

OPINIA
o rozprawie doktorskiej mgr. inż. Marcina MUSZYŃSKIEGO

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie pisma prof. dr hab. inż. Agaty Jakóbiak-Kolon, przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Śląskiej z dnia 15 października 2025 r. (znak RDICCh.512.8.2025) z informacją o uchwale tej Rady powierzającej mi zrecenzowanie pracy doktorskiej mgr. inż. Marcina Muszyńskiego zatytułowanej *„Zagospodarowanie odpadowego poli(tereftalanu etylenu) poprzez otrzymywanie plastifikatorów tworzyw sztucznych z wykorzystaniem odpadowego PET jako surowca”* oraz zgodnie z umową o dzieło nr UMC/3563/2025.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska opracowana pod kierunkiem dr hab. inż. Gabrieli Dudek, prof. PŚ była zrealizowana w Sieci Badawczej Łukasiewicz-ICSO „Blachownia” przy wsparciu dr. hab. inż. Janusza Nowickiego w charakterze opiekuna pomocniczego. Opiniowana praca była współfinansowana przez Ministerstwo Edukacji i Nauki w ramach grantu nr DWD/5/0567/2021.

Opinię sporządziłam na podstawie dostarczonej dysertacji Doktoranta oraz przy uwzględnieniu kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora zgodnie z art. 187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. z późniejszymi zmianami.

Ocena problematyki badawczej i cel pracy

Polimery i materiały polimerowe są obecnie powszechnie stosowane przynosząc korzyści społeczne, oraz spełniając oczekiwania odnośnie do standardu i komfortu życia społeczeństwa, które dzięki nim jest i staje się łatwiejsze, bezpieczniejsze i wygodniejsze. Obecnie otrzymywane na masową skalę polimery to materiały stosunkowo lekkie i relatywnie tanie, a przy tym wykazujące często unikatowe i różnorodne właściwości fizyczne, chemiczne i użytkowe, co czyni je uniwersalnymi oraz wszechstronnymi, o różnorodnych i wciąż rosnących kierunkach zastosowania.

Poli(tereftalan etylenu) (PET) zaliczany do tzw. „wielkiej piątki” tworzyw produkowanych na największą skalę dzięki swojej lekkości, wytrzymałości, barierowości i bezpieczeństwu jest liderem w sektorze opakowań i kluczowym materiałem tekstylnym. Wyroby te, szczególnie opakowania, cechują się krótkim czasem użytkowania, po którym dość szybko stają się one odpadem. Tymczasem, zgodnie z postulowanymi przez Unię Europejską zasadami modelu gospodarki cyrkularnej, zwanej też gospodarką obiegu zamkniętego, dobra konsumpcyjne, w tym opakowania winny bazować na materiałach, które po zakończeniu „cyklu życia”, stając się odpadem, mogą być ponownie wykorzystane zastępując w części lub w całości surowiec pierwotny. Oczywiście nie jest możliwym stosowanie kolejnych etapów recyklingu w nieskończoność, bowiem każdy proces przetwarzania materiału pogarsza jego jakość i w końcu staje się on bezużytecznym odpadem. W tej sytuacji postuluje się poddanie odpadów recyklingowi chemicznemu tj. chemicznemu rozkładowi w procesie hydrolizy, alkoholizy, czy solwolizy do produktów wykorzystywanych następnie, jako surowce chemiczne. Należy przy tym podkreślić, że Unia Europejska, w strategicznych celach transformacji branży tworzyw sztucznych, na najbliższe lata, postuluje zwiększenie ich cyrkularności, zwracając uwagę na konieczny, obok rozwoju metod recyklingu materiałowego, przede wszystkim wzrost

potencjału recyklingu chemicznego poprzez opracowanie skutecznych metod i wdrażanie nowych rozwiązań w tym zakresie. Trzeba w końcu zauważyć, że poli(tereftalan etylenu), jako poliestr otrzymywany w odwracalnej reakcji polikondensacji, jest szczególnie predestynowany do rozkładu chemicznego.

