

**rozprawy doktorskiej mgr inż. mgr inż. Pawła Tryjarskiego
pt. "Waloryzacja odpadów płyty wiórowej do produkcji biopaliw"**

Podstawą formalną niniejszej recenzji jest Uchwała Rady dyscypliny inżynieria mechaniczna SGGW w Warszawie oraz pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, Pana prof. dr hab. inż. Marka Gaworskiego, Recenzowana rozprawa Pana mgr inż. Pawła Tryjarskiego została napisana pod kierunkiem Pana promotora prof. dr hab. inż. Aleksandra Lisowskiego oraz Pana promotora pomocniczego dr. inż. Jakuba Gawrona.

1. Tematyka rozprawy

Problemy z zagospodarowaniem odpadów powstałych przy obróbce płyt wiórowych, ograniczenia środowiskowe stanowią główne wyzwania nad rozwojem metod ich utylizacji, metod akceptowalnych nie tylko przez wymogi środowiskowe ale również i pod względem procesowym. Proste deponowanie odpadów na składowiskach, ze względu na niebezpieczeństwo zatrucia wód gruntowych oraz emisję do środowiska amoniaku jest nieakceptowalne. Zatem, należy opracować technologię zagospodarowania odpadów z obróbki płyt wiórowych która winna być na tyle perspektywiczna, aby sprostać będzie ciągłemu wzrostowi masy powstałych odpadów. Problem ich waloryzacji dotyczy nie tylko Polski, gdzie roczna produkcja wynosi ok. 6 mln m² ale i całego świata: w krajach UE roczna produkcja wynosi ok. 30mln m², zaś na całym świecie ok. 100 mln m². Bezpośrednie spalanie powstałych z obróbki tego surowca odpadów jest jedynie możliwe w przemyśle cementowym lub specjalistycznych spalarniach wykorzystujących procesy pirolizy (np. w spalarni odpadów komunalnych zarządzanych przez Krakowski Holding Komunalny). Temu wyzwaniu wychodzi naprzeciw recenzowana rozprawa doktorska. Doktorant podjął próbę waloryzacji tych odpadów, czyli ich przetworzenia na produkt posiadający nowe cechy użytkowe. Cechami tymi była ich fizyczna postać (pastylki, pelety, granule) oraz alternatywne, względem spalania, wykorzystanie odpadów jako substrat do wytwarzania

biogazu. Istotnym problemem bezpośredniego spalania jest zawartość w nich klejów zawierających żywice mocznikowo-formaldehidowej oraz innych substancji uniemożliwiających ich bezpieczne (ze względów środowiskowych i procesowych) termiczne przetwarzanie. Zawarte w tych odpadach syntetyczne spoiwa, utrudniają ich rozkład i bezpośrednie wykorzystanie. Badane odpady stanowiły substrat do wzrostu boczniaka ostrygowatego. Z przytoczonego przeglądu literatury wynika, że boczniak był już wykorzystywany do wytwarzania biogazu z kiszonki kukurydzianej, słomy ryżowej, odpadów powstałych po tłoczeniu oleju z palmy olejowej, liści banana oraz drewna brzozy. Reasumując, problematyka badawcza w przedkładanej do recenzji rozprawie jest innowacyjna i posiada cechy problemu naukowego.

2. Ocena formalna

Recenzowana rozprawa stanowi cykl 3-ech wieloautorskich publikacji naukowych wydanych w dwóch renomowanych periodykach naukowych, w których Doktorant posiada w nich od 80 (w przypadku jednej pracy) do 85% udział (dla dwóch pozostałych). Dokumentacja pracy zawiera również Autoreferat w którym Doktorant zamieścił:

- wymagane oświadczenia o samodzielnym opracowaniu,
- streszczenie (w j. polskim i angielskim),
- część merytoryczną związaną ściśle z tematyką pracy w której zawarte są: wstęp, przegląd literatury, problem badawczy, przyjęte hipotezy oraz cel i zakres pracy, materiał i metodyka badań, wyniki i dyskusja, podsumowanie, kierunki dalszych badań, bibliografia.

