalena Szymańska (SGGW w Warszawie), Milan Koszel i inni (UP Lublin). Znajduje to również potwierdzenie w rozprawie (str. 44): „*Wielu autorów wykazało korzystny wpływ nawozowego wykorzystania pofermentu na plonowanie roślin oraz właściwości gleby (Garg i in., 2005; Svensson i in., 2005; Möller i Stinner, 2009; Lošák i in., 2012; Makadi i in., 2012; Navodita i Mutnuri, 2015; Drog i in., 2015; Sigurnjak i in., 2017)*”.

Druga hipoteza jest wielowątkowa – pierwszy wątek - to pozytywne efekty produkcyjne uprawy pszenżyta, kukurydzy i sorga wykorzystywanych jako substrat do produkcji biogazu. Drugi – stosowanie pofermentu nie powoduje niekorzystnych następstw środowiskowych. Ponadto użycie w hipotezie drugiej sformułowania „*nie niesie za sobą*” to błąd redakcyjny (wyrażenie używane potocznie, a nie naukowe).

W kolejnym rozdziale, pt.: „*Materiał badawczy i metodyka badań*” Autorka w sposób przejrzysty i wyczerpujący scharakteryzowała przedmiot badań i ich zakres oraz metodykę. Do tej części opracowania mam dwie uwagi. Pierwsza dotyczy nazwy wskaźnika „*produktywność energii z jednostki powierzchni*” (podrozdział 4.6.). Swoje uwagi odnoszące się do nazwy tego wskaźnika sprecyzowałem powyżej, odnosząc się do drugiego celu badawczego. Druga uwaga redakcyjna to brak odwołań literaturowych w podrozdziale 4.8. „*Analiza statystyczna*”.

Na podstawie analiz założeń koncepcyjnych rozprawy, celów, hipotez i rozwiązań metodycznych stwierdzam, iż pomimo kilku uwag, w tym niektórych dyskusyjnych,

Doktorantka dobrze opracowała warsztat badawczy i potrafi podejmować w pracy naukowej ważne problemy.

Rezultaty badań Doktorantka przedstawiła w rozdziale piątym, zaczynając od efektów produkcyjnych wykorzystania pofermentu jako nawozu. Jako mierniki tych efektów przyjęto plony i cechy biometryczne badanych roślin oraz właściwości chemiczne i jakość biomasy. Moim zdaniem właściwszym byłoby użycie sformułowania właściwości fizyczne, skład chemiczny i jakość biomasy lub właściwości fizykochemiczne. Takiego sformułowania Autorka użyła między innymi na str. 62 „*Właściwości fizykochemiczne wykorzystywanych surowców, a przede wszystkim zawartość suchej masy (s.m.) i suchej masy organicznej (s.m.o.), determinują dostępność biomasy dla mikroorganizmów, wydajność produkcji biogazu, a tym samym rodzaj technologii i warunki prowadzenia procesu fermentacji metanowej*”.

W dalszej części tego rozdziału Autorka scharakteryzowała parametry fizjologiczne badanych roślin. Do ich oceny – moim zdaniem trafnie – wykorzystywała:

- test Soil Plant Analysis Development (SPAD) służący do oceny stanu odżywienia roślin azotem,
- pomiar strumienia świetlnego z powierzchni całego łąnu (Photosynthetically Active Radiation - PAR),
- wskaźnik Leaf Area Index (LAI).

W tym samym rozdziale mgr inż. Agata Witorożec dokonała także oceny wydajności procesu fermentacji metanowej z kiszzonek badanych gatunków roślin w zależności od wariantu nawożenia w przeliczeniu na:

- jednostkę suchej masy organicznej ($m^3 \cdot Mg^{-1}$ s.m.o),
- jeden hektar uprawianej rośliny ($m^3 \cdot ha^{-1}$),
- jeden hektar uprawianej rośliny ($GJ \cdot ha^{-1}$).

Również w tej części pracy moje uwagi dotyczą zastosowanego nazewnictwa. W pierwszym zdaniu podrozdziału „5.4. *Produkcja metanu i energii z jednostki powierzchni*” Autorka użyła sformułowania „*Celem produkcji roślin z przeznaczeniem do produkcji biogazu jest osiągnięcie maksymalnego plonu metanu z jednostki powierzchni*”. W naukach rolniczych (ale nie tylko) „*pod pojęciem plon rozumie się ilość jednostek wagowych danego ziemiopłodu zebranego z jednostki powierzchni*” (np.: definicja stosowana przez GUS). Moim zdaniem użycia wyrażenia „*plon metanu*” jest „naukowym żargonem”. A przecież można