W ten aktualny nurt rozwoju wpisuje się oceniana praca doktorska, której przedmiotem i celem było, zgodnie z jej tytułem, opracowanie metody zagospodarowania odpadowego poli(tereftalanu etylenu) w procesie recyklingu chemicznego skierowanym na otrzymanie skutecznych plastifikatorów tworzyw sztucznych, alternatywnych do tych otrzymywanych z surowców petrochemicznych.

Struktura i zawartość dysertacji

Rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina Muszyńskiego ma układ zwykle stosowany w takich dysertacjach. Po wprowadzeniu do jej tematyki z określeniem celu pracy, zawarta jest tam część literaturowa, po której występuje rozdział opisujący stosowane w pracy metody i aparaturę. Dalej znajduje się najważniejsza jej część zawierająca opis uzyskanych w pracy wyników i ich omówienie zakończone podsumowaniem i wnioskami. Dalej można znaleźć wykaz dorobku Autora tej pracy obejmujący, z zakresu jej tematyki, trzy artykuły opublikowane w czasopismach indeksowanych w bazie *Journal Citation Reports*, których Doktorant jest pierwszym autorem oraz cztery zgłoszenia patentowe i jeden już udzielony patent. Ponadto Doktorant jest współautorem sześciu prezentacji konferencyjnych a także wykonawcą projektu finansowanego ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki. Z kolei, spoza tematyki dysertacji, mgr inż. Marcin Muszyński jest współautorem ośmiu kolejnych publikacji. Bogata jest także lista innych prac wykonanych z udziałem Doktoranta, w tym 14 badań zrealizowanych na rzecz przemysłu oraz 10 projektów finansowanych przez NCBiR i 14 projektów badawczych zleconych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Rozprawę doktorską kończy, spis tabel i rysunków tam zamieszczonych oraz wykaz cytowanej bibliografii. W sumie oceniana praca liczy 202 strony a ponadto osobno dołączone jest jej streszczenie w języku polskim i angielskim.

Ocena części literaturowej

Już we wstępie pracy doktorskiej (2,5 strony) mgr inż. Marcin Muszyński, po krótkim wprowadzeniu do tematyki określa jej cel a nawet zakres, co moim zdaniem, powinno wynikać z opisanego przeglądu literatury naukowej i po nim zamieszczone, jako podsumowanie analizy stanu wiedzy, z kolei wstęp winien, co najwyżej, uzasadniać podjętą tematykę badawczą.

Dalej znajduje się *Część literaturowa* (37 stron), w której Autor scharakteryzował poli(tereftalan etylenu), jego właściwości i metody wytwarzania. Jako, że omawiana praca doktorska dotyczy opracowania metod utylizacji odpadów PET w kierunku uzyskania z nich plastifikatorów ftalanowych zatem dalej przedstawiona jest ogólna charakterystyka środków zmiękczejących, najważniejsze ich rodzaje, kierunek stosowania, głównie do uplastycznienia poli(chlorku winylu), wraz z krótką charakterystyką znanych teorii wyjaśniających mechanizm plastyfikacji. Dalsze rozdziały części literaturowej dotyczą recyklingu odpadów poli(tereftalanu etylenu), najpierw recyklingu mechanicznego a następnie szerzej, recyklingu chemicznego, który stanowi przedmiot badań Doktoranta. W tej części Autor scharakteryzował opisane metody hydrolizy, glikolizy oraz alkoholizy, w tym najczęściej stosowaną metanolizę, prowadzące do otrzymania ważnego surowca chemicznego jakim jest tereftalan dimetylu a także jej alternatywy tj. etanolizy. W końcu opisane są znane z literatury, głównie patentowej, metody alkoholizy tego polimeru wyższymi, niż etanol, alkoholami, w tym butanolem a szczególnie 2-etyloheksanolem, bowiem estry ftalowe tych alkoholi są znane jako komercyjnie dostępne plastifikatory PVC. Przy opisie opisywanych przemian chemicznych odpadowego PET Doktorant zwraca uwagę na warunki realizacji pożądanego rozkładu tego

