

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Bogdana Saletnika
pt. „Ocena możliwości zastosowania biowęgla i popiołu z biomasy do
nawożenia wybranych gatunków roślin energetycznych”

Recenzja została wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Biologiczno-Rolniczego Uniwersytetu Rzeszowskiego w Rzeszowie z dnia 22.02.2018r.

Charakterystyka ogólna rozprawy

Praca doktorska została wykonana przez mgr inż. Bogdana Saletnika w Katedrze Bioenergetyki i Analizy Żywności pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Czesława Puchalskiego. Przedłożona do recenzji rozprawa składa się z 9 rozdziałów, obejmuje łącznie 241 stron maszynopisu, w tym 111 rysunków, 61 tabel oraz streszczenie i spis tabel i rysunków. Rozprawa zawiera wykaz bibliograficzny obejmujący 278 pozycji. Doktorant wykorzystał 168 pozycji obcojęzycznych, co stanowi 60% wszystkich publikacji. Prawie 32% cytowanych przez Autora pozycji zostało wydanych w ostatnich 5 latach.

Praca napisana jest językiem poprawnym, komunikatywnym i naukowym, z zamieszczonymi odnośnikami do literatury, podanym źródłem pochodzenia rysunków, co zgodne jest z zapisami ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych.

Ocena merytoryczna rozprawy

Rozdziały pracy ułożone są w sposób niestandardowy mimo to układ jej oceniam pozytywnie. Według mnie cel pracy oraz hipotezy badawcze powinny być umieszczone po przeglądzie literatury, z której wynika geneza podjęcia tematu pracy.

Poruszona w rozprawie tematyka jest istotnym i aktualnym obszarem badawczym obejmującym zagadnienia z zakresu ochrony środowiska, pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych oraz agronomi. Jako podstawowe kryterium służące do oceny możliwości zastosowania biowęgla i popiołu z biomasy do nawożenia należy przyjąć ich właściwości do których można zaliczyć skład chemiczny, stabilność oraz powierzchnię właściwą i porowatość. Biowęgle zawierają stabilny węgiel organiczny na poziomie 50 - 90%, związki aromatyczne, związki alifatyczne oraz może się cechować udziałem wody 1 - 15% oraz substancji mineralnych do 5%. W pracy określone były czynniki agrotechniczne w warunkach polowych oraz zawartość składu chemicznego i wartość opałowa w warunkach laboratoryjnych.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska poświęcona jest analizie czynników, które mają wpływ na możliwości zastosowania biowęgla i popiołu z biomasy do nawożenia.

W pierwszym rozdziale Doktorant wprowadza w tematykę rozprawy i uzasadnia w sposób przekonujący celowość podjęcia tego tematu. Rozdział drugi i trzeci to cel pracy i hipoteza badawcza. Rozdział czwarty zawiera przegląd literatury. Doktorant potraktował temat bardzo szeroko, pisząc nie tylko o zagadnieniach bezpośrednio związanych z przedmiotem jego badań, ale też dokładnie omówił biowęgiel i popiół z biomasy roślinnej, które następnie były wykorzystane jako nawóz pod rośliny energetyczne. Podrozdział *Wieloletnie rośliny energetyczne* poświęcono omówieniu szczegółowo wierzby wiciowej i