było pozostać przy stwierdzeniu ze str. 70 (które już cytowałem) „*Produktywność biomasy przeznaczonej do fermentacji beztlenowej wyrażona jest uzyskiem metanu oraz energii z jednostki powierzchni*”. Stąd też cały poniższy akapit jest niepoprawny od strony redakcyjnej: „*Badane gatunki różniły się istotnie między sobą, zarówno produktywnością metanu, jak i energii z jednostki powierzchni (tab. 5.4.2 i 5.4.3). Najniższą produktywnością metanu oraz energii charakteryzowało się pszenżyto nawożone wyłącznie nawozami mineralnymi (N1); (odpowiednio 2905,5 m³ ha⁻¹ i 104,6 GJ ha⁻¹). Natomiast największą produktywnością metanu i energii z jednostki powierzchni cechowała się kukurydza, uprawiana w wariacie nawożenia N2 (odpowiednio 6802,1 m³ ha⁻¹ i 244,9 GJ ha⁻¹). Zastosowanie nawożenia pofermentem miało istotny wpływ na wzrost produktywności metanu oraz energii tylko w przypadku kiszonki z sorga (odpowiednio 5961,7 m³ ha⁻¹ i 214,6 GJ ha⁻¹)*”.

Ostatnim elementem rozdziału piątego jest ocena efektów środowiskowych wykorzystania pofermentu. Na podstawie przeprowadzonych badań Doktorantka wykazała że:

- zastosowane warianty nawożenia nie różnicowały istotnie właściwości chemicznych gleby,
- użycie pofermentu jako nawozu nie powodowało zagrożeń środowiskowych w postaci wysokich stężeń jonów azotanowych, amonowych i ortofosforanowych w roztworze glebowym,
- nawożenie pofermentem nie powodowało istotnego zróżnicowania oporu penetracyjnego gleby,
- zastosowanie pofermentu miało pozytywny wpływ na poziom wilgotności gleby oraz skutkowało zwiększeniem liczby dżdżownic, jednakże nie miało wpływu na ich masę.

Rozdział ten ma szczególne znaczenie w recenzowanej dysertacji. Świadczy nie tylko o dobrym przygotowaniu Doktoranta do prowadzenia badań, ale także wnosi wiele interesujących wyników.

Rozprawa w części merytorycznej zakończona jest dobrze sformułowanymi 10 wnioskami. Doktorantka w sposób rzetelny i wyważony zestawiała wnioski wynikające zarówno z przeprowadzonych przez siebie badań i przeprowadzonej dyskusji. Mam jedynie zastrzeżenia do wniosku 6 „*Nawożenie pofermentem w przypadku sorga miało istotny wpływ na wzrost produktywność energii z jednostki powierzchni. Zależności tej nie stwierdzono w*

uprawie pszenżyta i kukurydzy. Niezależnie od wariantu nawożenia, najwyższą produktywność metanu i energii z jednostki powierzchni uzyskano w przypadku kukurydzy, a najniższą dla pszenżyta". Uzasadniałem je już w uwagach odnoszących się do sformułowań „*produktywność energii oraz produktywność metanu i energii*”, moim zdaniem są one niewłaściwe, można było je zastąpić wyrażeniami „*uzysk energii oraz uzysk metanu i energii*”.

Mimo zawartych uwag sposób opisywania przez Doktorantkę poszczególnych wątków pracy można potraktować jako dowód Jej rozeznania w problematyce, którą podjęła w dysertacji. Autorka wykazała się wnikliwym studium literaturowym i dogłębną analizą wyników przeprowadzonych badań. Recenzowaną rozprawę ze względu na jej walory poznawcze i praktyczne oraz kompleksowość ujęcia zarysowanego w temacie problemu badawczego i jego aktualność oceniam pozytywnie.

5. Konkluzja

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Witorożec na temat: „Ocena efektów produkcyjnych i środowiskowych nawożenia pofermentem roślin przeznaczonych do produkcji biogazu”, przygotowanej pod kierunkiem naukowym prof. dr hab. Mariusza Matyki z udziałem promotora pomocniczego – dr Marty Oleszek, mimo przedstawionych uwag krytycznych o charakterze dyskusyjnym i wskazanych niedociągnięć, spełnia wymogi naukowe i formalne stawiane rozprawom doktorskim. Praca stanowi samodzielny dorobek Autorki. Kandydatka na doktora nauk rolniczych w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo dowiodła, że posiadała umiejętności postawienia problemu badawczego, zaprojektowania i zrealizowania badań, a także wybrania właściwych metod opracowania uzyskanych wyników.

Podsumowując powyższe rozważania stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim, zawarte 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 2007 r. poz. 1789) w związku z art. 179 z dnia 3 lipca 2018 r, przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669). Stanowi ona oryginalne rozwiązanie postawionego problemu badawczego. Dysertacja spełnia również pozostałe wymagania ustawowe, potwierdza niezbędną wiedzę mgr inż. Agaty Witorożec w dziedzinie nauk rolniczych, w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo oraz wystarczające

kompetencje w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Rekomenduję, aby Wysoka Rada Naukowa Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowego Instytut Badawczy w Puławach przyjęła dysertację do dalszych etapów procedowania i dopuściła Doktorantkę do publicznej dyskusji nad rozprawą.

A handwritten signature in blue ink, reading "Piotr Gradziuk". The signature is written in a cursive style with a large, stylized initial 'P'.

dr hab. Piotr Gradziuk, prof. nadzw. IRWiR PAN

Warszawa, dnia 30. 12. 2020 r.