tworzywa, w tym szczególnie na rodzaj stosowanych tam katalizatorów, obejmujących także użyte w tym celu ciecze jonowe i rozpuszczalniki eutektyczne. W niektórych przypadkach Autor wskazuje ponadto na kierunek wykorzystania otrzymanych produktów rozkładu PET. Całość w tym zakresie kończy tabelaryczne zestawienie różnorodnych katalizatorów stosowanych w reakcji transestryfikacji PET 2-etyloheksanolem, warunki jej prowadzenia i uzyskane efekty (konwersję i wydajność). Część literaturową kończy charakterystyka stosowanych metod oczyszczania odpadowego PET, głównie usuwania barwników.

Część literaturowa napisana jest jasno i dobrze wprowadza czytelnika do tematyki pracy zrealizowanej przez Doktoranta. Moim zdaniem, na jej końcu, korzystne byłoby podsumowanie informacji zawartych w tej części dysertacji wraz z wnioskami, na podstawie, których dopiero logiczne byłoby dokładne sformułowanie celu i zakresu planowanej pracy badawczej.

Ocena części badawczej rozprawy

Opis wykonanych przez Doktoranta badań poprzedza wykaz i charakterystyka stosowanej przez niego aparatury, w której realizowane były eksperymenty depolimeryzacji PET z zastosowaniem zarówno niższych, jak i szczególnie, wyższych alkoholi, w tym także w czterokrotnie większej skali tj. z użyciem reaktora o poj. 20 dm³. Dalej scharakteryzowane są stosowane w pracy metody analityczne oraz te użyte do oceny właściwości użytkowych otrzymywanych produktów, głównie z wykorzystaniem odpowiednich norm dotyczących charakterystyki jakości plastyfikatorów. Z kolei na samym końcu tej części zamieszczone jest tabelaryczne zestawienie używanych w pracy odczynników.

Dalej (s. 55 do 76) znajduje się rozdział, w którym mgr inż. Marcin Muszyński przedstawił katalizatory, wybrane przez niego do, planowanej w pracy, degradacyjnej transestryfikacji PET w wyniku alkoholizy tego polimeru z udziałem różnych alkoholi od C3 do C10. Obejmowały one 17 katalizatorów metaloorganicznych, głównie pochodnych cyny oraz trzech katalizatorów superzasadowych i sześciu cieczy jonowych. Poza cieczami jonowymi, inne z wymienionych katalizatorów były substancjami komercyjnymi. Z kolei ciecze jonowe Doktorant otrzymywał w ramach swojej pracy z odpowiednich, otrzymanych wcześniej bromków amin organicznych (guanidyn i amidyn), z następczą wymianą anionu bromkowego na jon hydroksylowy. W tabelach przytoczył wydajności obydwu etapów syntezy otrzymywanych cieczy jonowych. Dalej podane są wyniki charakterystyki składu pierwiastkowego (analiza elementarna) oraz struktury otrzymanych wodorotlenków guanidyn oraz amidyn, z wykorzystaniem metod spektralnych ¹H NMR i ¹³C NMR oraz FTIR a także ocena, metodą termogravimetryczną, ich stabilności termicznej. Moim zdaniem ta część dysertacji (rozdz. 4.1.) winna się znaleźć we wcześniejszej, eksperymentalnej części omawianej pracy (rozdz. 3). Z kolei przytoczone, na początku rozdz. 4.1.1. i 4.1.2., uzasadnienie wyboru, na podstawie danych literaturowych, rodzaju katalizatorów do planowanych badań alkoholizy odpadowego PET, winno się znaleźć w podsumowaniu części literaturowej. Tam, w oparciu o dostępną wiedzę, Autor winien uzasadnić i dokonać wyboru, do swoich badań, określonych grup związków w charakterze katalizatorów planowanych badań alkoholizy odpadowego PET.