miskanta olbrzymiego a pominięto wiele innych roślin energetycznych, które są wykorzystywane w energetyce. Przy tej analizie mogło by się okazać, że inne rośliny wykorzystywane energetycznie są lepsze od tych które przedstawił Doktorant. Można jednak stwierdzić, że przedstawione kwestie potwierdzają ważkość problematyki badawczej, jaką zajął się Doktorant. Na uwagę zasługuje podkreślenie bardzo rzetelnie wykonanego przeglądu literatury. Uwzględnia on zarówno badania polskich naukowców zajmujących się tymi zagadnieniami jak i aktualny stan wiedzy w tej dziedzinie na świecie. Zdecydowana większość pozycji bibliograficznych, na których oparł Autor ten przegląd, opublikowana została w ostatnich 10 latach a jedna trzecia w ostatnich 5 latach, co wskazuje, że problem naukowy, którym zajął się mgr inż. Bogdan Saletnik jest jak najbardziej aktualny. Cytowane publikacje można zaliczyć do znaczących pozycji w tym temacie, co dobrze świadczy o wiedzy Doktoranta w obszarze dotyczącym podejmowanych zagadnień. Dobór źródeł literaturowych, sposób ich prezentacji przez Doktoranta, wskazuje na umiejętność analitycznej oceny zebranego materiału. Autor próbuje pokazać w pracy braki w dotychczasowym stanie wiedzy i wynikające z nich kierunki badań. Sformułowanie celu badawczego oraz hipoteza badawcza znajdują się w rozdziale drugim i trzecim. Postawiona hipoteza badawcza sformułowana jest według mnie prawidłowo i dotyczy części problemu badawczego, którym zajął się Doktorant w swojej pracy i koresponduje z celem pracy. Przedstawiony cel pracy uszczegóławia jej zakres. Doktorant zrealizował pracę, której celem było określenie wpływu nawożenia biowęgłem i popiołem z biomasy roślinnej na plonowanie wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.) oraz miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus*), ponadto sprawdził skład pierwiastkowy oraz wartości energetyczne badanych roślin oraz ocenił wpływ nawożenia powyższymi materiałami na wybrane parametry gleby. Dodatkowo badania miały na celu wytworzenie pirolizatów w procesie termicznej konwersji biomasy wierzby wiciowej i miskanta olbrzymiego oraz ich analizę pod kątem nawozowego wykorzystania.

W kontekście powyższego stwierdzam, że podjęty problem badawczy został sformułowany prawidłowo i może stanowić przedmiot rozprawy doktorskiej.

Rozdział piąty zawiera omówienie obiektu i zakresu badań oraz metodykę wykonywanych pomiarów. W rozdziale tym Doktorant przedstawił schemat oraz przebieg doświadczeń, sposób określenia plonu suchej masy roślin oraz przetwarzanie jej na biowęgiel. Przeprowadzono w czasie badań bardzo dużo analiz dla gleby, biowęgla, popiołu oraz badanych roślin, wszystkich powtórzeń było 9 472. Następnie przedstawił sposób wykonywania analizy laboratoryjnej: gleby, biowęgla, popiołów, biomasy roślinnej. W podrozdziale 5.10. Autor krótko omówił metody statystyczne zastosowane w analizie wyników badań.

Szeroki zakres pracy wymagał przeprowadzenia wielu badań, dla potrzeb których wykorzystano dziesięć oryginalnych urządzeń pomiarowych:

- do przygotowania próbek zastosowano wysokoobrotowy młyn rozdrabniający biomasę,
- do określenia wilgotności badanego materiału wykorzystano wilgotnościomierz biopaliw BIO-1,
- do oznaczanie fosforu wykorzystano spektrofotometru UV5100,
- do analizy zawartości popiołu i substancji lotnych w badanych materiałach zastosowano metodę termo grawimetryczną przy użyciu aparatu TGA 701 firmy LECO,
- przygotowany materiał zhomogenizowano przy użyciu laboratoryjnego młyna kulowego,
- do analizy wartości opałowej, materiał przygotowywany był (tabletkowany) na ręcznej prasie hydraulicznej, tworząc 1 gramowe próbki,
- wartość opałową wyznaczano na aparacie do badań kalorymetrycznych LECO AC500,
- do oznaczania w próbkach zawartości węgla, wodoru i azotu użyto analizatora LECO TrueSpec CHN,
- procesu mineralizacji mikrofalowej biomasy dokonano w urządzeniu Milestone Etos One,

- do analizy zawartości makro- i mikroelementów wykorzystano optyczny spektrometr emisyjny ze wzbudzeniem w plazmie argonowej ICP-OES 6500 firmy Thermo Fisher Scientific.

Zawarty w tym rozdziale opis prowadzonych badań jest wyczerpujący, bardzo dobrze zilustrowany, nie pozostawiający wątpliwości co do zastosowanych metod i urządzeń oraz właściwie uzasadniający ich stosowanie.

W rozdziale szóstym liczącym prawie 60 stron Doktorant dokonał analizy wyników badań. Otrzymane wyniki pozwalają na realizację celów rozprawy i weryfikację hipotezy badawczej. Omówiono w nim właściwości chemiczne gleby dla obu badanych roślin energetycznych, cechy jakościowe i skład chemiczny badanych biomas z wierzby i miskanta oraz skład chemiczny pirolizatów wytworzonych z biomasy badanych roślin.

