

Poznań, dn. 29.05.2025 r.

Prof. dr hab. inż. Jacek Dach
Katedra Inżynierii Biosystemów
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Pawła Tryjarskiego
pt. „Waloryzacja odpadów płyty wiórowej do produkcji biopaliw”, wykonanej
w Instytucie Inżynierii Mechanicznej
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
nad którą opiekę naukową sprawowali promotorzy:
prof. dr hab. inż. Aleksander Lisowski oraz dr inż. Jakub Gawron

OCENA FORMALNA PRACY

Recenzję rozprawy doktorskiej wykonałem na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna SGGW w Warszawie, zgodnie z pismem Przewodniczącego Rady, prof. dra hab. inż. Marka Gaworskiego o wyznaczeniu mnie na recenzenta. Promotorem pracy jest Pan prof. dr hab. inż. Aleksander Lisowski, zaś promotorem pomocniczym Pan dr inż. Jakub Gawron.

Recenzowana przeze mnie praca doktorska posiada strukturę nieco odmienną od klasycznego układu prac doktorskich, bowiem składa się z dwóch części: polskojęzyczna treść dysertacji w formie autoreferatu oraz dołączone 3 opublikowane publikacje w uznanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym (jedna praca w Wood Science and Technology – 200 pkt wg MNiSW oraz dwie w European Journal of Wood and Wood Products – 140 pkt). Są to więc wysoko punktowane czasopisma, a załączone wieloautorskie publikacje mają wysoki udział Doktoranta (odpowiednio 80, 85 i 85%).

Część opisowa dysertacji zawarta na 62. stronach posiada klasyczną strukturę prac naukowych, zawiera bowiem takie rozdziały jak Wstęp, Przegląd literatury, Problem i hipotezy badawcze oraz cel i zakres pracy, Materiał i metodyka badań, Wyniki badań i dyskusja, Podsumowanie, Dalsze kierunki badań oraz Bibliografia. Bibliografia zawiera 100 pozycji literaturowych w bibliografii, wśród których zdecydowana większość (98 pozycji) jest

anglojęzyczna. Biorąc pod uwagę również cytowania w załączonych publikacjach - świadczy to o bardzo szerokim korzystaniu Doktoranta ze źródeł bibliograficznych.

W pracy Doktorant załączył również obszerny słowniczek oznaczeń stosowanych w rozprawie, co ułatwia lekturę.

SZCZEGÓŁOWA OCENA PRACY

a) Wybór tematyki rozprawy doktorskiej

Tematyka recenzowanej dysertacji obejmuje waloryzację odpadów płyt wiórowych do produkcji różnego rodzaju biopaliw (stałych - peletów i biogazu). Jest to obszar badawczy szczególnie pożądaný do realizacji zarówno z punktu widzenia naukowego (efektywne wykorzystanie odpadów drzewnych staje się ważną kwestią w obliczu wejścia UE na ścieżkę polityki Zielonego Ładu i wymaga rozwoju nowych technologii), jak i gospodarczego (odpady drzewne, a w szczególności płyty wiórowe, stanowią duży problem w ich racjonalnym zagospodarowaniu). Stąd podjęcie przez Doktoranta tej tematyki uważam za celowe i wpisujące się w obecne trendy technologiczne jak i gospodarcze. W szczególności interesujące jest podjęcie przez Doktoranta próby zastosowania biologicznej obróbki wstępnej odpadów drzewnych (w tym wypadku płyt wiórowych zawierających dodatkowo substancje chemiczne) w celu produkcji biogazu. W powszechnej opinii przyjęto się bowiem, że biomasa drzewna czy odpady drzewne nie są „fermentowalne”, gdyż lignina, stanowiąca znaczną część tejże biomasy, nie rozkłada się bez dostępu tlenu (odpady drzewne można kompostować, a nie fermentować). Oczywiście są możliwe rozwiązania wpływające na rozpad ligniny, zwiększające dostęp do celulozy i w efekcie wpływające na możliwość fermentacji odpadów drzewnych, jednak ich zastosowanie w praktyce gospodarczej jest obecnie ekonomicznie nieuzasadnione.

