

prof. dr hab. Mariusz Matyka
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

Puławy, 12.06.2023 r.

Recenzja pracy doktorskiej

mgr Pawła Stachowicza

pt.: „Produkcja i pozyskanie biomasy ligninocelulozowej oraz wytwarzanie z niej peletu”

wykonanej w

Katedrze Genetyki, Hodowli Roślin i Inżynierii Biosurowców

na Wydziale Rolnictwa i Leśnictwa

Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie

pod kierunkiem

prof. dr hab. inż. Mariusza J. Stolarskiego

oraz w

Przedsiębiorstwie Quercus sp. z o.o. z Pasymia

pod kierunkiem

dr inż. Waldemara Sieniawskiego

Stały wzrost populacji ludzkiej wiąże się z dużym wyzwaniem, którym jest zapewnienie podstawowych warunków do jej utrzymania i rozwoju. Kluczowym problemem w tym kontekście jest ciągle zapewnienie odpowiedniego wolumenu i jakości żywności. Niemniej równie ważnym wyzwaniem, na obecnym etapie rozwoju cywilizacyjnego, jest dostarczenie wystarczającej ilości energii. Ponadto społeczeństwo oczekuje, że zarówno żywność jak i energia oferowane będą po akceptowalnych cenach. Wydarzenia ostatnich miesięcy związane z wojną na Ukrainie oraz wynikające z niej zawirowania podażowo-cenowe jakie mają miejsce na rynku żywności i energii w Europie i niemal całym świecie dodatkowo uzmysławiają nam jak ważne są to zasoby.

Ponadto należy wziąć pod uwagę, że popyt na żywność i energię wykazuje stałą tendencję wzrostową, co wynika ze wzrostu populacji oraz rosnącej konsumpcji per capita. Obecnie zaspokajany jest on głównie poprzez wykorzystanie zasobów nieodnawialnych, a w szczególności paliw kopalnych. Konsekwencją tego jest sukcesywne i ciągłe wyczerpywanie ich zasobów połączone z negatywnym oddziaływaniem na środowisko przyrodnicze i klimat. Bieżąca sytuacja wskazuje również na to, że ze względu na nierównomierny rozkład zasobów paliw kopalnych w świecie mają one charakter

strategiczny i są istotnym narzędziem geopolityki. Narastające w ostatnich latach wokół paliw kopalnych problemy natury ekonomicznej, społecznej, środowiskowej i politycznej skłoniły władze wielu krajów do poszukiwania alternatywnych źródeł energii opartych głównie na zasobach odnawialnych. Zakłada się, że szeroko pojęta biomasa stanie się nowoczesnym i czystym nośnikiem energii. Produkcja biomasy i jej wykorzystanie ma także na celu ograniczenie emisji do atmosfery gazów cieplarnianych oraz powinna służyć rozwojowi społecznemu i ekonomicznemu. W tym kontekście ważną rolę może odegrać rolnictwo, które oprócz produkcji żywności i pasz powinno również dostarczać szeroko pojętych dóbr środowiskowych oraz stać się źródłem paliw i energii ze źródeł odnawialnych.

Jednym z problemów związanych z wykorzystaniem biomasy stałej na cele energetyczne jest logistyka dostaw i automatyzacja procesu spalania (szczególnie w kotłach domowych). Jednym z najbardziej rozpowszechnionych rozwiązań tych problemów jest peletyzacja biomasy. Proces ten pozwala na znaczne zwiększenie gęstości nasypowej; ułatwia konfekcjonowanie, przeładunek i transport paliwa oraz pozwala na zautomatyzowanie procesu zadawania i spalania paliwa. Niestety globalne rozchwianie rynku paliw, wzrost cen surowca i energii oraz rosnący popyt na pelet skutkuje znacznym wzrostem jego cen.

W świetle powyższych faktów podjęte przez mgr inż. Pawła Stachowicza badania dotyczące produkcji i pozyskania biomasy ligninocelulozowej oraz jej przetwarzania na pelet należy uznać za interesujące i niezmiernie aktualne. Problemy poruszane w ocenianej rozprawie mają częściowo charakter poznawczy, ale kluczowym walorem pracy jest jej bardzo wysoki potencjał użytkowy.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została przygotowana w formie spójnego tematycznie zbioru czterech artykułów, w tym trzech opublikowanych i jednego w trakcie procedowania w czasopiśmie naukowym. Jest to zgodne z art. 13 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami). Pierwsza część rozprawy obejmuje 103 strony, w tym 11 tabel, 17 rysunków i 4 fotografie, które stanowią syntezę wyników badań opublikowanych w załączonych w drugiej części pracach naukowych. Zasadniczą treść opracowania przedstawiono w dziewięciu rozdziałach, uszeregowanych w następujący sposób: 1. Lista publikacji stanowiących pracę doktorską, 2. Wprowadzenie, 3. Przedmiot badań, hipotezy badawcze oraz cele rozprawy doktorskiej, 4. Materiał i metody, 5. Wyniki i dyskusja, 6. Wnioski 7. Literatura, 8. Oświadczenia współautorów, 9. Kopie opublikowanych prac naukowych.

