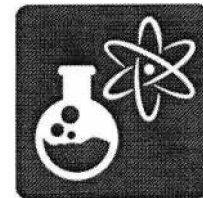




POLITECHNIKA POZNAŃSKA



WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej
dr hab. inż. Arkadiusz Kloziński
ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 3784
e-mail: Arkadiusz.Klozinski@put.poznan.pl

Poznań, 05.09.2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agnieszki Pudelko
pod tytułem

***„Ocena możliwości zagospodarowania odpadów z tworzyw biodegradowalnych
powstałych w wyniku uprawy roślin za pomocą kompostowania”***

przygotowanej na Wydziale Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej,
wykonanej pod kierunkiem Promotor Pani dr hab. inż. Krystyny Malińskiej, prof. PCz
oraz Pana dr inż. Tomasza Stachowiaka, jako promotora pomocniczego.

Recenzja opracowana została na zlecenie Pani Kierownik Dyscypliny Naukowej Inżynieria
Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Częstochowskiej
dr hab. inż. Iwony Zawieja, prof. PCz, z dnia 12.07.2022 r.
(pismo R.WIIS.BOD.4.2022.3).

Wawda

Informacje dotyczące wykształcenia oraz przebiegu pracy naukowo-zawodowej mgr inż. Agnieszki Pudelko

Doktorantka stopień inżyniera uzyskała w roku 2015, a stopień magistra w roku 2016. Obydwa dyplomy uzyskała na Politechnice Częstochowskiej, a prace realizowane były pod kierunkiem dr hab. inż. Krystyny Malińskiej, na Wydziale Infrastruktury i Środowiska.

Według mojej wiedzy, Pani mgr inż. Agnieszka Pudelko nie ubiegała się wcześniej o nadanie stopnia doktora.

Przebieg pracy naukowo-zawodowej:

2017 – do dziś – na stanowisku Management Systems Manager (Kierownik ds. Systemów Zarządzania) w firmie SUDPACK w Kłobucku.

Tematyka rozprawy doktorskiej

Tematyka pracy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Pudelko dotyczy problemu zagospodarowania odpadów zużytych folii do ściółkowania oraz akcesoriów do uprawy roślin (plantacje pomidorów) z tworzyw sztucznych i możliwości ich zastąpienia tożsamymi produktami wytworzonymi z biodegradowalnych materiałów otrzymanych z zasobów odnawialnych, które po okresie użytkowania mogą ulec biodegradacji, w procesie kompostowania. Podejmowanie tego typu tematyki wpisuje się w obecne kierunki badawcze, w których nadrzędne znaczenie ma ochrona środowiska i troska o jakość życia na Ziemi. Tworzywa sztuczne znajdują coraz to szersze zastosowania w przedmiotach użytku codziennego współczesnego człowieka oraz różnych gałęziach przemysłu. Rozwój pewnych dziedzin, a można nawet otwarcie powiedzieć ich egzystencja, nie byłby możliwy bez materiałów polimerowych. Jednym z takich obszarów jest rolnictwo. Nowoczesne, współczesne rolnictwo, w celu zapewnienia odpowiedniej ilości i jakości pożywienia populacji ludzkiej, nastawione jest na ciągły wzrost wydajności w zakresie hodowli zwierząt oraz upraw roślinnych. To pociąga za sobą coraz większe zużycie różnego typu produktów, takich jak: pasze, nawozy, pestycydy itp. Pośrednio prowadzi to również do wzrostu zużycia tworzyw sztucznych, z których wykonane są w większości opakowania w/w produktów. Jednak opakowania to tylko część wyrobów z tworzyw sztucznych stosowanych w rolnictwie i ogrodnictwie, do pozostałych należą między innymi różnego typu folie, siatki, sznurki, czy też elementy składowe systemów nawadniania i drenażu oraz elementy maszyn i urządzeń, a także elementy wyposażenia infrastruktury rolniczej. Jak widać z wymienionych przykładów, nowoczesne i wydajne rolnictwo nie jest w stanie właściwie funkcjonować bez tworzyw

sztucznych. Z masowym stosowaniem w rolnictwie wyrobów z tworzyw sztucznych idzie w parze problem ich recyklingu. Dotyczy to przede wszystkim wyrobów foliowych – folii opakowaniowych, folii szklarniowych, czy folii ściółkowych. Recykling tych ostatnich, ze względu na ich duży stopień zanieczyszczenia (środki ochrony roślin, zanieczyszczenia organiczne, ziemia), jest bardzo kosztochłonny. Dlatego poszukuje się nowych rozwiązań w zakresie surowców stosowanych w produkcji folii ściółkowych. Do tego typu surowców należą tworzywa biodegradowalne, które po zużyciu mogą w procesie biodegradacji zostać przekształcone do produktów nie obciążających środowiska. Na wstępie recenzji chciałbym zaznaczyć, że wybór tematyki rozprawy jest bardzo ciekawy z naukowego punktu widzenia, ale przede wszystkim z jego utylitarnego charakteru. Poza tym, dotyczy jednego z najbardziej aktualnych obszarów badawczych, tzn. zagadnień z zakresu modyfikacji tworzyw biodegradowalnych i ich stosowania jako alternatywy dla tradycyjnych polimerów termoplastycznych. Wykorzystanie przez mgr inż. Agnieszkę Pudelko zmodyfikowanych polimerów biodegradowalnych do produkcji folii ściółkowych oraz akcesoriów do uprawy roślin ma charakter nowatorski i duży potencjał aplikacyjny.

Charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Pudelko obejmuje 166 stron maszynopisu, zawiera w sobie 69 rysunków oraz 27 tabel i składa się ze spisu treści, streszczenia (w języku polskim oraz angielskim), wykazu stosowanych skrótów i oznaczeń, wykazu stosowanych terminów i pojęć, wstępu, 5 rozdziałów części teoretycznej i jej podsumowania, celu i zakresu pracy, 13 rozdziałów części doświadczalnej, dyskusji wyników, posumowania i wniosków, spisu literatury, spisu tabel oraz spisu rysunków.

Część teoretyczna pracy

Część teoretyczna pracy została podzielona na 5 rozdziałów. W pierwszym rozdziale dysertacji Doktorantka przytacza dane dotyczące produkcji i zużycia tworzyw sztucznych, w skali światowej oraz na kontynencie europejskim. Podkreśla również problematykę odpadów z tworzyw sztucznych i ich negatywnego wpływu na środowisko. Zdaniem Doktorantki, w oparciu o publikacje naukowe, zanieczyszczenie tworzywami sztucznymi jest jednym z największych problemów środowiskowych współczesnego świata.

W drugim rozdziale pracy zawarte zostały informacje na temat zastosowania tworzyw sztucznych w rolnictwie. Doktorantka przytacza statystyki zużycia materiałów polimerowych w rolnictwie oraz wyrobów z tworzyw sztucznych funkcjonujących w tym obszarze ludzkiej

działalności. O znaczeniu tworzyw sztucznych w rolnictwie świadczy podana w tej części pracy informacja, że szacuje się, iż zniknęłoby około 60% upraw roślinnych i produktów pochodzenia zwierzęcego, bez zastosowania w ich wytwarzaniu tworzyw sztucznych. Doktorantka już na początku części literaturowej pracy sygnalizuje znaczenie produktów foliowych w uprawach ogrodniczych i rolniczych, skupiając się na foliach stosowanych w ściółkowaniu, które do tej pory w przeważającym stopniu wytwarzane są z polietylenu małej gęstości (PE-LD). Tworzywa sztuczne, to nie tylko korzyści płynące z ich użytkowania, ale również problem powstających z nich odpadów. Autorka przedstawia w pracy bilans masy odpadów z tworzyw sztucznych z rolnictwa i ogrodnictwa, który uświadamia czytelnikowi, jak dużym obciążeniem dla środowiska są odpady, które nie są ponownie zagospodarowywane (37% odpadów nieopakowaniowych pochodzących z rolnictwa). Bardzo niewdzięcznym materiałem recyklingowym, z obszaru rolnictwa, są folie stosowane w procesie ściółkowania. Ze względu na duży stopień zanieczyszczeń (gleba i inne substancje organiczne) stanowią trudny i kosztochłonny materiał do recyklingu. Na uwagę w tej części pracy, zasługuje umieszczenie w dysertacji autorskiego zestawienia/obliczenia masy odpadów powstających po uprawie pomidora szklarniowego, wraz z kosztami poniesionymi za ich utylizację (szklarnia o standardowych wymiarach 31 x 6 m; powierzchnia folii do ściółkowania 132 m²). Tym samym Doktorantka wprowadza czytelnika w obszar tematyczny pracy i jej meritum. Zaprezentowany bilans stanowi praktyczne uzasadnienie dla poszukiwania innych rozwiązań, które mogłyby umożliwić łatwiejszy i tańszy sposób zagospodarowania odpadów tworzywowych po produkcji pomidora szklarniowego. W omawianym rozdziale, tej części teoretycznej pracy, znalazły się także informacje na temat negatywnego wpływu odpadów z tworzyw sztucznych na środowisko, ze szczególnym uwzględnieniem mikroplastiku pochodzącego z folii. Akumulacja makro – i mikroplastiku pofoliowego w glebie prowadzi do jej zubożenia, powoduje utrudnioną infiltrację wody, czy też zmniejsza kolejne plony upraw; nie wspominając o negatywnym wpływie mikroplastiku na żywe organizmy. Do tego dochodzi także negatywny wpływ na glebę, modyfikatorów i dodatków stosowanych w produkcji wyrobów foliowych. Doktoranta opisuje również niezgodne z prawem praktyki związane z zagospodarowywaniem odpadowej folii po procesie ściółkowania – spalanie, zakopywanie, czy składowanie. Oprócz wyrobów foliowych, po zakończeniu uprawy problem stanowią również innego typu akcesoria wykonane z konwencjonalnych tworzyw sztucznych, między innymi: siatki, zapinki doniczki dla rozsad itp.. Doktorantka wskazuje, że pewnego rodzaju rozwiązaniem prowadzącym do redukcji rosnących ilości odpadów z tradycyjnych tworzyw sztucznych jest zastosowanie polimerowych

materiałów biodegradowalnych, które to zostały opisane w kolejnym rozdziale niniejszej dysertacji.