Rozdział siódmy to analiza statystyczna, w którym zestawiono rezultaty obliczeń statystycznych prezentujących wyniki korelacji Pearsona, analiz składowych głównych (ang. *Principle Component Analysis*, PCA) oraz analiz skupień prowadzonych metodą hierarchiczną. Wyniki obliczeń statystycznych zostały zestawione na 40 stronach maszynopisu i zawierają 23 tabele i 17 wykresów zmiennych i dendrogramów analizy skupień wybranych zmiennych dla gleby i biomasy. Analiza statystyczna jest według mnie przeprowadzona bardzo dobrze.

W rozdziale ósmym zamieszczono dyskusję uzyskanych wyników badań, w której mgr inż. Bogdan Saletnik przedstawia swoje wyniki na tle prac dotychczas opublikowanych z zakresu tej tematyki badawczej polemizując z autorami tych prac. Badania innych autorów, które zostały omówione przez Doktoranta dotyczyły zastosowania m.in. osadów ściekowych, popiołu z biomasy, węgla brunatnego czy też biowęgla. Badania te miały na celu ocenę tych materiałów w kontekście poprawy plonowania roślin oraz żyzności i właściwości gleb. Należy jednak podkreślić, że w Polsce ciągle jest brak kompleksowych prac obejmujących zagadnienia związane z dogłębowym zastosowaniem karbonizatów. Jedną z kluczowych cech, którą powinny charakteryzować się rośliny energetyczne jest wysoki poziom produktywności biomasy. Zastosowane przez Doktoranta w badaniach warianty nawozowe wpłynęły na wzrost plonu w roku 2016 w stosunku do próby kontrolnej od 14 do 49% dla wierzby wiciowej i od 17 do 68% dla miskanta olbrzymiego. Plon suchej masy roślin określony w roku 2017 był od 6% do 48% wyższy niż w roku poprzednim. Wartość opałowa pozyskanej biomasy wierzby wiciowej i miskanta olbrzymiego z dwóch lat badań mieściła się w zakresie od 17,54 do 18,74 MJ kg⁻¹ s.m. Nie odnotowano istotnych statystycznie zmian badanego parametru po zastosowaniu czynników nawozowych. Pozyskaną po pierwszym i drugim roku prowadzenia doświadczenia biomasę wierzby wiciowej i miskanta olbrzymiego przetworzono metodą pirolizy. Jako substraty do termicznej konwersji wybrano biomasę z poletek kontrolnych oraz tych, które cechowały się najwyższym plonowaniem. Zastosowane parametry procesu pirolizy pozwoliły na otrzymanie wysokich zawartości węgla całkowitego na poziomie 76 - 81% (pirolizaty z wierzby wiciowej pozyskanej po pierwszym roku badań) oraz 64 - 68% (pirolizaty z miskanta olbrzymiego pozyskanego po pierwszym roku badań). Analizując otrzymane rezultaty można wnioskować, że pirolizaty z wierzby wiciowej i miskanta olbrzymiego mogą stanowić cenne źródło składników pokarmowych dla roślin a tym samym być wykorzystane jako forma materiału nawozowego. Szkoda, że badania trwały tylko dwa lata, gdyż uniemożliwiło to wykorzystanie biowęgla z biomasy po drugim roku wegetacji (określenie zawartości węgla całkowitego w glebie). Doktorant poddał weryfikacji postawioną hipotezę badawczą i stwierdził, że biowęgiel i popiół z biomasy roślinnej można stosować jako nawóz w uprawie roślin energetycznych. Wyniki badań przedstawione w niniejszej pracy potwierdziły, że biowęgiel i popiół z biomasy zastosowane w odpowiedniej dawce wpływają korzystnie na właściwości chemiczne gleby oraz zwiększają plon wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.) i miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus*). Nawożenie biowęgłem i popiołem nie wpłynęło na zwiększenie wartości opałowej biomasy badanych roślin. Doktorant zaznacza, że prowadzone badania wymagają kontynuacji w celu

monitorowania właściwości gleby i oceny uzyskiwanego plonu roślin w kolejnych latach. Zasadnym wydaje się także prowadzenie dalszych badań dotyczących stosowania biowęgla i popiołu z biomasy roślinnej jako dodatku do gleb w uprawie innych roślin.