Można więc stwierdzić, że układ tego opracowania jest takim, jakie zawiera każda praca promocyjna. Dodatkowo, Doktorant w tym opracowaniu, zamieścił pełne teksty opublikowanych prac wraz z oświadczeniami o Jego wkładzie w ich przygotowanie oraz podziękowania dla współpracowników. W autoreferacie znajduje się wykaz również symboli, które zostały wykorzystane w publikacjach stanowiących osiągnięcie Doktoranta. Opublikowane prace zostały przygotowane na Wydziale Inżynierii Produkcji SGGW, a promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Aleksander Lisowski. Tematyka rozprawy obejmuje zatem problemy badawcze, które mieszczą się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna (analiza procesu rozdrabniania, właściwości mechaniczne uzyskanych aglomeratów), zaś Rada Naukowa Dyscypliny posiadając szereg specjalistów (również tych, których prace mieszczą się dyscyplinie pokrewnej- inżynieria środowisko, górnictwo i energetyka), jest kompetentna do przeprowadzenia postępowania.

3. Ocena merytoryczna

Rozważany problem badawczy w przedkładanej pracy (zarówno w cyklu publikacji jak i przygotowanym Autoreferacie) dotyczy istotnych zagadnień przekształcania odpadów powstałych po obróbce płyt wiórowych na inne produkty posiadające cechy użytkowe. Przeanalizowano zagadnienia związane z ich aglomeracją ciśnieniową oraz wykorzystaniem ich na cele wytwarzania biopaliw gazowych.

W przeglądzie literatury, Doktorant wykazał 100 pozycji naukowych ściśle nawiązujących do analizowanej problematyki badawczej, z czego 55 pozycji są to publikacje nie wykazane w trzech artykułach będących w wykazie jako cykl publikacji. Rozdział ten zawiera informacje o budowie i materiałach wykorzystywanych w produkcji płyt wiórowych oraz sposobach zagospodarowania powstałych z ich obróbki odpadów. Opisuując wykorzystanie odpadów poprzez ich aglomeracje Doktorant stwierdził, że istnieją rekomendacje do wytwarzania brykietów i peletów z odpadów płyt wiórowych.

Porównując zacytowane prace z ich wykazem w rozdziale „Bibliografia” można zauważyć, że nie była cytowana praca: Paul S., Dutta A. 2018. *Challenges and opportunities of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion. Resources, Conservation and Recycling*, 130 (November 2017), 164–174. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.12.005. Również, z racji braku precyzji w oznaczeniu w dołączonym wykazie prac (w sumie 4 prace), trudno je identyfikować w analizowanym przeglądzie literatury.

W podsumowaniu tej części Doktorant wskazał, że istnieje luka w dostępnych pracach związanych z procesami przetwarzania odpadów w aglomerowaną postać, prac, które zawierać powinny analizę nie tylko procesu, ale również obejmujące m.in. zagadnienia nakładów energii oraz parametrów opisujących cechy fizyczne rozdrabnianego materiału.

Zawarte w recenzowanym opracowaniu wyniki prac badawczych z zakresu wytwarzania biogazu obejmują stosowanie biomasy lignocelulozowej wraz z określeniem jej głównych składników strukturalnych istotnych w procesie, a także określenie wpływu parametrów procesu na przebieg reakcji w fermentacji anaerobowej podczas pozyskiwania biogazu. Doktorant zamieścił również wyniki prac w których analizowano relacje C/N w uzyskaniu metanu w wyniku reakcji anaerobowej przy wykorzystaniu jako substratu rozdrobnionych części z topoli i sosny zaznaczając, że w przypadku, gdy proporcja C/N przekracza wartość 100 następuje wtedy pogorszenie przebiegu tej reakcji. Autoreferat zawiera również wyniki prac badawczych nad wstępną obróbką biomasy mającej na celu niszczenie ścian komórkowych oraz włókna, co w konsekwencji powoduje, że biomasa lignocelulozowa jest bardziej podatna na biokonwersję w biogaz lub etanol. W końcowej części przeglądu

literatury, Doktorant przedstawił wyniki prac badawczych nad wykorzystaniem metody biologicznej, jako sposobu skrócenia reakcji anaerobowych, w wytwarzaniu biogazu wraz z argumentami przemawiającymi za wykorzystaniem w obróbce wstępnej substratu boczniaka ostrygatego.

Z analizy tej części autoreferatu wynika jednoznacznie, że sposób zagospodarowania odpadów jest problemem naukowym, bowiem istnieje luka wiedzy nie tylko w analizie ich przekształcania w procesie aglomeracji (parametry decydujące o trwałości aglomerowanej biomasy, nakładów energii), ale również jaki będzie efekt końcowy w postaci ilości i jakości biogazu przy poddaniu ich wstępnej obróbce biologicznej.