W trzecim rozdziale części teoretycznej pracy przedstawione zostały informacje na temat potencjału i znaczenia tworzyw biodegradowalnych. Doktorantka przedstawiła podział tworzyw, w tym tworzyw biodegradowalnych oraz przytoczyła światowe zdolności produkcyjne biotworzyw. Skupiła się również bardziej szczegółowo na polimerach biodegradowalnych stosowanych do produkcji wyrobów wykorzystywanych w uprawach roślin: polilaktyd (PLA), polihydroksyalkaniany (PHA), skrobia termoplastyczna (TPS). Opisała kierunki ich zastosowań, przytoczyła statystyki produkcyjne (ilość, cena) oraz ich zalety z punktu widzenia korzyści środowiskowych. W tym miejscu podjęta przez Doktorantkę została także tematyka dodatków do produkcji tworzyw sztucznych. Autorka opisuje zalety dodatków biodegradowalnych i ich przewagę nad dodatkami konwencjonalnymi, które mogą niekorzystnie wpływać na środowisko. Jako przykład dodatków do tworzyw biodegradowalnych pochodzenia naturalnego, nie stanowiącego zagrożenia dla środowiska, Doktorantka podaje węglan wapnia oraz biowęgiel. Materiały te, w szczególności węglan wapnia, stanowi napełniacz stosowany na skalę masową w modyfikacji właściwości tworzyw konwencjonalnych (szczególnie tworzyw termoplastycznych takich jak: polietylen, polipropylen, poli(chlorek winylu). Mało jest jednak informacji i prac badawczych na temat zastosowania w/w napełniaczy do modyfikacji polimerów biodegradowalnych, szczególnie do zastosowań w wyrobach rolniczych.

W części literaturowej pracy znalazły się również informacje na temat wymagań prawnych stawianych foliom biodegradowalnym do ściółkowania, które definiują między innymi stopień ich mineralizacji, testy ekotoksyczności, określają ilości pozostałości metali ciężkich, testy/ocenę kompostowalności. Doktorantka w tym miejscu podkreśla, że brak jest regulacji prawnych w zakresie sposobów zagospodarowania odpadów z materiałów biodegradowalnych, w szczególności odpadów pochodzących ze zużytych biodegradowalnych folii oraz innych akcesoriów do uprawy roślin. W pracy scharakteryzowane zostały również materiały i akcesoria stosowane podczas upraw roślin, które używa się w celu zapewnienia odpowiedniego wzrostu i zwiększenia plonowania. Do tego typu wyrobów zaliczyć można sznurki, łuki i zapinki, doniczki oraz agrowłókniny. Autorka opisuje przykłady zastosowań w wytwarzaniu w/w akcesoriów polimerów biodegradowalnych. Jednak najwięcej miejsca poświęca foliom biodegradowalnym w procesie ściółkowania i opisaniu korzyści z ich stosowania, w odniesieniu do stosowanych w tym zakresie folii konwencjonalnych. Doktorantka podkreśla z ich zalet, między innymi: możliwość pozostawienia folii

biodegradowalnej w glebie – po procesie ściółkowania; możliwość skompostowania odpadów folii z pozostałościami roślinnymi; niewielki wpływ zdegradowanej folii na jakość gleby. Poza tym podkreślone zostały aspekty ekonomiczne – zmniejszenie kosztów wynikających ze zbierania folii, czyszczenia i utylizacji. Pomimo wszystkich wymienionych zalet, stosowanie biodegradowalnych folii ściółkowych, ograniczane jest poprzez czynnik ekonomiczny jakim jest wyższa cena, w porównaniu do folii tradycyjnych oraz brak edukacji w tym zakresie (informacji na temat zalet i sposobów zagospodarowania odpadów z folii biodegradowalnych).

W ostatnim rozdziale części literaturowej pracy Doktorantka omówiła aspekty ekonomiczne związane z produkcją wyrobów biodegradowalnych stosowanych w rolnictwie, tj.: folii do ściółkowania oraz akcesoriów przydatnych w uprawie roślin (łuków oraz zapinek). Analiza ta wykazała, że przy odpowiedniej polityce wsparcia w zakresie ochrony środowiska, biodegradowalne folie ściółkowe oraz akcesoria stanowią ekonomicznie uzasadnioną alternatywę dla produktów wytworzonych z tradycyjnych tworzyw polimerowych.

W podsumowaniu części literaturowej dysertacji Doktorantka jeszcze raz sygnalizuje potencjał oraz znaczenie tworzyw biodegradowalnych w ochronie środowiska oraz możliwości ich zastosowania do wytwarzania produktów stosowanych w rolnictwie i ogrodnictwie. W oparciu o przeprowadzony przegląd literatury mgr inż. Agnieszka Pudelko wnioskuje, że brak jest prac podejmujących tematykę wpływu dodatków stosowanych w produkcji materiałów biodegradowalnych na glebę oraz rośliny, jak również w zakresie oceny możliwości zagospodarowania zużytych biodegradowalnych folii stosowanych w ściółkowaniu oraz innych użytkowych akcesoriów do uprawy roślin, za pomocą kompostowania z pozostałościami roślinnymi z upraw. Dlatego tematyka ta stanowi przedmiot podjętej pracy badawczej przedstawionej do niniejszej recenzji.

Moim zdaniem, część teoretyczna rozprawy doktorskiej stanowi bardzo zwarte, ale zarazem treściwe opracowanie zagadnień precyzyjnie powiązanych z celem pracy oraz stanowiących istotną podstawę do jej części badawczej. Część teoretyczna poparta jest 122 pozycjami literaturowymi, co może potwierdzać rozeznanie Doktorantki w tematyce przedmiotu, a tym samym dobre przygotowanie do realizacji części doświadczałnej pracy.