Można stwierdzić, że badania Doktoranta oraz jego wyniki mogą przyczynić się do zwiększenia potencjału energetycznego powstałego z biomasy jak również przyczynić się pośrednio do spadku emisji dwutlenku węgla oraz siarki. Stosowanie nawozów sztucznych ma wpływ w dużym stopniu na zagrożenie dla środowiska naturalnego a nieodpowiednie ich stosowanie może negatywnie wpływać na środowisko glebowe, a tym samym na rośliny, jak również zanieczyszczać wody gruntowe. Dlatego zaproponowane nawozy przez Doktoranta są ekologiczne i przyczynią się do ochrony środowiska naturalnego.

Rozdział dziewiąty zawiera 10 wniosków sformułowanych przez Doktoranta na podstawie analizy wyników badań, z przedstawionych w pracy pomiarów oraz obliczeń. Nie wszystkie jednak wnioski wynikają z pracy i wyjaśniają sformułowane w pracy problemy i cele badawcze. Na przykład wniosek nr 2 *„Wytypowano optymalną dawkę nawozową dla obu badanych gatunków wieloletnich roślin energetycznych, którą był biowęgiel zastosowany na poziomie 11,5 t ha⁻¹.”* nie wynika z badań gdyż w metodyce podrozdział 5.5. Doktorant pisze: *„...przed założeniem doświadczenia ... opracowano zalecenia nawozowe ... nawożenie biowęgłem w dawce 11,5 t ha⁻¹.”* a więc nie jest to wniosek wynikający z pracy. Wnioski nr 1 i 3 nie są poprawnie sformułowane, gdyż określenie *„Najwyższy plon suchej masy badanych roślin uzyskano poprzez zastosowanie nawożenia popiołem w dawce 1,5 t ha⁻¹, biowęgłem oraz ich kombinacji.”* nie jest prawdziwe, najwyższy plon suchej masy uzyskano bez nawożenia popiołem. Tylko dla jednego przypadku plon był wyższy tj. dla miskanta olbrzymiego po pierwszym roku uprawy dla B2/P2, w pozostałych przypadkach nawożenie popiołem każdorazowo wpłynęło negatywnie na plonowanie badanych roślin. We wnioskach nr 6, 7 i 8 Doktorant stwierdza, że zastosowane nawożenie wpływa pozytywnie na wzrost wartości pH gleby, zawartości węgla całkowitego w glebie i wzrost zawartości mikro- i makroelementów. Wniosek nr 5 jest bardzo ważny, gdyż Autor w nim stwierdza, że nawożenie biowęgłem i popiołem nie wpływa na wzrost wartości opałowej biomasy wierzby wiciowej i miskanta olbrzymiego. Wartości opałowe dla wierzby wiciowej zawierają się w przedziale 18,52 - 18,74 MJ kg⁻¹ s.m., a dla miskanta olbrzymiego w przedziale 17,54 - 17,75 MJ kg⁻¹ s.m., w całym okresie badań i dla wszystkich kombinacji dawek nawozowych. Wniosek nr 10 dotyczy celu dodatkowego w którym stwierdzono: *„...że biomasa wieloletnich roślin energetycznych takich jak wierzba wiciowa i miskant olbrzymi, poddana procesowi pirolizy pozwala na uzyskanie wysokiej jakości karbonizatów w kontekście ich nawozowego zastosowania, ze względu na wysoką koncentrację składników mineralnych...”*.

Ocena formalna pracy

Autor nie ustrzegł się drobnych błędów, które powinny być usunięte przed oddaniem pracy do druku. W tekście znalazło się też kilka błędów interpunkcyjnych, które jednak nie wpływają na jakość recenzowanej pracy.

