

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Marty Pietras
pt. „Produkty biodegradacji kauczuków naturalnych
i butadienowo-styrenowych z wykorzystaniem szczepu *Lactiplantibacillus plantarum*
i ich wykorzystanie w przemyśle spożywczym”

Podstawą formalną niniejszej recenzji jest Uchwała nr 87/2021 Rady ds. Stopni Naukowych Politechniki Łódzkiej w Łodzi, z dnia 6 lipca 2021 oraz pismo Pani Dziekan Wydziału Biotechnologii i Nauk o Żywności Politechniki Łódzkiej, dr hab. inż. Anny Diowks, prof. uczelni, z dnia 27 września 2021.

Recenzowana rozprawa pani mgr inż. Marty Pietras została napisana pod kierunkiem Pana Promotora dr hab. inż. Tomasza Olejnika, prof. Politechniki Łódzkiej.

Praca poświęcona jest opracowaniu i zbadaniu możliwości stosowania metody biologicznej, która będzie skutecznie przetwarzać kauczuki naturalne i butadienowo – styrenowe, które są podstawowymi składnikami wyrobów gumowych. Metoda wykorzystuje powszechnie występujące bakterie *Lactiplantibacillus plantarum*, jest metodą biologiczną, wykorzystującą naturalne procesy występujące w środowisku. W pracy ustalono również najbardziej optymalne warunki przebiegu procesu biodegradacji przetwarzanych odpadów oraz wykorzystanie w innowacyjny sposób, w przemyśle spożywczym, produktów - celulozy bakteryjnej, powstającej w trakcie recyklingu odpadu gumowego.

Należy zaznaczyć już na wstępie, że zakres pracy był bardzo szeroki i objął: możliwości recyklingu odpadów gumowych w procesach biodegradacji, ustalenie warunków optymalnych tego procesu oraz wykorzystanie w innowacyjny sposób powstałego produktu. Praca wymagała szeregu badań laboratoryjnych i analiz statystycznych, wskazania kierunku technologicznego, mającego wymiar użyteczny oraz opracowania kierunku naukowego.

Zasadność podjęcia tematyki

Zagrożenie związane z wzrastającym gwałtownie nagromadzeniem odpadów, zwłaszcza w konsumpcyjnej i wysokorozwiniętej Europie, to problematyka znana od dłuższego już czasu.

Zagrożenie dla środowiska powodowane przez wzrastające nagromadzenie ilości odpadów, ale również ich szkodliwy charakter oraz zmienność właściwości w czasie ma charakter złożony i jest uwarunkowane bardzo wieloma czynnikami. Dodatkowo uwzględnić należy zmieniający się skład morfologiczny odpadów, który powoduje dodatkową trudność w identyfikacji, segregacji, a następnie przetworzeniu poszczególnych strumieni odpadów. Postępująca konsumpcja, wzrastające emisje, degradacja środowiska oraz nieodwracalne zmiany wyczerpywania się zasobów naturalnych spowodowały konieczność poszukiwania nowych trendów i rozwiązań. By sprostać tym wyzwaniom, Europa wskazuje konieczność nowej strategii na rzecz wzrostu służącej przekształceniu Unii w nowoczesną, zasobooszczędną i konkurencyjną gospodarkę, która w 2050 r. osiągnie zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych netto, pozwoli na oddzielenie wzrostu gospodarczego od zużywania zasobów oraz zapewni równość szans rozwoju wszystkim ludziom i regionom.

Europejski Zielony Ład (The European Green Deal) zawiera plan działań umożliwiających bardziej efektywne wykorzystanie zasobów dzięki przejściu na czystą gospodarkę o obiegu zamkniętym. Kreowany jest obecnie model GOZ / gospodarki o obiegu zamkniętym / circular economy, jako propozycji rozwoju gospodarczego, w którym przy zachowaniu warunku wydajności możliwa jest maksymalizacja wartości dodanej surowców/zasobów, materiałów i produktów lub minimalizacja ilości wytwarzanych odpadów przy jednoczesnym ich zagospodarowywaniu zgodnie z hierarchią sposobów postępowania z nimi. Ogromne znaczenie w pojęciu „circular economy” ma słowo „gospodarka”, które zdefiniować można jako system zaspokojenie potrzeb określonej populacji, współcześnie najczęściej regulowany przez państwo lub rynek. W świetle takiej definicji gospodarka o obiegu zamkniętym nabiera właśnie wymiaru gospodarki, czyli uwzględnienia równocześnie korzyści finansowych i gospodarczych, której celem będzie stworzenie środowiska opartego na rozsądnym i zrównoważonym wykorzystaniu zasobów i surowców – wtórnych oraz naturalnych.