Część doświadczałna pracy

Część doświadczałna doktoratu zawiera 13 rozdziałów. Rozpoczyna się graficznym schematem obrazującym zakres części badawczej pracy. Uważam, że tego typu opracowanie sprawia, iż rozprawa doktorska staje się bardziej przejrzysta i pokazuje w jasny sposób łańcuch powiązań w poszczególnych obszarach badawczych, zrealizowanych w pracy. Dopelnienie

stanowi umieszczony w pracy harmonogram realizacji zadań (Tabela 8). Wykorzystanie diagramu Gantta, w realizacji prac badawczych w ramach niniejszej pracy doktorskiej, potwierdza umiejętność Doktorantki w organizacji, zarządzaniu i planowaniu eksperymentu.

W pierwszym rozdziale tej części doktoratu Autorka przedstawia charakterystykę materiałów zastosowanych do produkcji folii oraz akcesoriów biodegradowalnych. Opisuje użyte w tym celu polimery biodegradowalne oraz napelniacze/modyfikatory. W rozdziale drugim opisany zostaje proces produkcji folii biodegradowalnych, w procesie wytłaczania z rozdmuchiwanym swobodnym. W tym miejscu Doktorantka znów posługuje się bardzo czytelnymi schematami, które w sposób zrozumiały i przejrzysty przybliżają etapy procesu wytwarzania folii. Ta sama sytuacja dotyczy opisu procesu wytwarzania akcesoriów biodegradowalnych (łuków i zapinek), które zostały uzyskane w procesie wtryskiwania. Praca została w tym miejscu wzbogacona o analizę kosztów wytworzenia folii oraz akcesoriów. Opis metod badawczych Doktorantka rozpoczyna od przedstawienia metodyki badań właściwości mechanicznych, termicznych oraz strukturalnych. W celu scharakteryzowania uzyskanych wyrobów, przeprowadzono badania w zakresie charakterystyki wytrzymałościowej w warunkach statycznego rozciągania, analizę termiczną przy zastosowaniu różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC) oraz ocenę ich struktury, przy użyciu mikroskopu optycznego. W celu uzyskania odpowiedzi na postawione pytania badawcze Doktorantka przeprowadziła cały szereg doświadczeń oraz procedur pomiarowych, do których należały: analiza chemiczna, badania biodegradowalności, badania kompostowalności, badania fitotoksyczności oraz badania dezintegracji/rozpadu. Proces biodegradacji został przeprowadzony w warunkach kompostowania przemysłowego oraz przydomowego. W metodyce badań szczegółowo zostały opisane stanowiska badawcze oraz warunki prowadzenia doświadczeń, jak również sposoby przygotowania próbek – opisy zostały wzbogacone o schematy oraz zdjęcia, co przybliży w jeszcze większym stopniu czytelnikowi omawiane zagadnienia. Doktorantka nie ograniczyła się jedynie do badań biodegradowalności i kompostowalności folii oraz akcesoriów, ale przeprowadziła również próby ich testowania w rzeczywistych warunkach użytkowania, co daje praktyczne informacje na temat możliwości ich zastosowania w użytkowaniu komercyjnym. Większość badań, które zostały wykorzystane w realizacji założonego celu badawczego, zostało przeprowadzonych zgodnie z obowiązującymi w tym zakresie normami oraz procedurami badawczymi, o czym Doktorantka informuje odwołując się do odpowiednich norm – do zagadnienia tego odniosę się jeszcze w dalszej części recenzji.

Najbardziej obszerny zakres części doświadczalnej pracy, to rozdziały opisujące wyniki przeprowadzonych badań. Pani mgr inż. Agnieszka Pudełko w bardzo umiejętny sposób,

wspomagając się zestawieniami tabelarycznymi, wykresami oraz zdjęciami, przedstawiła wyniki badań. Na uwagę zasługuje koncepcja fotodokumentacji rozkładu próbek badawczych w wyniku kompostowania, w funkcji czasu trwania procesu. Przedstawione zdjęcia wzbogacają eksperyment, oprócz wielkości mierzalnych (np. ubytek masy) otrzymujemy również obraz zmian zachodzących w wyrobach, w wyniku procesu biodegradacji. Obszar badawczy pracy obejmował szereg technik pomiarowych, które pozwoliły scharakteryzować podstawowe właściwości obiektów badawczych (folie ściółkowe oraz akcesoria), jak również określić przebieg procesów ich biodegradowalności, kompostowalności oraz fitotoksyczności. Przyjęty przez Doktorantkę sposób prezentacji wyników jest dość przejrzysty. Problem może stanowić sposób oznaczenia materiałów badawczych – takie same oznaczenia (skrót) dla różnych rodzajów wyrobów. Doktorantka przyjęła nieczęsto spotykaną w pracach doktorskich koncepcję dyskusji wyników badań. W większości nie przeprowadza jej bezpośrednio przy prezentacji określonych wyników doświadczeń, lecz zestawia w formie osobnego rozdziału (7. DYSKUSJA WYNIKÓW). Nie uważam, że taka forma wpływa na poziom merytoryczny przedstawionej do recenzji pracy, ale wymaga od czytelnika większego zaangażowania i wymusza konieczność wracania do wcześniej zaprezentowanych wyników, co utrudnia lekturę doktoratu. W dyskusji wyników omówiony został również aspekt ekonomiczny eksperymentu. Uważam, że część doświadczalna pracy, podobnie jak część teoretyczna, zredagowana jest bardzo poprawnie, obie części rozprawy prezentują wysoki poziom edycyjny oraz estetyczny. Do poziomu merytorycznego doktoratu postaram odnieść się w dalszej części mojej recenzji.