Doktorant powinien dołożyć starań aby dostosować formę pracy do obowiązujących obecnie wymogów wydawniczych np. w rozprawie występuje szereg błędów oraz nieścisłości, które zamieszczam poniżej:

- jednostki (na wykresach) podaje się już od pewnego czasu w nawiasach okrągłych a nie kwadratowych; ponadto Autor stosuje dowolnie opisy osi - raz jednostki w nawiasie, innym razem bez nawiasu (np. wykres na str. 64 i 65 oraz na str. 82 i 83),
- według reguły zapisu oznaczeń wartości fizycznych i matematycznych: między wartością liczbową a literowym oznaczeniem miary spacji nie stawiamy. Poprawny zapis dla: np. 5% (nie: 5 %, choć: 5 proc.), 10°C (nie: 10 °C ani 10 ° C), Autor stosuje dowolnie, większość zapisów ze spacją innym razem bez, np. prawidłowy zapis na str. 43 w tabeli 10 i na str. 56 2w od dołu, pozostałe oznaczenia miar piszemy ze spacją,

- w pracach naukowych stosuje się zapis $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ a nie jak stosuje Autor $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ przykład na stronie 32 i 73,
- wg. większości wydawnictw powołując się na rysunek lub tabelę, w tekście piszemy cały wyraz a nie skrót jak to używa Autor - Rys.1., skróty używamy w nawiasach np. (rys.1) lub (tab.1),
- w pracach naukowych po podpisach rysunków i tabel nie stawiamy kropek,
- zgodnie z wymogami większości redakcji powołując się w tekście na pozycję literaturową należy podać w nawiasie okrągłym nazwisko/a Autora/ów i rok wydania, błędnie podano np. na str. 29 i 45,
- na rysunkach od 97 do 110 użyto opisów w języku angielskim a powinny opisy być w języku polskim,
- rysunek 20 ze strony 61 „*Układ doświadczenia split-block*” powinien być umieszczony na stronie 67 w miejscu jego opisu,
- wykorzystane w pracy normy nie wszystkie są aktualne.

Zauważone braki i niedopatrzenia mogą być łatwo usunięte i nie mają moim zdaniem znaczącego wpływu na ostateczną ocenę rozprawy.

W trakcie recenzowania pracy nasunęły się pytania, do których Doktorant powinien się ustosunkować w czasie obrony:

- Dlaczego badania trwały tylko dwa lata—czy nie powinny trwać co najmniej trzy lata?
- Na jakiej podstawie ustalono dawkę biowęgla na poziomie $11,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.
- Czy z punktu ekonomicznego, nawożenie biowęgłem jest opłacalne? Biowęgiel jest bardzo drogi.

Wniosek końcowy

Temat rozprawy doktorskiej oraz jej wybór nie budzi zastrzeżeń zarówno merytorycznych jak i formalnych. Zaprezentowany w pracy obszerny przegląd aktualnego stanu wiedzy wskazuje na dobre przygotowanie Doktoranta dotyczące analizy biowęgla i popiołu z biomasy a następnie użytkowanie tych składników do nawożenia roślin, które są wykorzystywane jako rośliny energetyczne. Wytyczony obszar badań jest logiczny, uzasadniony w aspekcie poznawczym i praktycznym, a także mieści się w obszarze właściwym dla dyscypliny Agronomii. Podjęte badania uważam za bardzo wartościowe, a otrzymane wyniki i przeprowadzona ich analiza uzupełnia wiedzę naukową w dyscyplinie Agronomii. Wiedza ta może być zastosowana w praktyce w celu wykorzystania biowęgla i popiołów jako bardzo cennego materiału do nawożenia roślin. Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemu badawczego, zaproponował właściwe metody jego rozwiązania, poprawnie przedstawił i zinterpretował uzyskane wyniki pomiarów. Sformułowane przez Doktoranta wnioski znajdują oparcie w prezentowanych danych. Daje to przekonanie, że postawiony cel badań został osiągnięty, potwierdza jednocześnie umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Reasumując stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Bogdana Saletnika pt. „*Ocena możliwości zastosowania biowęgla i popiołu z biomasy do nawożenia wybranych gatunków roślin energetycznych*” spełnia wymagania wynikające z Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki i zwracam się do **Wysokiej Rady Wydziału Biologiczno-Rolniczego Uniwersytetu Rzeszowskiego w Rzeszowie z wnioskiem o dopuszczenie** Pana mgr inż. Bogdana Saletnika do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

prof. dr hab. inż. Jerzy Bieniek