W pracy zarysowuje się wyraźnie forma systemu cyrkulacyjnego gospodarki odpadem gumowym, poprzez: wyodrębnienie go ze strumienia odpadów jako surowca nadającego się do odzysku i recyklingu, przetwarzania w procesie biodegradacji i znalezienia nowego zastosowania dla wytworzonego produktu. Można powiedzieć Doktorantka zaproponowała pełny cykl zamknięty dla przetwarzania odpadu gumowego.

Kolejnym niezwykle istotnym aspektem podjętej tematyki jest recykling odpadów gumowych. W literaturze dotychczas prezentowane są badania w zakresie przetwarzania odpadów gumowych (lub opon) takie jak: bieżnikowanie, rozdrabnianie, produkcja granulatu i recykling

materiałowy oraz odzysk energii. Oczywiście zgodnie z hierarchią postępowania z odpadami forma odzysku i recyklingu odpadów jest najbardziej korzystna i preferowana w rozwiązaniach prezentowanych przez dyrektywy UE i prawo polskie. Jest jednak możliwa w przypadku odpadów wysokiej jakości technologicznej. W przypadku gorszej ich jakości konieczne jest stosowanie produkcji paliw z odpadów i kierowanie ich do odzysku energetycznego.

Zaproponowana w pracy metoda pozwala na wykorzystanie odpadów gorszej jakości technologicznej w procesach odzysku i recyklingu organicznego, rezygnując z odzysku energii, czyli podnosi rangę w hierarchii postępowania z odpadami, które były dotychczas poddawane procesom termicznym i w sposób nieodwracalny unieszkodliwione.

Uwzględniając powyższe stwierdzenia bardzo wysoko oceniam podjętą tematykę badawczą, i oryginalność rozwiązania problemu badawczego, ze względu na kompleksowe podejście do systemu przetwarzania odpadów gumowych oraz prawidłowości postępowania z odpadami. Takie podejście wskazuje na niedocenione właściwości odpadów jako wartościowych surowców do wykorzystania i pozwala na prowadzenie gospodarki w obiegach zamkniętych.

Zaproponowane kompleksowe i systemowe rozwiązanie problemu odpadów gumowych w aspekcie zrównoważonego rozwoju (zrównoważenie celów ekologicznych, ekonomicznych i społecznych, przy uwzględnieniu możliwości technologicznych) mogłoby stanowić kolejny ciekawy etap pracy badawczej. Dlatego też postawione i zrealizowane przez Panią Doktorantkę zadanie to niezwykle trudne zagadnienie wymagające interdyscyplinarnego podejścia, mało docenione w pracy, mogące jednocześnie stanowić punkt wyjścia do kolejnych badań.

Charakterystyka i struktura rozprawy

Recenzowana praca obejmuje w sumie 144 strony tekstu wraz załącznikami oraz streszczeniem w językach polskim i angielskim. Praca zawiera 90 rysunków (w tym również zdjęć prezentujących proces badawczy), 30 tabel oraz bibliografię liczącą 53 pozycje. Na końcu pracy znajdują się również 2 opisy rozwiązań patentowych. Omawiana praca napisana została w typowym układzie i zawiera następujące rozdziały: wstęp dotyczący omówienia ogólnego tematyki odpadowej, kauczuku jako surowca oraz stosowanych do badań mikroorganizmów *Lactiplantibacillus plantarum*. Kolejne rozdziały to cel, a następnie bardzo szeroko omówiona metodyka badawcza w tym: materiały i metody badacze: wybór szczepu, hodowle na różnego typu podłożach, właściwości celulozy otrzymanej w procesie hodowli oraz badania otrzymanego produktu – papieru opakowaniowego, otrzymanego w procesie recyklingu. Następnie w rozdziale 6 omówione są wyniki badań oraz bardzo szeroka ich dyskusja. Kolejne

rozdziały (7 i 8) obejmują analizę statystyczną wpływu pH i temperatury na szybkość wzrostu bakterii.