Osiągnięciem naukowym mgr Pawła Stachowicza, które jest podstawą do ubiegania się o stopień doktora są następujące prace naukowe:

1. Stolarski M.J., **Stachowicz P.** 2023. Black locust, poplar or willow? Yield and energy value in three consecutive four-year harvest rotations. *Industrial Crops and Products*, 193, 116197, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116197>. (IF: 6.449, MEiN: 200 pkt.)
2. **Stachowicz P.**, Stolarski M.J. 2023. Thermophysical properties and elemental composition of black locust, poplar and willow biomass. *Energies*, 16, 305. <https://doi.org/10.3390/en16010305>. (IF:3.252. MEiN: 140 pkt.)
3. **Stachowicz P.**, Stolarski M.J. 2023. Short rotation woody crops and forest biomass sawdust mixture pellet quality. *Industrial Crops and Products*, 197, 116604, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116604>. (IF: 6.449. MEiN: 200 pkt.)
4. **Stachowicz P.**, Stolarski M.J. 2023. Pellets from mixtures of short rotation woody crops with forest-derived biomass: Production costs and energy intensity.

Powyższe publikacje są niewątpliwie spójne tematycznie i stanowią efekt przemyślanego, logicznego i spójnego procesu badawczego. Doktorant w trzech spośród nich jest pierwszym autorem, a jego wkład w przygotowanie każdej publikacji jest dominujący i wynosi od 55 do 65%. W przypadku pierwszej publikacji Doktorant jest drugim autorem, a jego wkład w przygotowanie wynosi 40%. Wszystkie przedłożone do oceny prace zostały opublikowane w 2023 roku lub są w trakcie procedowania (publikacja 4) w wysoko punktowanych czasopismach z listy Journal Citation Reports (JCR). O wysokim poziomie opublikowanych prac świadczą wskaźniki bibliometryczne dla trzech opublikowanych artykułów wynoszące w przypadku IF=16,15 oraz 540 punktów MEiN.

Podkreślić należy, że cele pracy zostały postawione na ogół w sposób klarowny i syntetyczny w związku z tym nie budzą wątpliwości. Niewielkie zastrzeżenie budzi jedynie sformułowanie celu 4, który odnosi się do udziałów wagowych, podczas gdy w dalszej części rozprawy analizowana jest udział procentowy. Układ pracy jest logiczny i spełnia wymagania stawiane dysertacjom doktorskim. Publikacje składające się na osiągnięcie napisane są językiem zrozumiałym oraz umożliwiającym sprawne śledzenie przeprowadzonych badań i analizę przedstawionych wyników.

Podstawę do opracowania rozprawy doktorskiej stanowiły wyniki badań z wieloletniego doświadczenia polowego z uprawą trzech gatunków SRWC tj. robinii akacjowej, topoli i wierzby prowadzonego na polach UWM Olsztyn. Badane rośliny zbierane były w cyklach czteroletnich. Zebrany z doświadczenia materiał roślinny posłużył do wykonania analiz laboratoryjnych jakości biosurowców oraz badania produkcji peletu z biomasy pochodzenia rolniczego, leśnego (trociny sosny i brzozy) oraz

ich mieszanin. Elementem ocenianej rozprawy jest również ocena kosztów i nakładów energetycznych związanych z produkcją peletu z badanej biomasy. Należy podkreślić, że przeprowadzone badania cechowały się szerokim zakresem merytorycznym co determinowało ich znaczną pracochłonność.

Głównym celem badań była ocena plonowania i przydatności biomasy trzech gatunków SRWC (robinii akacyjowej, topoli i wierzby) pozyskanej w krótkich rotacjach zbioru do produkcji peletu w mieszaninach z trocinami pochodzenia leśnego (sosna, brzoza). Natomiast cele szczegółowe zakładały określenie: 1. Wpływu: (i) gatunku, (ii) sposobu wzbogacania gleby, (iii) rotacji zbioru na cechy morfologiczne, przeżywalność, plonowanie i wartość energetyczną plonu biomasy SRWC przez okres kolejnych 12 lat uprawy. 2. Właściwości termofizycznych i składu elementarnego biomasy SRWC w zależności od wyżej wymienionych czynników. 3. Właściwości termofizycznych i składu elementarnego peletu wyprodukowanego z biomasy leśnej (sosny, brzozy) i rolniczej SRWC (robinii akacyjowej, topoli i wierzby) oraz z ich mieszanin. Ponadto wykazanie, które rodzaje peletu spełniały parametry określone w wybranych normach kategoryzujących pelet do różnych klas. 4. Kosztów i energochłonności produkcji peletów z biomasy leśnej i rolniczej SRWC oraz z ich mieszanin w różnych udziałach wagowych.