W kolejnym rozdziale autoreferatu Doktorant zamieścił cel i zakres pracy, rozważany problem naukowy sformułował w postaci dwóch pytań. Odpowiedź na te pytania są zawarte w przyjętych dwóch hipotezach. Sformułowane hipotezy są ściśle powiązane z rozważanym problemem jednak w mojej opinii Doktorant nie ustrzegł się niejednoznaczności, bowiem jak zmierzyć użyte określenie „...prowadzi do znacznego rozkładu ligniny i hemicelulozy...” jest niemierzalne, kiedy stwierdzić, czy właściwości mechaniczne rozdrobnionego materiału zostały znacznie zmienione?

Doktorant precyzyjnie opisał metodykę badań oraz wykorzystaną aparaturę (wraz z precyzyjnym podaniem typu oraz producenta) oraz podał źródło pochodzenia wykorzystywanych do badań surowców. Nasuwa się pytanie: na ile parametry stosowanych urządzeń do rozdrabniania odpadów w laboratoryjnym młynku nożowym są porównywalne z urządzeniami stosowanymi w skali przemysłowej, podobnie czy tłok i matryca wykorzystywane w przemysłowym procesie aglomeracji jest również wykonana ze stali chromowej? Z kolei, analizując fragment opisujący przygotowanie wiór surowych i ciętych oraz cięto-mielonych wiór i płyt wiórowych do obróbki przed zaszczepianiem ich grzybnia boczniaka poddawano sterylizacji metodą radiacyjną, nasuwa się pytanie: dlaczego zdecydowano się na tę metodę eliminacji niepożądanych mikroorganizmów, a nie zastosowano np. sterylizacji cieplnej, czy chemicznej? Ponadto dlaczego zastosowano taką dawkę ekspozycji (28 kGy) oraz jaki był czas ekspozycji zastosowanego promieniowania jonizującego?

Analizując wyniki badań, Doktorant odnotował, niezależnie od rodzaju użytego surowca, zwiększenie zużycia energii przez młynek w procesie cięcio- mielenia, w stosunku do mielenia, jednak ten sposób rozdrabniania cechował się większą efektywnością energetyczną oraz jest on rekomendowanym w przypadku transportu rozdrobnionych cząstek w procesie ich aglomeracji. Doktorant, oprócz standardowych cech charakteryzujących

proces rozdrabniania oraz parametrów opisujących powstałe cząstki (kohezja, sypkość, kąt tarcia wewnętrznego i zewnętrznego, a więc cech zapewniających stabilny i ciągły przepływ rozdrobnionego materiału), uwzględnił w analizie również relacje gęstości utrzesionej do gęstości nasypowej luźnej cząstek oraz ich ściśliwość, a więc parametrów przydatnych w transporcie powstałych cząstek. Na podstawie przeprowadzonej analizy rozkładu wymiaru cząstek stwierdził, że cząstki cięte-mielone były bardziej kuliste i miały większą sypkość niż cząstki mielone. Z tej analizy Doktorant rekomenduje zalecenia praktyczne, że cięcie-mielenie analizowanej biomasy, ze względu na poprawę właściwości cząstek jest wskazaną metodą rozdrabniania (zwłaszcza w przypadku wiórów utrzymywanych z biomasy o wilgotności około 15%). Szczegółowa analiza procesu, parametry geometryczne, rozkład uzyskanych cząstek znajduje się w pierwszym artykule stanowiącym cykl publikacji [Tryjarski i in., 2023]. Podsumowując ten fragment pracy można stwierdzić, że uzyskane wyniki zwiększają wiedzę naukową, a poprzez określenie metody rozdrabniania również posiadają znamiona aplikacyjności.