Kolejny fragment pracy (rozdz. 4.2.) to jej zasadnicza część badawcza związana z opracowaniem skutecznej metody recyklingu chemicznego odpadowego PET w wyniku jego degradacyjnej, katalitycznej alkoholizy z udziałem, wcześniej wytypowanych, 26 katalizatorów zaliczanych do trzech określonych wyżej grup, z których katalityczne ciecze jonowe – jak już wyżej wspomniano - Doktorant otrzymał oraz scharakteryzował w ramach swojej rozprawy doktorskiej. Skład mieszaniny poreakcyjnej był określany na podstawie wyników chromatografii gazowej a do identyfikacji zawartych tam komponentów stosowana była metoda GC-MS, w końcu także obliczana była wydajność każdej reakcji. Już na początku tego rozdziału, po określeniu jakości surowca tj. odpadowego PET na

podstawie znanego z literatury mechanizmu transestryfikacji olejów roślinnych katalizowanej cyanoorganicznymi kwasami Lewisa, Autor ocenianej pracy przedstawił analogiczny mechanizm alkoholizy w odniesieniu do PET. Dalej przedstawione są i opisane wyniki degradacyjnej transestryfikacji PET niższymi alkoholami, w tym izopropanolem oraz n-butanolem, kolejno z udziałem wytypowanych trzech grup katalizatorów, w celu wyboru tych najbardziej aktywnych. Wyniki składu próbek pobieranych po 1, 3 i 6 godzinach prowadzonej transestryfikacji z udziałem kolejno testowanych katalizatorów oraz jej wydajność zostały zestawione w sześciu tabelach a po nich znajduje się tabelaryczne zestawienie zidentyfikowanych składników w mieszaninach poreakcyjnych oraz zarejestrowane chromatogramy produktów depolimeryzacji i widma masowe głównych komponentów. Podobny zestaw reakcji został wykonany dla degradacyjnej transestryfikacji odpadowego PET alkoholem n-butylovym. W wyniku przeprowadzonych serii badań alkoholizy odpadowego PET niższymi alkoholami Doktorant stwierdził, że niezależnie od rodzaju zastosowanego alkoholu wydajność odpowiedniego produktu była najwyższa w reakcjach katalizowanych związkami metaloorganicznymi znanymi z dobrej aktywności w reakcjach transestryfikacji.

W następnym rozdziale 4.2.2. dysertacji opisane są badania degradacyjnej transestryfikacji odpadowego PET rozgałęzionymi, wyższymi alkoholami: 2-etyloheksylowym, izononylovym oraz izodecylowym, skierowane na uzyskanie produktów – potencjalnych plastyfikatorów tworzyw sztucznych, co jest zgodne z tytułem opiniowanej rozprawy. W badaniach tych Doktorant stosował katalizatory testowane wcześniej podczas alkoholizy PET niższymi alkoholami, czyli katalizatory należące do związków metaloorganicznych, superzasad i cieczy jonowych. Podobnie jak w poprzednim rozdziale dla każdego, spośród wymienionych, wyższego alkoholu, w pracy podany jest komplet wyników taki jak dla wcześniej opisanych badań transestryfikacji PET z udziałem niższych alkoholi.

Jak już wyżej wspomniano, w obydwu omawianych wyżej rozdziałach 4.2.1. i 4.2.2. Autor, kolejno dla każdego z alkoholi stosowanych do degradacyjnej transestryfikacji odpadowego PET i typu użytego katalizatora, oceniał wydajność reakcji oraz określał strukturę głównych składników mieszaniny poreakcyjnej. Jak wynika z przytoczonych i opisanych wyników najkorzystniejszym katalizatorem badanej przemiany okazały się związki cyny, a nieco mniej aktywne były stosowane katalizatory superzasadowe. Z kolei zsyntezowane przez Doktoranta w ramach pracy i testowane cieczy jonowe okazały się najmniej skuteczne. W tym miejscu zwracam uwagę, że wobec wielości i różnorodności składu testowanych układów reakcyjnych w opisie rezultatów badań, korzystnym byłoby, aby na ich końcu (koniec rozdz. 4.2.) znalazło się podsumowanie wraz z oceną i dyskusją wyników uzyskanych w tym zakresie, uzasadniające, przede wszystkim, wybór alkoholi i katalizatora do prowadzonych dalej testów aplikacyjnych.