Tymczasem podjęcie przez Doktoranta badań nad zastosowaniem, jako obróbki wstępnej odpadów płyty wiórowej, wstępnej obróbki biologicznej w postaci zainfekowania ich grzybnią bocznika ostrygowatego wydaje się być bardzo interesującym pomysłem na opracowanie taniej i wydajnej technologii przetworzenia problematycznego materiału na wartościową „zieloną” energię. Warto bowiem podkreślić, że metoda biologicznej obróbki wstępnej substratów trudnorozkładalnych (bądź nierozkładalnych) w procesie fermentacji może przynieść bardzo dobre efekty. W Pracowni Ekotechnologii UPP w latach 2012-2014 realizowano projekt „Polskie szczepy Trichoderma w ochronie roślin i zagospodarowania

odpadów organicznych”, w trakcie którego wykazano, że zastosowanie niektórych szczepów grzybów *Trichoderma* (z podwyższoną produkcją enzymu celulazy) do wstępnej obróbki słomy może zwiększyć wydajność produkcji biogazu o nawet blisko 60%. W recenzowanej pracy badaniom poddano jednak odpad płyty wiórowej, znacznie trudniejszy do fermentacji z uwagi na wyższą zawartość ligniny w porównaniu do słomy, jak i obecność środków chemicznych (żywicy mocznikowo-formaldehydowej użytej w celu scalania płyt) mogących działać inhibicyjnie na proces fermentacji.

b) Cel pracy, problem i hipotezy badawcze

Na podstawie ogólnie znanej wiedzy odnośnie problemów z wykorzystaniem odpadów drzewnych do procesu fermentacji oraz braku informacji na temat wykorzystania grzybów (a konkretnie bocznika ostrygowatego) do obróbki wstępnej odpadów płyty wiórowej, Doktorant sformułował w sposób jawny problem badawczy, który zawarł w dwóch pytaniach: „Czy *biologiczna obróbka wstępna z użyciem bocznika ostrygowatego może skutecznie rozłożyć wióry sosnowe i topolowe, szczególnie te w płytach wiórowych zawierających UF?*” oraz „Czy *obróbka wstępna poprawi właściwości mechaniczne rozdrobnionej biomasy, zwiększając w ten sposób wytrzymałość aglomeratów i wydajność metanu?*”. Takie sformułowanie problemu uważam za właściwe. Na tej podstawie Doktorant sformułował dwie hipotezy badawcze w następującej formie:

1. *Biologiczna obróbka wstępna w określonym czasie z użyciem *P. ostreatus* prowadzi do znacznego rozkładu ligniny i hemicelulozy w wiórach drzewnych i płytach wiórowych, zwiększając tym samym dostępność celulozy i poprawiając właściwości mechaniczne rozdrobnionego materiału (kąty tarcia wewnętrznego, spójność, ścinanie i naprężenia konsolidacyjne).*
2. *Zmiany podczas obróbki wstępnej drewna i płyt wiórowych z użyciem *P. ostreatus*, zwiększą zdolność zagęszczania podczas procesu aglomeracji ciśnieniowej, co skutkuje większą wytrzymałością pastylek. Przemiana materiału ułatwi również skuteczniejszą fermentację beztlenową i zwiększy wydajność biogazu i metanu.*

Autor sformułował również 2 cele pracy:

1. *Zbadanie wpływu obróbki wstępnej płyt wiórowych bocznikiem ostrygowatym na właściwości fizykochemiczne wiórów topolowych i sosnowych oraz płyt wiórowych.*
2. *Sprawdzenie, w jakim stopniu obróbka wstępna wiórów topolowych i sosnowych oraz płyt wiórowych pozwoli usprawnić proces aglomeracji ciśnieniowej, poprawić*

właściwości mechaniczne aglomeratów oraz zwiększyć wydajność wytwarzania biogazu i metanu.

Na podstawie tak sformułowanych celów pracy (jak i problemu badawczego oraz hipotez) można stwierdzić, że Doktorant słusznie skupił się na eksploracji obszaru niewiedzy w zakresie wpływu obróbki mechanicznej i biologicznej na rozkład ligniny i hemicelulozy, a w konsekwencji na właściwości mechaniczne granul i ich podatność na fermentację metanową.

c) Publikacje składające się na dysertację doktorską

Doktorant przedstawił jako publikacje stanowiące kluczową część rozprawy doktorskiej 3 prace uszeregowane wg kolejności realizowanych badań. W skład zestawu publikacji wchodzi następujące pozycje:

1. Paweł Tryjarski, Aleksander Lisowski, Jakub Gawron, Paweł Obstawski. 2023. Physicomechanical properties of raw and comminuted pine and poplar shavings: energy consumption, particle size distribution and flow properties. *Wood Science and Technology* 57(3): 625–49.
2. Paweł Tryjarski, Aleksander Lisowski, Jakub Gawron. 2024. Pressure agglomeration of raw, milled and cut-milled pine and poplar shavings: assessment of the compaction process and agglomerate strength. *European Journal of Wood and Wood Products* 82(3): 885–903.
3. Paweł Tryjarski, Aleksander Lisowski, Adam Świętochowski. 2025. Pretreatment of pine and poplar particleboards with *Pleurotus ostreatus* (Jacq.): physicomechanical and chemical properties of wood, potential of solid fuel and biogas production. *European Journal of Wood and Wood Products* 83:34.