W analizie uzyskanych efektów zawartych w drugiej publikacji, stanowiącej osiągnięcie rozprawy [Tryjarski i in. 2024] Doktorant szczegółowo opisał proces aglomeracji ciśnieniowej rozdrobnionego materiału przed obróbką wstępną wraz z określeniem właściwości wytrzymałościowych aglomeratów. Analizie poddano wióry surowe (wykonane z sosny oraz topoli) uzyskane z procesu cięcia- mielenia oraz mielenia. W wyniku badań Doktorant odnotował, że formowanie aglomeratów w matrycy o większej średnicy było mniej korzystne energetycznie stwierdzając jednocześnie, że jej wzrost powodował zmniejszenie pracy przy wyciskaniu aglomeratów zmniejszoną ekspansją po opuszczeniu matrycy. Porównując aglomeraty wytworzone z wiórów sosnowych odnotowano, że wymagały one, w porównaniu z wiórami z topoli, większej pracy oraz cechowały się większą gęstością, wytrzymałością oraz mniejszą ekspansją liniową. Doktorant zawarł również hipotezę wyjaśniającą zauważonej relacji między rodzajem materiału wykorzystanego do produkcji aglomeratów a zmianą wytrzymałości, stwierdzając w konkluzji, że pomimo mniejszej odporności aglomeratów wytworzonych z wiór z topoli na działanie wody, surowiec ten jest perspektywicznym substratem do wytwarzania płyt wiórowych. W cytowanej pracy, przeanalizowano również nakłady energetyczne ponoszone w procesie aglomeracji w zależności od postaci produktu finalnego (pastylki, pelety i granule) wraz z podatnością tego surowca na zagęszczenie. Analizując wytrzymałość peletów (w zależności od użytego w procesie aglomeracji surowca) Doktorant odnotował różnice w wytrzymałości peletów na

zginanie (określane metodą trójpunktową) zamieszczając równocześnie hipotezę wyjaśniającą zauważone zjawisko.

Analizując autoreferat zauważono, że spostrzeżenia dotyczące nakładów energetycznych oraz rekomendacje co do sposobów wytwarzania cząstek znajdują się podobne stwierdzenia jak w części 4.1 (Właściwości fizykomechaniczne wiórów drzewnych).

W publikacji omawiającej wpływ waloryzacji odpadów wstępną biologiczną obróbką (za pomocą bocznika ostrygowatego) na wytwarzane biopaliwa stałe i biogaz (publikacja: Tryjarski i in., 2025) Doktorant analizował właściwości mechaniczne oraz ilość i jakość biogazu po 17-tygodniowym traktowaniu surowców bocznikiem ostrygowatym. Z tak przygotowanego materiału, jako surowce wykorzystano: wióra topolowe i sosnowe oraz odpady z przygotowanej specjalnie do badań jednowarstwowej płyty wiórowej wykonanej na bazie topoli i sosny. Nasuwa się pytanie, czy płyta wykonana na potrzeby doświadczeń posiada walory płyty produkowanej w warunkach produkcji przemysłowej?

Doktorant stwierdził, że w wyniku obróbki wstępnej bocznikiem, podczas rozdrabniania nastąpiła redukcja średnicy cząstek (najbardziej zauważalna dla wiór sosnowych, a najmniej dla wiór z płyty sosnowej). Dla wszystkich rodzaju wiór, odnotowano również ujednolodnienie średnicy, statystycznie istotną zmianę parametrów wytrzymałościowych większości parametrów oraz zmniejszenie ciepła spalania wytworzonych granulatów. Badano również wielkości pracy wykonanej na zagęszczanie dla próbek poddanych obróbce biologicznej. Doktorant odnotował istotną zmianę wilgotności badanych próbek podając również hipotezy wyjaśniające powodujące te zmiany. W podsumowaniu stwierdzono, że obróbka wstępna bocznikiem pozytywnie wpływa na właściwości fizykochemiczne rozdrobnionych płyt wiórowych i proces ich aglomeracji ciśnieniowej.

Podsumowując ten fragment autoreferatu uzyskanych wyników (związanych z właściwościami mechanicznymi) można stwierdzić pewien niedosyt przeprowadzonych analiz, które świadczyłyby o przydatności aplikacyjnej powstałych granulatów. Skoro, w wyniku aglomeracji ciśnieniowej analizowane surowce z których wytwarzane cechowały się jako postaci granulatów to logicznym wydaje się, aby wyniki badań zawierały parametry, które są zawarte w normie branżowej (PN-EN ISO 17225). Wg tej normy o aplikacyjnej przydatności powstałych granul (których kształt jest zbliżony do peletu) wymagana jest znajomość parametrów jakościowych, w tym m.in.: wytrzymałość mechaniczna i gęstość usypowa produktu, zawartość popiołu i jego temperatura topliwości popiołu, wartość opałowa, oraz dopuszczalna zawartość pierwiastków. Recenzowana praca niewątpliwie

posiada duży walor poznawczy, jednak bez wyszczególnionych powyżej parametrów znikome wartości użytkowe.