Dopiero w rozdz. 4.3., przed przedstawieniem wyników czterokrotnego przeskalowania badanej reakcji chemicznego rozkładu odpadowego PET, Autor wskazał i uzasadnił wybór do degradacyjnej transestryfikacji tego poliestru trzech, testowanych wcześniej wyższych alkoholi oraz określił rodzaj wytypowanego katalizatora a mianowicie szczawian cyny, który wykazał największą aktywność katalityczną a przy tym odporność na zanieczyszczenia zawarte w odpadowym surowcu. Podobnie do scharakteryzowanych wcześniej badań zrealizowanych w skali laboratoryjnej, również w tych prowadzonych w większej skali, pobierane były próbki mieszaniny poreakcyjnej i określano w nich zawartość nieprzereagowanego odpowiedniego alkoholu i uzyskanego właściwego tereftalanu oraz udział glikolu etylenowego i pozostałości. Korzystnie stwierdzono, że wydajność reakcji prowadzonej w większej skali okazała się nawet wyższa od uzyskanych w skali laboratoryjnej, bowiem wynosiła ok. 90 %, z niewielkim obniżeniem ze wzrostem masy cząsteczkowej użytego alkoholu. Otrzymane produkty degradacyjnej transestryfikacji podanymi wyższymi alkoholami Doktorant poddał

wieloetapowemu rozdziałowi i oczyszczaniu, głównie w wyniku destylacji i rektyfikacji, uzyskując odpowiednie estry ftalanowe o wysokiej czystości (ok. 99,5 %).

Jako, że celem ocenianej dysertacji było uzyskanie, w wyniku chemicznej utylizacji odpadów PET, tereftalanów, potencjalnie możliwych do zastąpienia dotychczas stosowanych komercyjnych plastyfikatorów tego rodzaju, otrzymane i oczyszczone trzy estry kwasu tereftalowego poddane zostały charakterystyce fizykochemicznej a uzyskane wyniki porównano z wymaganiami dla komercyjnych plastyfikatorów. Doktorant stwierdził, że otrzymane przez niego estry tereftalowe wykazują zbliżone właściwości w stosunku do wymagań dla odpowiednich produktów handlowych otrzymywanych z surowców petrochemicznych.

W kolejnym etapie badań aplikacyjnych (rozdz. 4.4.) mgr inż. Marcin Muszyński opisał wyniki oceny właściwości użytkowych standardowo wytworzonych, sprasowanych a wcześniej żelowanych, past PVC, stanowiących kolejno mieszaniny tego polimeru z otrzymanymi przez siebie trzema estrami tereftalowymi, zarówno surowymi, jak i po ich oczyszczeniu, oraz z dodatkiem stabilizatora i kredy. Osiągnięte dla nich wyniki zestawione zostały z odpowiednimi rezultatami dla mieszanek PVC z handlowymi tereftalanami: diizooktylowym i diizodecylowym. Na podstawie tego porównania Autor stwierdził, że właściwości otrzymanych przez niego tereftalanów z odpadowego PVC umożliwiają ich zastosowanie w charakterze plastyfikatorów wymienionego tworzywa, zastępując odpowiedniki komercyjne bazujące na surowcach petrochemicznych.

Kończącym etapem pracy mgr. inż. Marcina Muszyńskiego były badania nad oczyszczeniem otrzymanych w pracy tereftalanów od zanieczyszczeń barwnych w miejsce wcześniej stosowanych, energochłonnych metod destylacyjnych z następczym użyciem ziemi bielącej i węgla aktywnego, wyłącznie procesem sorpcyjnym. W tym celu Doktorant testował skuteczność 16 odmian węgla aktywnego, dla których wykonał charakterystykę ich struktury porowatej metodą sorpcji azotu. W kolejności ocenił stopień usunięcia zanieczyszczeń barwnych z mieszanin poreakcyjnych degradującej transestryfikacji odpadowego PET, przy udziale scharakteryzowanych sorbentów. W wyniku Autor dysertacji stwierdził skuteczność oczyszczenia produktu chemicznej utylizacji odpadowego PET z użyciem 2-etyloheksanolu, przy wykorzystaniu węgla aktywnego, szczególnie jego odmian o większej zdolności sorpcyjnej wynikającej z większej ich powierzchni i objętości porów, choć – jak wynika z porównania danych w tabelach 59 i 60 - zależność ta nie jest zachowana w każdym przypadku.