Wszystkie trzy prace zostały opublikowane w czasopismach o wysokiej punktacji (odpowiednio 200, 140 i 140 punktów wg klasyfikacji MNiSW), a oba czasopisma (wydawnictwo Springer Nature), w których zostały zamieszczone publikacje są zaliczane do dyscypliny inżynieria mechaniczna. Warty podkreślenia jest przeważający wkład autorski Doktoranta w tych trzech artykułach naukowych stanowiących część rozprawy. W pracy (1) *Physicomechanical properties of raw and comminuted pine and poplar shavings: energy consumption, particle size distribution and flow properties* – 80%, w pracy (2) *Pressure agglomeration of raw, milled and cut-milled pine and poplar shavings: assessment of the compaction process and agglomerate strength* – 85%, podobnie w pracy (3) *Pretreatment of*

pine and poplar particleboards with Pleurotus ostreatus (Jacq.): physicommechanical and chemical properties of wood, potential of solid fuel and biogas production – również 85%.

Reasumując należy stwierdzić właściwy wybór czasopism – a zamieszczone publikacje (już zrecenzowane przez międzynarodowe grono ekspertów) mają wysoki poziom naukowy, przedstawiają oryginalne badania nad mechaniczno-biologicznymi metodami waloryzacji problematycznych odpadów płyty wiórowej, a tym samym wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna.

d) Ocena spójności pracy

Przedstawiona mi do oceny praca składa się z polskojęzycznej części opisowej z dołączonym, kluczowym elementem jakim jest zbiór trzech publikacji. Doktorant uszeregował je wg logicznego rozwoju realizowanych badań. W pierwszej publikacji poddał badaniom wióry drzewne: właściwości fizykomechaniczne przed i po rozdrabnianiu mechanicznym, jednocześnie uzyskując cenną wiedzę w zakresie energetycznych aspektów tego procesu (rozdrabnianie poprzez cięcie i mielenie było bardziej efektywne niż samo tylko mielenie). W kolejnej publikacji Doktorant przedstawia badania wytworzonych ciśnieniowo granul, peletów i pastylek oraz przeprowadza analizę ich właściwości fizycznych i wytrzymałościowych. Podkreślił decydującą rolę zawartości związków lignocelulozowych (zwłaszcza celulozy) w tworzeniu agregatów oraz wykazał, że rozdrobnienie w postaci cięcia-mielenia bardziej sprzyja obróbce ciśnieniowej i wpływa lepiej na właściwości wytrzymałościowe agregatów niż samo mielenie. Trzecia publikacja zawiera wyniki doświadczeń z biologiczną obróbką z zastosowaniem grzybni bocznika rozdrobnionych płyt i wiór pod kątem fermentacji metanowej i aglomeracji ciśnieniowej. W jej efekcie uzyskano bardzo wyraźny wzrost stopnia biodegradowalności badanych materiałów, czego efektem był kilkukrotny wzrost produkcji metanu. Jest to niezwykle ważny wynik wskazujący na ogromny potencjał nowej metody recyklingu odpadów drzewnych (w tym nasączonych substancjami chemicznymi) w drodze fermentacji metanowej. Uważam to za duży wkład Doktoranta w rozwój badań, bowiem do tej pory środowisko biogazowe wykluczało możliwość stosowania odpadów drzewnych jako substratów do fermentacji. Zmusza to również operatorów biogazowni komunalnych do rozdzielania strumieni odpadów zielonych na trawę i liście możliwe do fermentacji oraz odpady drzewne – do procesu kompostowania, ewentualnie do mało efektywnej energetycznie tzw. fermentacji suchej, gdzie możliwe jest stosowanie zmieszanych odpadów zielonych, jednak drewno i jego odpady są wówczas

niefermentującym „balastem”. Oczywiście między uzyskanymi w skali laboratoryjnej wynikami, a gotową do komercyjnego wdrożenia technologią biologicznej obróbki wstępnej odpadów drzewnych jest jeszcze duży obszar niewiedzy, ale mocno zachęcam Doktoranta do dalszego kontynuowania badań w tym zakresie – zresztą sam Doktorant wskazał (w punkcie 6. pracy) dalsze kierunki badań, które powinny być w tym zakresie realizowane.

UWAGI KRYTYCZNE

Doktorant sformułował problem badawczy w postaci dwóch pytań, na które pozytywnie odpowiedział w części wynikowej pracy. Szkoda jednak, że we wnioskach odpowiedzi na pytania stanowiące problem badawczy znalazły się na dwóch końcowych pozycjach – a powinny być wspomniane jako pierwsze (wszak stanowią rozwiązanie problemu badawczego).

Praca zawiera bardzo rozbudowany zakres badań i jest to jej wielką zaletą. Szkoda jednak, że Autor nie pokusił się o dodanie na wstępie pracy abstraktu graficznego zawierającego schemat blokowy realizowanych doświadczeń, co uczyniłoby plan badań bardziej przejrzystym.