Analizując uzyskane wyniki w zakresie jakości biogazu z wymienionych powyżej surowców poddanych działaniu bocznika można zauważyć, że skumulowany uzysk biogazu po obróbce wstępnej materiałów w analizowanych surowcach znacząco wzrósł. Doktorant odnotował, względem substratów nie poddanych obróbce biologicznej, dodatnią korelację zawartości metanu i wodoru w biogazie z zawartością ligniny w substracie oraz ujemną dla CO₂. Przeanalizował również korelacje między zawartością celulozy i hemicelulozy, a jakością uzyskanego biogazu.

Podsumowując ten fragment uzyskanych wyników można również zauważyć niedosyt informacji, wynikających z braku porównania zawartości pierwiastków w pofermencie przed i po przygotowaniu wstępnych próbek za pomocą obróbki biologicznej, dotyczących jego jakości uzyskanego z badanych substratów, słowem: czy jest możliwe jego wykorzystanie jako użyźniacz glebowy? Doktorant wspomina w kierunkach dalszych badań, że poferement można wykorzystać jedynie do wytwarzania biowęgla lub syngazu.

Zawarte w autoreferacie wnioski wynikają z przeprowadzonych analiz oraz potwierdzają przyjęte hipotezy badawcze. Doktorant pod mało precyzyjnym pojęciem użytym w hipotezie 1 (...prowadzi do znacznego rozkładu ligniny i hemicelulozy...) rozumie statystycznie istotne różnice między próbkami testowymi a próbkami poddanej biologicznej obróbce wstępnej za pomocą bocznika ostrygowatego. Zawarte w podsumowaniu kierunki dalszych badań świadczą o dobrym rozeznaniu Doktoranta w omawianej problematyce i są wynikiem przeprowadzonych badań.

W tekście przedłożonego referatu zauważono kilka nieścisłości:

- niejednoznacznie cytowana literatura: nazwisko i rok wydania oraz inicjał imienia nazwisko i rok wydania (np. Mayer-Laigle i in. 2018 oraz Mateusz Stasiak i in. 2020, M Stasiak i in. 2018, F. Monlau i in. 2012 i Florian Monlau i in. 2013),
- brak rozróżnienia w przeglądzie literatury między pracami, np.: *Monlau F., Barakat A., Steyer J. P., Carrere H. 2012.* oraz *Monlau Florian, Sambusiti C., Barakat A., Guo X. M., Latrille E., Trabaly E., Steyer J. P., Carrere H. 2012, Kainthola J., Kalamdhad A. S., Goud V. V. 2019* oraz *Kainthola J., Kalamdhad A. S., Goud V. V., Goel R. 2019.* Czytelnik nie jest pewien, czy obydwie prace były cytowane w podrozdziale: 2.3.2 Spalanie odpadów
- w wykazanym zestawie symboli (tabela 1) widnieją symbole: E_{jp} , E_{jb} , E_p , E_b , zaś w wykazie oznaczeń tylko: E_j jako energochłonność rozdrabniania wiórow.

4. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę oryginalny charakter pracy, jej walory poznawcze i wartość aplikacyjną, pomimo zasygnalizowanych uwag uważam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim (art. 187. Ust. 1, 2 i 3 Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym: Dz.U. z 2023r. poz. 742) i przyczynia się do rozwiązania sformułowanego problemu badawczego. Rozprawa stanowi wkład w rozwój inżynierii mechanicznej. Stąd wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna SGGW o przyjęcie i dopuszczenie pracy mgr inż. Pawła Tryjarskiego pt.: „Waloryzacja odpadów płyty wiórowej do produkcji biopaliw” do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.



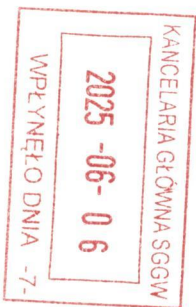


UNIWERSYTET ROLNICZY
Im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I ENERGETYKI
30-149 Kraków, ul. Balicka 116 B
tel. +4812 662 4610, +4812 662 4611,
tel. +4812 662 4612, e-mail: wipie@urk.edu.pl
adres do korespondencji: 31-129 Kraków, ul. Miodowicza 21

PRIORYTET



RPW/15241/2025 N
Data: 2025-06-06



OPŁATA POBRANA
TAXE PERÇUE-POLOGNE
Umowa z Poczta Polska S.A.
ID nr 583682/K

R

(00)659007734570736757



(00)659007734570736757

(00)659007734570736757



Poczta Polska

Opłata pobrana _____ zł _____ gr

2024



46119 03.06.2025 02 POLECONA

Biuro Obsługi nauki SGGW
Nowoursynowska 166
02-787 Warszawa
03.06.2025

44544