Rozdział 9 dotyczy możliwości zastosowania otrzymanej celulozy do produkcji papieru, natomiast rozdział 10 możliwości zastosowania otrzymanego produktu w papiernictwie i przemyśle spożywczym.

Rozdział 11 to podsumowanie i wnioski końcowe z pracy badawczej, a następnie: bibliografia i załączniki.

We wprowadzeniu Autorka zarysowała kontekst tematyki, którą się zajęła, uzasadniając wybór kierunku realizacji niniejszego tematu oraz wprowadzając do tematyki swoich badań: odpady, kauczuk i mikroorganizmy.

Zapisany w rozdziale 4 cel pracy jest zwięzły i krótki, ale poprawny. Sformułowana teza pracy pozwoliła na opisanie jej zakresu i planu badawczego. Zakres pracy przedstawiono w sposób zwięzły, przejrzysty i wyczerpujący.

W rozdziale 5 opisano metodykę badawczą, w tym: metody badawcze, aparaturę i sprzęt badawczy, użyte szczepy bakteryjne i odczynniki chemiczne. Rozdział niezwykle obszerny, szczegółowo i merytorycznie opisuje metody badawcze: wybór szczepu i identyfikację wybranego szczepu. Opisano hodowle szczepu *Lactiplantibacillus plantarum* na podłożu zawierającym glukozę oraz na podłożach, które jako jedyne źródło węgla dla bakterii zawierały odpady gumowe. Optymalizacja warunków procesu polegała na takim doborze pH i temperatury by uzyskać najwyższe ubytki masy granulatu gumowego w dwóch seriach eksperymentów: wyznaczając najlepsze pH dla procesu biodegradacji oraz wyznaczając najkorzystniejszą temperaturę dla procesu biodegradacji granulatu gumowego.

Dla każdej aktywności bakteryjnej w bioreaktorze, dokonywano bilansu masowego, aby sprawdzić ubytek masy gumy. Analizy składu pierwiastkowego mieszanek gumowych dokonano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego. Analizy składu dokonano dla prób, w których otrzymano największy ubytek masy gumy użytej do hodowli w odpadowym granulacie. Podczas prowadzenia procesów hodowli otrzymywano celulozę. Powstałą biocelulozę badano pod kątem zastosowania jej jako materiał opakowaniowy. Badaniom poddano również właściwości celulozy otrzymanej w procesie hodowli na granulacie gumowym. Ze względu na niezadowalające właściwości samego papieru otrzymanego w wyniku prowadzonych badań, szukano dalszych rozwiązań, tak, aby wykorzystać celulozę powstałą przy biodegradacji gumy. Opisana jest również metodyka pozyskania opakowania do żywności.

Analizy statystyczne uzyskanych wyników zostały wykonane przy użyciu oprogramowania IBM SPSS Statistics w wersji 25 oraz Microsoft Excel 365.

Całość metodyki opracowana jest bardzo dobrze, merytorycznie i starannie, co przy tak rozległym podejściu do tematu mogło stanowić ogromną trudność.

Rozdział 6 to omówienie wyników badań i analiz, ze względu na obszerność pracy również podzielony na rozdziały i omówiony w poszczególnych obszarach prowadzonych badań wraz z dyskusją wyników. Rozdziały 7 i 8 to również wyniki eksperymentu pokazujące optymalizację warunków procesu biodegradacji przy zmianie pH i temperatury dla uzyskania najwyższych ubytków masy granulatu gumowego. Badania prowadzono dla pH=2,0 do pH=9,0 oraz w zakresie temperatury 12–40°C przy pH w przedziale 3,4–8,8.