Przedłożoną do recenzji pracę doktorską kończy podsumowanie i wnioski, kolejny punkt to zestawienie cytowanej literatury (122 pozycje), następnie zamieszczony jest spis tabel i rysunków. W pracy nie został zamieszczony wykaz dorobku naukowego Doktorantki.

Chcąc podsumować charakterystykę przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej, można powiedzieć, że ma ona klasyczny układ z podziałem na część teoretyczną i doświadczalną i została napisana z utrzymaniem wysokich standardów.

Ocena merytoryczna

Tytuł rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Pudełko „*Ocena możliwości zagospodarowania odpadów z tworzyw biodegradowalnych powstałych w wyniku uprawy roślin za pomocą kompostowania*” jest czytelny i pokrywa się w pełni z jej treścią. Cel pracy jest jasny i dobrze sformułowany. Podobnie jak ma to miejsce w przypadku tytułu, cel pracy oraz jej zakres odpowiadają zawartej w niej treści oraz zakresowi przeprowadzonych badań. W pracy zostały również sformułowane tezy badawcze - postawione w oparciu o aktualny stan

wiedzy. Doktorantka stawia przed sobą również pytania badawcze, na które odpowiada w toku realizacji prac doświadczalnych i otrzymywanych wyników badań. Postawiony w dysertacji cel badawczy w stu procentach wpisuje się w obecnie panujące trendy, tzn. dotyczy prac naukowych, które pozwalają rozwiązywać problem powstawania odpadów z konwencjonalnych tworzyw sztucznych. W tym miejscu chciałbym ponownie podkreślić fakt użytecznego znaczenia tematyki badawczej podjętej przez Doktorantkę. Oprócz poznawczego charakteru, który cechuje każdy rodzaj doktoratu, tę pracę cechuje również wysoki stopień aplikacyjności i wpisuje ją w obszar prac o znaczeniu technologicznym i dużym potencjale wdrożeniowym.

Odnosząc się do części literaturowej przedstawionej do recenzji pracy uważam, że przeprowadzona przez Doktorantkę analiza aktualnego stanu wiedzy, w oparciu o dostępną literaturę, w zakresie przedmiotu rozprawy wydaje się być wystarczająca. Potwierdzeniem tego jest ilość przytoczonych w pracy publikacji (122 prace) oraz ich aktualność. Około 105 cytowanych prac, to pozycje obejmujące najnowsze artykuły, do pięciu lat wstecz. Samo to podkreśla znaczenie, aktualność oraz atrakcyjność naukową podjętej przez Doktorantkę tematyki badawczej. Część literaturowa została napisana w sposób bardzo przejrzysty dla czytelnika i wprowadza go w najważniejsze zagadnienia związane z tworzywami sztucznymi i ich zużyciem oraz zastosowaniem tworzyw sztucznych w uprawie roślin - korzyści z tego płynących oraz negatywnych skutków dla środowiska. Doktorantka jako alternatywę dla tworzywa konwencjonalnych, stosowanych w niektórych rozwiązaniach rolniczych, proponuje stosowanie tworzyw biodegradowalnych. Umiejętnie charakteryzuje tę grupę materiałów, przedstawiając kierunki ich stosowania oraz zalety z tego płynące. Opisuje surowce do produkcji biodegradowalnych folii do ściółkowania oraz akcesoriów do uprawy roślin. Charakteryzuje również dodatki do produkcji tworzyw sztucznych, skupiając się szczególnie na węglanie wapnia oraz biowęgla, które to stanowiące będą obiektem badań niniejszej dysertacji. W tym miejscu pracy odczuwam pewien niedosyt informacji odnoszących się do podejmowanego zagadnienia. Pani mgr inż. Agnieszka Pudełko dość lakonicznie nawiązuje do zagadnienia kompozytów polimerowych, można powiedzieć, że nawet nie podejmuje go w pracy. W rozdziale 2.3.2. odnosi się do tworzyw sztucznych i definiuje je jako połączenie polimerów z różnymi dodatkami, ale pomija wspomniane powyżej kompozyty polimerowe, a przecież wytworzone w części badawczej pracy układy: polimer – napelniacz, to klasyczne przykłady kompozytów polimerowych. Autorka nie odniosła się w części teoretycznej pracy do problemu kompatybilności polimerów i napelniaczy, czy też technik wytwarzania kompozytów oraz ich przetwórstwa. A jak wynika z lektury dalszej części pracy, sama

doświadczyla komplikacji procesowych i próby wytworzenia folii z napelniaczem węgłowym nie zakończyły się sukcesem. Odpowiednie wprowadzenie w zagadnienie, mogłoby pozwolić Doktorantce uniknąć takiej sytuacji oraz zgłębić wiedzę w zakresie przetwórstwa kompozytowych wyrobów foliowych. Zagadnienia dotyczące wpływu wielkości cząstek napelniaczy, modyfikacji ich powierzchni, czy stopnia homogenizacji, na właściwości kompozytów polimerowych, zostały w pracy pominięte.