Dobór i zakres metod badawczych oraz przyjętych kryteriów oceny należy uznać za wystarczający i umożliwiający realizację założonych celów badania.

Opis wyników zawarty w ocenianych publikacjach naukowych wskazuje na dobre rozeznanie Doktoranta w zakresie tematyki objętej badaniami. Autor w wyniku przeprowadzonych prac wykazał, że, najwyższym plonem suchej masy spośród badanych gatunków cechowała się topola (średnio $9,1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1} \text{ s.m.}$). Natomiast plon wierzby i robinii akacyjowej był niższy średnio o odpowiednio 6,5% i 47,5%. Zastosowane sposoby wzbogacania gleby generalnie wpłynęły pozytywnie na wzrost i rozwój SRWC, a tym samym na plon biomasy i jego wartość energetyczną w porównaniu do obiektów kontrolnych. Najlepsze efekty uzyskano w wariantach, w których elementem wzbogacania gleby była lignina, słabsze natomiast było oddziaływanie samego nawożenia mineralnego, zastosowanie szczepionki mikoryzowej oraz jednoczesne zastosowanie tych dwóch czynników. Ponadto gatunek SRWC w największym stopniu determinował wilgotność biomasy, zawartość popiołu, azotu, ciepło spalania i wartość opałową. Natomiast rotacja zbioru w dużym stopniu wpływała na zawartość węgla, wodoru i chloru w biomasie.

Dodatkowo mgr Paweł Stachowicz udowodnił, że produkcji peletu z mieszaniny biomasy drzewnej pochodzenia leśnego oraz z plantacji SRWC jest możliwa i uzasadniona. Stwierdził, że nie tylko pelety z trocin pochodzenia leśnego (sosny i brzozy) charakteryzowały się korzystnymi właściwościami termofizycznymi i składem elementarnym, ale również dodatek biomasy SRWC (wierzby, topoli i robinii

akacyjnej) do tych trocin umożliwiało uzyskanie peletów, które w większości parametrów spełniały wymagania norm jakościowych dla peletów ISO, PFI i KRFI. Jednak jakość uzyskanego peletu z mieszaniny biomasy pogarszała się (głównie w odniesieniu do wzrostu zawartości popiołu, azotu, siarki czy chloru) wraz ze wzrostem udziału biomasy SRWC w stosunku do czystych trocin z gatunków leśnych.

Ważny z praktycznego punktu widzenia jest wniosek wskazujący na to, że najniższe koszty (339,7 € Mg⁻¹) i nakłady energetyczne (1448 kWh Mg⁻¹) produkcji peletu stwierdzono w przypadku trocin sosny. Koszty produkcji peletu z topoli i wierzby były wyższe w zakresie odpowiednio 5-6%, a z robinii akacyjnej o 8,5% w porównaniu do peletu sosnowego. Natomiast nakłady energetyczne produkcji peletu z wierzby, robinii akacyjnej i topoli były wyższe o 48,1; 50,4 i 53,2%. Zwiększanie udziału biomasy SRWC z 25% przez 50% do 75% w stosunku do trocin sosny i brzozy powodowało wzrost kosztów i energochłonności oraz spadek wskaźników efektywności energetycznej produkcji peletów powstałych z tych mieszanin.

Wyniki prac badawczych i rozwojowych przedstawione w ocenianej rozprawie jednoznacznie uprawniają do pozytywnego zweryfikowania postawionych hipotez badawczych.

Dyskusja wyników badań ma charakter wielowątkowy i powstała w oparciu o obszerne piśmiennictwo zagraniczne i krajowe. Autor umiejętnie skonfrontował wynik badań własnych z danymi i opiniami innych autorów. Zawarte w podsumowaniu wnioski w większości zostały sformułowane w sposób poprawny, są one jednak nazbyt rozbudowane. W efekcie rozdział ten można bardziej uznać za podsumowanie niż wnioski. Świadczy o tym m.in. wniosek 7, który rozpoczyna się od niefortunnej frazy „Trzeba jednak podkreślić” i jest kontynuacją wyводу z wniosku 6. Zdecydowanej poprawy wymaga wniosek 5, którego druga część ma charakter komentarza.