Rozdział 9 to analiza składu pierwiastkowego granulatu gumy używanej do badań dla możliwość porównania procentowej zawartości węgla przed i po hodowli.

W rozdziale 10 Doktorantka dokonała oceny otrzymanej celulozy pod kątem możliwości jej wykorzystania w papiernictwie i przemyśle spożywczym.

Rozdział 11 poświęcono podsumowaniu analiz i obliczeń potwierdzając osiągnięcie założonych celów badawczych. Rozdział też bardzo dobrze i syntetycznie napisany.

Pracę kończy spis bibliograficzny i załączniki. W załącznikach zawarte są również: **Patent na wynalazek:** *Szczep bakterii mlekowych *Lactobacillus plantarum* ŁOCK 1145 oraz sposób wytwarzania celulozy bakteryjnej na drodze hodowli szczepu *Lactobacillus plantarum* ŁOCK 1145* oraz **Patent na wynalazek:** *Warstwowy kompozyt celulozowo-papierniczy oraz sposób wytwarzania kompozytu*. Patenty doskonale dokumentują i potwierdzają wartość przedstawionej pracy.

Przedstawiona rozprawa doktorska w całości charakteryzuje się poprawną strukturą logiczną, zachowana jest prawidłowa kolejność rozdziałów oraz proporcje pomiędzy rozdziałami, pozwalające na łatwe śledzenie metodyki badań i wyników prac. Napisana jest w sposób zwarty, czytelny, jasny i precyzyjny. Na wyróżnienie zasługuje opracowanie metodologiczne – bardzo czytelne i merytorycznie bardzo dobrze opracowane.

Wartość naukowa i aplikacyjna rozprawy

Oceniając całość rozprawy doktorskiej pani mgr inż. Marty Pietras należy powiedzieć, że:

1. Temat rozprawy jest jasno sprecyzowany i jego wybór wystarczająco uzasadniony,
2. Dobór literatury jest wyczerpujący zgodny z profilem pracy, tematem, zakresem i podjętą tematyką,

-
3. Rozprawa ma poprawną strukturę, zachowaną prawidłową kolejność rozdziałów, kompletność celów, tez i uzasadnione wnioski,
 4. Bardzo dobrze jest opracowana metodyka badawcza, opisana szeroko i merytorycznie, a jednocześnie jasna i pozwalająca łatwo śledzić skomplikowany temat badawczy
 5. Praca ma charakter technologiczny, interdyscyplinarny, wielowątkowy, a badania laboratoryjne pozwoliły na twórcze rozwinięcie zagadnień technologicznych i uzyskanie praktycznych wyników, pozwalających wykorzystanie rezultatów i efektów,
 6. Ogromna jest wartość aplikacyjna pracy pozwalająca na wdrożenie praktycznych rozwiązań w zakresie odzysku i recyklingu odpadów gumowych, zastępująca dotychczas stosowane procesy odzysku energetycznego, pozwalająca na zamykanie obiegów, minimalizację strumienia odpadów oraz promująca recykling organiczny i wykorzystanie jego produktów,
 7. Osiągnięte w pracy wyniki i rezultaty, potwierdzone są licznymi publikacjami i patentami można uważać za istotnie liczące się w dziedzinach: inżynieria chemiczna, inżynieria środowiska a zwłaszcza gospodarka odpadami,
 8. Duża jest staranność w opisach, zwłaszcza trudnych kwestii badań laboratoryjnych i stosowanych do badań rozwiązań, zasługująca na wyróżnienie.

Opracowany plan badań, przeprowadzone analizy, opis doświadczeń oraz kompletność tez i wniosków w pracy świadczą o dojrzałości naukowej Doktorantki oraz o kompletności i rzetelności wykonanej pracy. Omawiana problematyka ma duże znaczenie zarówno poznawcze oraz utylitarne.

Praca napisana jest w sposób zwarty, zadbano o poprawność językową i stylistyczną, nie ma błędów literowych, ani stylistycznych.