Uważam również, że w części teoretycznej doktoratu powinny znaleźć się także informacje na temat stosowanych w pracy technik przetwórczych, tzn. procesu wytłaczania oraz wtryskiwania. Materiał taki stanowiłby dopełnienie wiadomości na temat przedmiotu badań oraz mógłby pozwolić na głębszą dyskusję wyników badań, np. wpływu czasu chłodzenia w formie na budowę nadcząsteczkową łuków, zapinek (wyrobów różniących się znacznie przekrojem poprzecznym).

Nie dopatrzyłem się wielu błędów edytorskich w tej części pracy (odnotowałem tylko jeden), jak już wspomniałem wcześniej w recenzji (obejmującej charakterystykę rozprawy), praca prezentuje w tym zakresie wysoki poziom. Chciałbym jednak zwrócić uwagę na kilka szczegółów:

- w wykazie stosowanych skrótów i oznaczeń oraz w kilku dalszych miejscach rozprawy Doktorantka używa skrótu LDPE na oznaczenie (polietylenu małej gęstości). Używanie przedstawionego skrótu stanowi bezpośrednie zapożyczenie z literatury angielskojęzycznej, to samo dotyczy formy skrótu polietylenu o dużej gęstości, który przedstawiony zostaje jako HDPE. W polskojęzycznej literaturze przedmiotu przyjęto zasadę stosowania oznaczeń: PE-LD oraz PE-HD dla w/w polimerów;
- na stronie 22, jeden z wersów rozprawy: *„Z drugiej strony konieczność zagospodarowania trudnych w utylizacji odpadów zmusza do poszukiwania innych rozwiązań, które mogłyby pomóc w łatwiejszym i tańszym zagospodarowaniu pozostałości po tego typu produkcji roślinnej.”*, został powtórzony dwukrotnie;
- na stronie 33 oraz 36 Doktorantka odwołuje się do normy PN-EN ISO 17033, jednak norma ta nie jest zacytowana w spisie literatury, jak również nie jest podany jej pełny tytuł. Uważam, że odwołując się do norm w doktoracie, powinno zapewnić się czytelnikowi podstawowe informacje na ich temat, a nie tylko ograniczać do zdawkowych wzmianek, w tym wypadku do numeru normy; gdyż jest to zbyt specjalistyczna wiedza, o ograniczonym dostępie. Do tematu norm i ich cytowania odniosę się również przy omawianiu metodyki badawczej niniejszej pracy;

- Doktorantka na stronie 48 wymienia napelniacze mineralne, które mogą wpłynąć na obniżenie kosztów folii biodegradowalnych, wśród nich kredę i węglan wapnia – chciałbym zaznaczyć, że te dwa wymienione napelniacze to te same substancje (stosuje się różne nazewnictwo);

- oznaczenie dwutlenku węgla, na stronie 48 powinno mieć formę: CO₂, a nie CO2.

Przedstawione powyżej moje uwagi/wątpliwości i nieliczne zaznaczone uchybienia nie zmieniają mojej pozytywnej opinii o tej części pracy, którą oceniam bardzo dobrze.

Ocenę części doświadczalnej chciałbym rozpocząć od podkreślenia i chyba powtórzenia się, że jest ona napisana bardzo przejrzysto i zrozumiale, a wprowadzone schematy oraz zdjęcia są tego dopełnieniem. Jednak z obowiązku recenzenta chciałbym wskazać kilka spostrzeżeń dotyczących części badawczej pracy (materiałów badawczych, metodyki badawczej):

- charakterystyka materiałów polimerowych użytych do wytłoczenia folii ogranicza się do podania nazwy handlowej oraz składu i informacji o ich biodegradowalności i kompostowalności. Chciałem uprzejmie zapytać, dlaczego Doktorantka nie umieściła w pracy szczegółowej charakterystyki obu tworzyw użytych, tylko odwołuje się do strony producenta? Przecież te dane, może w okrojonym zakresie, powinny znaleźć się w pracy. Umożliwiłoby to, chociażby odwoływanie się do nich przy omawianiu wyników, czy pokazanie różnic materiałowych użytych polimerów, albo efektów ich modyfikacji w wyniku zastosowanych w pracy napelniaczy (materiał polimerowy jako wyrób referencyjny, np.: w analizie parametrów wytrzymałościowych);

- podobną uwagę mam do zastosowanego w badaniach napelniacza, jakim był biowęgiel. W tym przypadku właściwości biowęgla zostały zawarte w tabeli 9, jednak z punktu widzenia przetwórstwa oraz zastosowania proponowanego napelniacza, najbardziej istotną informacją jest wielkość cząstek napelniacza. To dałoby między innymi odpowiedź, czy może on być zastosowany jako napelniacz planowanych do wytworzenia folii i jakie mógłby pełnić funkcję w cienkościennym produkcie, jakim jest wyrób foliowy. Dlatego chciałem zapytać, czy Doktorantka charakteryzowała napelniacz pod tym kątem?

- chciałem w tym miejscu zadać pytanie będące wynikiem mojej ciekawości, czym były problemy technologiczne, które nie umożliwiły wyprodukowania folii z dodatkiem biowęgla?

- nasuwa mi się również pytanie dotyczące parametrów nastawnych zastosowanych w pracy procesów technologicznych (wytłaczanie, wtryskiwanie). Dlaczego w metodyce nie zawarto tych informacji? Ten aspekt metodyki badawczej został zupełnie pominięty, a ma on bardzo istotne znaczenie. Dałby czytelnikowi informacje, czy zastosowane dodatki wpłynęły na właściwości przetwórcze użytych polimerów. Czy udało się przetworzyć je w tych samych warunkach, pomimo modyfikacji itd.