Podsumowując należy stwierdzić, że Doktorant przygotowując ocenianą dysertację wykazał się odpowiednim poziomem ogólnej wiedzy teoretycznej z dyscypliny rolnictwo i ogrodnictwo. Legitymuje się również umiejętnością samodzielnej pracy naukowej. Nie ulega wątpliwości, że przygotowana przez mgr Pawła Stachowicza rozprawa stanowi oryginalne i cenne rozwiązanie postawionego problemu.

Niemniej jednak lektura przedmiotowej rozprawy skłania do przedstawienia kilku uwag o charakterze krytycznym oraz polemicznym, które w niczym nie umniejszają wartości merytorycznej pracy.

Uwagi:

- ✓ Biorąc pod uwagę, że podstawowy materiał źródłowy do pracy stanowiło doświadczenie wieloletnie założone w 2010 roku, a Doktorant nie był zaangażowany w jego prowadzenie co

najmniej w dwóch początkowych rotacjach, proszę o określenie wkładu mgr Pawła Stachowicza w zakresie pozyskania danych z tego okresu.

- ✓ Proszę o pogłębioną interpretację wyników wskazujących na korzystny wpływ na plonowanie i rozwój roślin wzbogacenia gleby ligniną przy mniejszym wpływie zastosowania ligniny w połączeniu ze szczepionką mikoryzową.
- ✓ Pewne zastrzeżenia budzi ostatnia hipoteza badawcza, która należy odbierać jako cel pracy, a nie hipotezę.
- ✓ Rozdział 3.1. wymaga uzupełnienia o informację dotyczące wielkości pojedynczego poletka doświadczalnego oraz całego obiektu.
- ✓ W rozdziale 3.2. nie wskazano ile roślin pobierano do badań i w ilu powtórzeniach.
- ✓ Interpretując uzyskane wyniki (rozdział 4.2.) Doktorant wskazuje, że największy wpływ na ilość, średnicę i wysokość pędów miała rotacja. Wnioskowanie należałoby uzupełnić o odniesienie do przebiegu warunków pogodowych (tab. 3) w poszczególnych latach, które mogły mieć kluczowe znaczenie dla ocenianych parametrów.
- ✓ Jak wytłumaczyć wzrost plonów robinii akacjowej i topoli w kolejnych rotacjach pomimo pogarszających się warunków pogodowych (wyższe temperatury, niższe opady).
- ✓ Doktorant wykazał, że największy udział w zmienności zawartości C, H i Cl miała rotacja zbioru, co jak podkreśla było zaskoczeniem. Proszę o pogłębienie wnioskowania w tej kwestii.
- ✓ Za mylne należy uznać stwierdzenie: „W związku z tym generalnie znacząco wzrosły koszty funkcjonowania społeczeństw, co z kolei wpłynęło na duży wzrost inflacji.” Wzrost kosztów nie jest przyczyną inflacji lecz jej skutkiem.
- ✓ Dyskusyjne jest podejście do analizy nakładów energetycznych gdzie uwzględniono nakłady na pozyskanie surowców SRWC, pominięto natomiast te związane z wykorzystaniem trocin sosny i brzozy. Powoduje to dość znaczne trudności interpretacyjne. Można było rozważyć przyjęcie zryczałtowanych (szacunkowych) wartości nakładów energetycznych wniesionych z trocinami sosny i brzozy.
- ✓ Rozdział 4.8. „Praktyczne znaczenie uzyskanych wyników” ma raczej charakter podsumowania opublikowany prac, uzupełniony dodatkowo o analizę skupień. W mojej ocenie w rozdziale tym zbyt mały nacisk położono na przedstawienie praktycznego znaczenia uzyskanych wyników, które jest niewątpliwie bardzo duże.

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr Pawła Stachowicza pt.: „*Produkcja i pozyskanie biomasy ligninocelulozowej oraz wytwarzanie z niej peletu*”. spełnia wymagania stawiane tego typu pracom w art. 187 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2022 poz. 574) i kwalifikuję Kandydata do ubiegania się o stopień doktora w dziedzinie nauk rolniczych w zakresie dyscypliny naukowej *rolnictwo i ogrodnictwo*. **W związku z powyższym zwracam się do Rady Naukowej dyscypliny rolnictwo i ogrodnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie o dopuszczenie mgr Pawła Stachowicza do dalszych etapów postępowania doktorskiego.** Ponadto biorąc pod uwagę trafność podjętej tematyki badań, bardzo duży zakres prac doświadczalnych, wysoki poziom przedłożonych do oceny publikacji oraz staranność w przygotowaniu rozprawy doktorskiej wnioskuję do Rady Naukowej dyscypliny rolnictwo i ogrodnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie o wyróżnienie niniejszej pracy doktorskiej stosowną nagrodą.



prof. dr hab. Mariusz Matyka