W trakcie czytania pracy nasunęły mi się następujące uwagi i pytania:

1. Czy miała Pani możliwość zastosowania aplikacyjnego zaproponowanych rozwiązań w praktyce i czy istnieje możliwość wykonania przedstawionych badań przynajmniej w skali półtechnicznej?
2. Jakie są koszty zaproponowanego rozwiązania? Czy podejmowała Pani próbę ich kalkulacji? Można byłoby porównać koszty z innymi technologiami przetwarzania tego rodzaju odpadów, zwłaszcza uwzględniając zamknięty obieg odpadów / surowców przetwarzanych i wytwarzanych przez Panią?

-
3. Czy brała Pani pod uwagę zanieczyszczenie odpadów gumowych innymi rodzajami odpadów? Czy wg Pani jest możliwe ich przetworzenie w zaproponowanej technologii? Jakże to może mieć konsekwencje?
 4. Używa Pani jednolitej międzynarodowej klasyfikacji odpadów (tabela 1) - wydaje mi się, że nie aktualnej, proponuję odwoływać się wyłącznie do obowiązującego katalogu odpadów, zgodnie z rozporządzeniem (Dz. U. z 2020 r., poz. 10). W dalszej części pracy odnosi się Pani do tego, więc nie traktuję tego jako błąd.
 5. Zgodnie z katalogiem odpadów (Dz. U. 2020, poz. 10) pisze Pani o możliwościach przetwarzania odpadów gumowych wyłącznie z grupy 15, czy możliwe jest zastosowanie zaproponowanych przez Panią rozwiązań również dla innych grup lub rodzajów odpadów gumowych?
 6. W pracy używa Pani słowa „utyliczacja”, które bardzo często jest używane potocznie, natomiast w oficjalnej nomenklaturze używamy słów: odzysk, recykling, unieszkodliwianie.
 7. W pracy brakuje uaktualnień dyrektyw UE, na które się Pani powołuje, warto to uzupełnić przy publikacji wyników pracy.

Moje uwagi i pytania nie umniejszają jednak wartości naukowej przedstawionego opracowania.

Podsumowanie

Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorantka dowiodła umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej poprzez zaplanowanie eksperymentu, postawienie tez badawczych, prowadzenie badań i wnioskowanie z przeprowadzonych badań.

W świetle powyższego stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Marty Pietras, przygotowana pod opieką promotorską dr hab. inż. Tomasza Olejnika, prof. Politechniki Łódzkiej spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim i wnoszę do Wysokiej Rady ds. Stopni Naukowych, Politechniki Łódzkiej w Łodzi o **dopuszczenie Pani mgr inż. Marty Pietras do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.**

Z uwagi na wysoką wartość naukową, jej oryginalność i obszerność przeprowadzonych badań, potwierdzonych dodatkowo publikacjami i patentami, proponuję Radzie ds. Stopni Naukowych, Politechniki Łódzkiej wyróżnienie przedstawionej pracy doktorskiej pani mgr inż. Marty Pietras, co dodatkowo załączam w odrębnym wniosku, załączonym do niniejszej recenzji.

Agnieszka Gąsiorówna

dr hab. inż. Agnieszka Generowicz, prof. PK
Politechnika Krakowska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Technologii Środowiskowych

Kraków, 11.10.2021

Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej
mgr inż. Marty Pietras
pt. „Produkty biodegradacji kauczuków naturalnych
i butadienowo-styrenowych z wykorzystaniem szczepu *Lactiplantibacillus plantarum* i
ich wykorzystanie w przemyśle spożywczym”
napisanej pod kierunkiem Pana Promotora
dr hab. inż. Tomasza Olejnika, prof. Politechniki Łódzkiej

Niniejszy wniosek stanowi integralną część mojej recenzji rozprawy doktorskiej.

Przedstawiona do oceny praca posiada ogromną wartość użyteczną i naukową, a zaproponowane w niej rozwiązania technologiczne stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Rozprawa napisana jest starannie, jej oryginalność i obszerność przeprowadzonych badań, potwierdzona jest dodatkowo publikacjami i patentami.

W związku z powyższym proponuję Radzie ds. Stopni Naukowych, Politechniki Łódzkiej wyróżnienie przedstawionej pracy doktorskiej pani mgr inż. Marty Pietras.

Agnieszka Generowicz