- ostatnia moja uwaga jeśli chodzi o materiały badawcze, to sposób ich oznaczenia. Przyjęte przez Doktorantkę takie samo oznaczenie dla 3 różnych wyrobów (np.: CUT1: oznaczenie folii biodegradowalnej do ściółkowania lub zapinki i łuku bez dodatków), jest mało czytelne i dość kłopotliwe podczas lektury pracy.

W obszerny sposób w pracy zostały opisane metody badawcze wykorzystane w realizacji założonych celów poznawczych. Na szczególną uwagę zasługują przedstawione charakterystyki stanowisk badawczych do przeprowadzenia badań biodegradowalności, oraz kompostowalności. Warte podkreślenia jest również zaplanowanie przeprowadzenia eksperymentu biodegradacji w dwóch rodzajach warunków kompostowania (kompostowanie przemysłowe i kompostowanie przydomowe), co wzbogaca merytorycznie niniejszy doktorat.

Mam jednak kilka pytań do tej części pracy, wynikających z mojej ciekawości:

- czy badania parametrów wytrzymałościowych folii zostały przeprowadzone dla wszystkich prób z taką samą prędkością przesuwu trawersy? Nie znalazłem tej informacji w metodyce badań. A także, w jakim kierunku, w stosunku do kierunku wytłaczania, zostały pobrane próbki badawcze? W podpisie tabeli 19 (wyniki badań), znajduje się zwrot wytrzymałość na rozciąganie poprzeczne.

- kolejne pytanie dotyczy badań właściwości termicznych materiałów polimerowych. Nieprecyzyjne jest dla mnie określenie masy nie przekraczającej kilkunastu gramów, próbek badawczych w pomiarach DSC. Czy próbki foliowe były o takiej samej masie, niezależnie od rodzaju folii oraz, czy udało się przygotować próbki monolityczne? Pisze Pani o ustaleniu zakresu zmian temperatury oraz szybkości pomiaru. Jakie były temperaturowe zakresy pomiarowe (bo jak widać, na termogramach zamieszczonych w wynikach badań, były one różne) oraz jakie były szybkości grzania i chłodzenia? Dlaczego przyjęto w metodyce tylko jeden cykl pomiarowy?

- nasuwają mi się również pewne spostrzeżenia dotyczące najbardziej istotnej dla doktoratu części badawczej, tzn. badań biodegradowalności i kompostowalności. Doktorantka umieszcza w tej części pracy (np.: rozdział 5.2.2. oraz 5.2.3) informacje o

przeprowadzonych badaniach, według obowiązujących w danym zakresie procedur badawczych oraz norm badawczych. Nie przytacza jednak i nie opisuje w tym miejscu żadnych warunków oraz wytycznych w/w norm dla danego badania. A uważam, że tego typu informacje powinny znaleźć się w opisie metodyki przeprowadzonych badań.

- przedstawione w Tabeli 16. proporcje składników w mieszance kompostowej, nie są chyba % wagowymi.

Podsumowując moją ocenę tej części doktoratu, czyli metodyki badań, uważam że powinna ona zostać uzupełniona o powyższe informacje, jednak uwagi moje nie wpływają na mój osąd ogólny pracy, którą uznaję za dobrze napisaną.

Chciałbym również odnieść się do omówionych przez mgr inż. Agnieszkę Pudelko wyników badań. Ta część rozprawy doktorskiej nie budzi z mej strony jakiś istotnych uwag. Doktorantka w bardzo umiejętny i rzeczowy sposób przedstawiła wyniki przeprowadzonych badań. Dotyczy to zarówno charakterystyk właściwości wytworzonych folii oraz akcesoriów, jak również szerokiego wachlarza badań w obszarze ich biodegradowalności. W dyskusji merytorycznej dotyczącej wyników badań (rozdział 7 pracy) oraz ich analizie, Doktorantka w umiejętny sposób odnosi do badań opisanych w literaturze - znajdując potwierdzenia dla swoich naukowych obserwacji. Podsumowując sposób zaprezentowania i omówienia wyników badań, potwierdza on merytoryczne przygotowanie oraz dojrzałość naukową Doktorantki w tematyce przedmiotu.

Prosiłbym jednak Doktorantkę o ustosunkowanie się do kilku kwestii i odpowiedź na poniższe pytania:

- na stronie 85 pracy opisane są wyniki badań statycznego rozciągania. W tekście mowa jest o analizie wydłużenia przy zerwaniu, jednak w Tabeli 19, umieszcza Pani dla tej wielkości oznaczenie ϵ_m , a zgodnie z normą PN-EN ISO 527 (która cytowana jest w metodyce badań), oznaczenie to definiuje wydłużenie przy maksimum siły – a te dwa wydłużenia nie są tożsame. Które wydłużenie w rzeczywistości Pani wyznaczała?