Wypełniając obowiązki recenzenta, poniżej przytaczam zauważone w pracy doktorskiej nieliczne uchybienia językowe i zauważone błędy:

- s. 4 i 5 na rys. 1 przedstawiony jest wzór PET a nie – jak napisano - jego jednostki powtarzalnej,
- s.5 nawet o 15 % wyższa wydajność **kwasu** tereftalowego; chyba chodzi w tym miejscu o jego **ester**,
- s. 20 drugi wers w drugim akapicie; niepoprawny skrót myślowy: Przykładowo, [123] **pozwalal uzyskać** wydajność; brak w zdaniu podmiotu!,
- s. 30 trzeci akapit od góry; w obecności glikolu **etylenowym** zamiast glikolu **etylenowego**,
- s. 76 nieścisłości w objaśnieniach symboli we wzorze (2),
- s. 104 wyniki w tabeli 30, jak podano w tytule winny odnosić się do degradacyjnej transestryfikacji odpadowego PET 2-etyloheksanolem, zaś w tabeli wskazano, jako produkty alkohol izononylowy oraz jego tereftalan – TFDIN, z kolei w kolejnych tabelach tego podrozdziału określenia są poprawne,
- s. 139 początek pierwszego, drugiego i trzeciego akapitu; jest: Składnik Przedstawiony..., zamiast Składnik przedstawiony...,

- s.141 i 142 brak przy określaniu masy niektórych z uzyskanych tereftalanów jednostki – g,
- s. 146 podano, tam informację, że w rozdz. 3.2.10. opisany jest sposób uzyskania mieszanek plastifikatora z polimerem, tymczasem w tym rozdziale na s. 51 brak informacji o stosowanych w nich rodzaju i ilości PVC,

W końcu brak w rozprawie doktorskiej wylistowanych, używanych w niej skrótów a szereg z nich nie jest także wyjaśnionych przy przedstawieniu i omawianiu wyników, dla przykładu skróty estrów podanych w tabelach w rozdziale 4.2.1. i 4.2.2. Ponadto, dlaczego w rozdz. 4.1. symbole estrów podawane są w nawiasach (TFDO), (TFDIN) i (TFDID) – s. 141, 142 i 143, gdy równocześnie na tej ostatniej (u góry) te same skróty są bez nawiasu, podobnie w tabelach zestawiających wyniki kolejnych badań transestryfikacji ?

W końcu, oceniając stronę edytorską pracy doktorskiej mgr. inż. Marcina Muszyńskiego stwierdzam, że poza wymienionymi wyżej uwagami, jest ona napisana czytelnie i jasno, z nielicznymi tylko tzw. literówkami oraz poprawnym sformatowaniem, choć np. tytuły niektórych tabel podane są na stronie poprzedzającej ich umieszczenie (np. tab. 15 na s. 75 i 76) a tytuły rysunków na kolejnej stronie (rys. 29 s. 74 i 75), czy niepotrzebnie pozostawione wolne fragmenty stron np. s. 156 do 158.

W końcu mam do Doktoranta następujące pytania:

- Proszę o określenie rodzaju i udziału składników (głównie dot. to PVC) oraz sposobu otrzymywania próbek do oceny właściwości użytkowych opracowanych stabilizatorów.
- Jak wyjaśnić skokowy wzrost wydajności odpowiednich estrów tereftalowych otrzymanych w, katalizowanej szczawianem cyny, reakcji transestryfikacji odpadowego PET przy zmianie niższych – spośród badanych – alkoholi (69,5 %) na ich wyższe odpowiedniki (ok. 90 %) dodatkowo malejącej ze wzrostem masy cząsteczkowej tych ostatnich (2-EH – 90,16 %, alkohole izononylowy – 86,7 % oraz izodecylowy – 85,7 %).
- Jaki może być powód różnicy w stopniu usunięcia barwy z produktów rozkładu odpadowego PET np. przy zastosowaniu, przykładowo węgla aktywnego Grand EUR (skuteczność bliska 74 %), i wyraźnie mniej efektywnego w tym zakresie, sorbentu ChiemiVall_MMP (skuteczność blisko 30 % mniejsza) cechującego się większą powierzchnią właściwą i dwukrotnie większą objętością porów?
- Dlaczego dla porównania jakości otrzymanych w pracy plastifikatorów z odpowiednikami komercyjnymi stosowano tylko handlowe tereftalany dioizooktylowy i diizodecylowy a pominięto ester kwasu tereftalowego z 2-etyloheksanolem, otrzymywany m.in. w Grupie Azoty Kędzierzyn S.A.?
- Proszę o uzasadnienie zawartego w pracy stwierdzenia „praca dotyczy poszukiwania alternatywnych plastifikatorów przyjaznych środowisku” czy w pracy „szczególną uwagę zwrócono na możliwość zastąpienia tradycyjnych plastifikatorów ftalanowych, uznawanych za szkodliwe dla środowiska i zdrowia, alternatywnymi związkami” skoro w pracy otrzymywane były tereftalany tożsame pod względem chemicznym ze znanymi, komercyjnymi związkami, poza bezspornie innym i korzystnym źródłem surowcowym.

Podsumowanie i wnioski

Przedstawiona do oceny dysertacja mgr. inż. Marcina Muszyńskiego stanowi istotny wkład w rozwój postulowanej obecnie chemicznej utylizacji odpadowego PET metodą destrukcyjnej jego transestryfikacji wyższymi alkoholami, zmierzającej do wytwarzania pożądanych plastifikatorów poli(chlorku winylu). Przedmiotowa praca doktorska przedstawia obszerny zakres wykonanych badań

wraz z czterokrotnym, w stosunku do badań laboratoryjnych, skalowaniem opracowanej przemiany obejmując także skuteczne oczyszczanie uzyskanych produktów. Z przeprowadzonych oraz opisanych w rozprawie doktorskiej badań wynika możliwość wdrożenia jej efektów do praktyki przemysłowej, jako technologii umożliwiającej zmniejszenie skali i uciążliwości odpadów polimerowych a przy tym korzystnie ograniczając wykorzystanie surowców ropopochodnych w dotychczasowej praktyce przemysłowej. Należy tu zwrócić uwagę, że jak zadeklarował w pracy Doktorant, prace optymalizacyjne bazujące na wynikach ocenianej dysertacji stanowią podstawę przygotowywanego wniosku o sfinansowanie dalszych prac rozwojowych zmierzających do wdrożenia przedmiotowej technologii w skali półtechnicznej.

Kończąc stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina Muszyńskiego pt: *Zagospodarowanie odpadowego poli(tereftalanu etyleny) poprzez otrzymywanie plastyfikatorów tworzyw sztucznych z wykorzystaniem odpadowego PET jako surowca* dowodzi teoretycznej wiedzy Doktoranta mieszczącej się w dyscyplinie inżynieria chemiczna. Świadczy ponadto o jego doświadczeniu w zakresie realizacji chemicznych reakcji zarówno w skali laboratoryjnej jak i powiększonej oraz charakterystyki fizykochemicznej substancji chemicznych a przy tym oceny ich właściwości użytkowych z zastosowaniem poprawnie dobranych metod analitycznych. Dowodzi ona także jego umiejętności samodzielnego prowadzenia prac badawczych o potencjale wdrożeniowym. Ostatecznie stwierdzam, że przedłożona mi do oceny rozprawa doktorska spełnia warunki określone w art. 187 ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r. z późniejszymi zmianami (Dz.U. z 2024 r. poz.1571). W sumie **wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Śląskiej o przyjęcie opiniowanej przeze mnie pracy doktorskiej i dopuszczenie mgr. inż. Marcina Muszyńskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Podpisano odręcznie przez autora