W trakcie analizy tekstu rozprawy pojawiły mi się również liczne pytania, które przedstawiam poniżej:

- Jakie były kryteria podziału uzyskiwanych materiałów na tzw. pelety, pastylki i granule? Czy pod tą nazwą nie powinny kryć się po prostu pelety różnych rodzajów? Zdjęcie (fig. 2) przedstawione w publikacji nr 2 nie daje wyraźnej odpowiedzi...
- Dlaczego do wytworzenia płyt wiórowych wybrano drewno topoli? Jest to gatunek drzewa powszechnie uważany za raczej mało wartościowy z gospodarczego punktu widzenia z uwagi na drewno o niskich parametrach wytrzymałościowych?
- Czy w trakcie badań stwierdzono jakieś działanie inhibicyjne żywicy mocznikowo-formaldehydowej zawartej w płytach wiórowych na rozwój grzybni?
- Z badań wynika także, że pod wpływem działania grzybni wrosła wytrzymałość pastylek, choć zmniejszyła się zawartość ligniny – będącej wszak swoistym lepiszczem. Czym można wytłumaczyć to zjawisko?
- Czym było, skąd pochodziło inokulum użyte w badaniach fermentacyjnych?

- Dlaczego na rys. 2 (fig. 3 w publikacji nr 3) produkcja metanu z próbki oznaczonej jako INOC (inokulum) była wyższa od produkcji próbek POBR, PISR i PIBR? Wszak te próbki powinny mieć produkcję metanu z inokulum plus dodatkową produkcję z badanych próbek.
- Dlaczego na tym samym rysunku (rys. 2) w próbkach oznaczonych jako PIST, PIBT i PIBR w końcowym czasie fermentacji ilość wyprodukowanego metanu się... zmniejsza? Jeżeli jest to wykres skumulowanego uzysku, to koniec procesu fermentacji powinien kończyć się linią poziomą (brak dalszej produkcji), a nie opadać.
- Choć nie było to przedmiotem badań – czy mógłbym poprosić Doktoranta o opinię w zakresie możliwości zastosowania pofermentu po fermentacji odpadów płyt wiórowych (zwłaszcza zanieczyszczonych substancjami chemicznymi) jako nawozu rolniczego – gdyby w przyszłości ta technologia została wdrożona w skali rzeczywistej?

Nadmienię jednak, że powyższe uwagi krytyczne nie zmieniają mojej pozytywnej oceny całości pracy.

WNIOSKI KOŃCOWE

Recenzowana przeze mnie dysertacja podejmuje problematykę waloryzacji odpadów drzewnych na przykładzie płyt wiórowych. Podjętą tematykę uważam za ważną zarówno z naukowego jak i gospodarczego punktu widzenia, dlatego zachęcam Doktoranta do dalszych badań w tym zakresie (co zresztą sam zaproponował w punkcie 6. dysertacji: dalsze kierunki badań). Recenzowana rozprawa posiada dobrze przemyślany plan badań, wykorzystuje właściwe metody badawcze (wpisujące się nota bene w dyscyplinę inżynieria mechaniczna), a same badania zostały przeprowadzone rzetelnie i w szeroki sposób opisane oraz zinterpretowane z wykorzystaniem rozbudowanej bibliografii. Pomimo faktu, iż część przeprowadzonych badań miała charakter energetyczny, jednoznacznie stwierdzam, że rozprawa doktorska mgra inż. Pawła Tryjarskiego wpisuje się w dyscyplinę naukową inżynieria mechaniczna. Zawiera ona oryginalne rozwiązanie postawionego w postaci dwóch pytań problemu naukowego, dowodzi szerokiej wiedzy teoretycznej i praktycznej Doktoranta i Jego umiejętności samodzielnego prowadzenia badań w zakresie nauk inżyniersko-technicznych, w szczególności w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

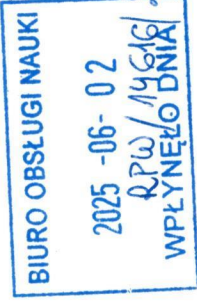
Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska przedłożona przez mgra inż. Pawła Tryjarskiego spełniła ustawowe wymagania do ubiegania się o stopień naukowy doktora,

zawarte w Ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz.U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.).

Na tej podstawie kieruję wniosek do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie o dopuszczenie mgra inż. Pawła Tryjarskiego do dalszych etapów postępowania i publicznej obrony rozprawy doktorskiej.


Prof. dr hab. inż. Jacek Dach

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
BIURO OBSŁUGI NAUKI
02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
tel.: 22 69-91409



Prof. MAREK GAWORSKI

ACEK DACH
p. POZNAN