- pozostając w tematyce badań właściwości mechanicznych uważam, że bardziej obiektywnym parametrem do analizy byłaby wytrzymałość folii, a nie siła potrzebna do jej zerwania; szczególnie gdy ma się do czynienia z foliami o różnej grubości. Poniżej przytaczam wyliczone średnie wartości wytrzymałości folii badawczych: CUT1 = 12,242 MPa; CUT2 = 11,836 MPa, CUT3 = 12,261 MPa oraz folia komercyjna 10,476 MPa. Dlatego nie mogę zgodzić się w pełni z wnioskami nr 3 i 4 – strona 146 pracy;

- podobne spostrzeżenia mam w przypadku badań termicznych. Uważam, że wartość entalpi topnienia nie jest obiektywnym parametrem, który możemy porównywać w

przypadku polimerów nienapełnionych i napełnionych (kompozytów). W tym przypadku wielkością bardziej obiektywną, uwzględniającą wpływ napełniacza na zmiany struktury nadezasteczkowej polimeru, jest stopień krystaliczności. Pozostając w tematyce właściwości temperaturowych, chciałem zapytać, dlaczego w analizie badań DSC nie uwzględniono termogramów luków i zapinek bez napełniacza?

- na stronach 104 i 105 dysertacji omawiany jest ubytek masy badanych folii, po procesie kompostowania. Folia z napełnieniem 20% mas. węglanem wapnia charakteryzuje się większym ubytkiem masy, w stosunku do folii nienapełnionej. Doktorantka upatruje przyczyn takiego zjawiska w większej grubości folii kompozytowej (o 5 μm). Należy jednak pamiętać, że przyczynia się do tego sam napełniacz, gdyż jego obecność powoduje powstawanie nieciągłości w strukturze folii. W miejscach tych, tzw. obszarach mikrokarbów folia jest bardziej podatna na uszkodzenia, w wyniku działania czynników zewnętrznych i wykazuje większe tendencje do dezintegracji. Sytuacja ta dotyczy także folii wytworzonych z napełnionych tworzyw konwencjonalnych.

Cheąc podsumować wyniki prac badawczych oraz ich omówienie i wnioski, nie dopatrzyłem się w tej części pracy większych błędów merytorycznych, czy też niedociągnięć edytorskich.

Reasumując, wartość merytoryczną przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Pudelko oceniam wysoko. Wpisuje się ona w panujące obecnie trendy badawcze, przyczynia się do rozwoju nauki w obszarze szeroko pojętej ochrony środowiska oraz stanowi duży wkład w rozwój Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Dorobek naukowy Doktorantki

Na postać naukowca ubiegającego się o tytuł doktora staram się patrzeć nie tylko przez pryzmat złożonej do recenzji pracy doktorskiej, ale także przez Jego dorobek naukowy, który dopełnia osobę Kandydata. Dorobek naukowy Pani mgr inż. Agnieszki Pudelko obejmuje współautorstwo 2 zgłoszeń patentowych, współautorstwo 10 publikacji, w tym jako pierwsza autorka występuje w 4 publikacjach. Trzy z publikacji Doktorantki, ukazały się w czasopismach indeksowanych w bazie JCR, a w jednej z tych publikacji mgr inż. Agnieszka Pudelko jest pierwszym współautorem. Publikacje te cytowane są 46 razy przez innych autorów, co świadczy o aktualności i atrakcyjności ich tematyki. A ilość cytowań przełożyła się na wartość indeksu Hirsha, według bazy Scopus $h = 2$. Doktorantka swoje prace prezentowała również na seminariach i konferencjach naukowych, w formie posterów oraz

wystąpień. Brała również udział jako wykonawca w 2 projektach badawczych oraz kierownik jednego tematu badawczego. W swojej działalności naukowej Doktorantka została także wyróżniona przez Rektora Politechniki Częstochowskiej (Zespołowa Nagroda II Stopnia w roku 2019), za uzyskanie i udział w realizacji międzynarodowego projektu badawczego. Dorobek naukowy mgr inż. Agnieszki Pudelko oceniam, na tym etapie pracy naukowej, za godny uznania.

Podsumowanie

Podsumowując ocenę przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agnieszki Pudelko pt. *„Ocena możliwości zagospodarowania odpadów z tworzyw biodegradowalnych powstałych w wyniku uprawy roślin za pomocą kompostowania”*, chciałbym jednoznacznie powiedzieć, że stanowi ona oryginalne osiągnięcie o charakterze poznawczym i użytkowym. Praca dostarcza wielu nowych informacji na temat możliwości zagospodarowania odpadów z tworzyw biodegradowalnych, w postaci biodegradowalnych folii do ściółkowania oraz akcesoriów stosowanych do uprawy roślin, za pomocą kompostowania wraz z pozostałościami roślinnymi. Pomysł na pracę naukową o tak dużym stopniu użyteczności, sposób jej realizacji, ilość zastosowanych technik badawczych i pomiarowych wraz z wnikliwą interpretacją uzyskanych wyników, potwierdza wysokie kompetencje naukowe Doktorantki. Pokazuje również pełne przygotowanie oraz predyspozycje Pani mgr inż. Agnieszki Pudelko do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych. Dlatego uważam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska Pani mgr inż. Agnieszki Pudelko spełnia wymogi ustawowe stawiane rozprawom doktorskim. Wniosuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Częstochowskiej o przyjęcie pracy i przeprowadzenie dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie, biorąc pod uwagę aktualność podjętej tematyki, poziom merytoryczny i edytorski pracy oraz znaczący dorobek naukowy Doktorantki, wniosuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Częstochowskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Pudelko.

Poznań, dnia 05 września 2022 r.



dr hab. inż. Arkadiusz Kloziński