



90-363 Łódź, ul. Sienkiewicza 112  
Centrala: (0-42) 680-32-00  
Dyrektor: (0-42) 680-32-18  
Z-ca Dyrektora ds. Naukowych: (0-42) 680-32-14  
Sekretariat Naukowy: (0-42) 680-32-32  
e-mail: [snbmm@cbmm.lodz.pl](mailto:snbmm@cbmm.lodz.pl)



Prof. dr hab. inż. Anna Kowalewska,  
Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych  
Polskiej Akademii Nauk  
Sienkiewicza 112  
90-363 Łódź  
[anna.kowalewska@cbmm.lodz.pl](mailto:anna.kowalewska@cbmm.lodz.pl)

Łódź, 01.12.2025

### RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jakuba Kruszyńskiego  
pt. „*Struktura chemiczna i właściwości funkcjonalnych poliolefin*”  
(*“Chemical structure and properties of functional polyolefins”*)  
wykonanej pod kierunkiem Prof. dr hab. inż. Lidii Jasińskiej-Walc  
na Wydziale Chemii Politechniki Gdańskiej

Poliolefiny, ze względu na ich atrakcyjne właściwości fizykochemiczne i mechaniczne, względnie niski koszt wytwarzania oraz fakt dopuszczenia do kontaktu z żywnością, są szeroko stosowanymi tworzywami sztucznymi. Wybierane są często do zastosowań opakowaniowych, w tym jednorazowego użytku. Powoduje to powstawanie ogromnych ilości odpadów poliolefinowych, a poziom ich recyklingu nie jest wciąż wystarczający. Jednym z powodów tego stanu rzeczy jest niemieszalność niektórych olefin, pomimo ich podobnej struktury chemicznej. Dlatego też poszukiwane są nowe, wydajne energetycznie technologie pozwalające na recykling odpadów poliolefinowych. Inną ścieżką umożliwiającą ponowne wykorzystanie odpadów polimerowych jest ich upcykling, czyli wykorzystanie w celu wytworzenia nowych materiałów lub produktów o ulepszonych właściwościach.

Jednym ze sposobów umożliwiających ponowne wykorzystanie odpadów polimerowych jest ich kompatybilizacja. Jej efektywność zależy od sposobu oddziaływań środków kompatybilizujących z składnikami mieszanin odpadów, przy czym duże znaczenie ma również ich cena i dostępność. Ważnym kierunkiem w tym obszarze jest zastosowanie kopolimerów blokowych i szczepionych. Właściwości fizykochemiczne takich elastomerów, pozwalające na kompatybilizację odrębnych faz makrocząsteczkowych, mogą być również wykorzystywane do łączenia materiałów polarnych i niepolarnych, w tym hybrydowych połączeń metali i materiałów polimerowych. Substancje mające zdolności klejące, szczególnie te przyjazne dla środowiska poprzez spełnienie zasad zielonej chemii i gospodarki w obiegu zamkniętym oraz stosowanie efektywnych ekonomicznie technologii nisko- lub bezodpadowych, odgrywają obecnie ważną rolę w przemyśle elektronicznym, samochodowym, meblarskim oraz budownictwie, jak również w codziennych, zwykłych zastosowaniach. Kleje polimerowe powinny wykazywać się bardzo dobrą adhezją do różnorodnych powierzchni, w tym

inertnych chemicznie powierzchni hydrofobowych, o niskiej swobodnej energii powierzchniowej. Kleje termotopliwe (*hot melt adhesives*, HMAs), szczególnie HMAs na bazie elastomerów poliolefinowych, zajmują znaczące miejsce w przemyśle. Bardzo ważnym aspektem w pracach nad opracowaniem HMAs nowej generacji jest recyklingowość. W ten obszar wpisują się również prace badawcze pana mgr inż. Jakuba Kruszyńskiego prowadzone pod kierunkiem pani Prof. dr hab. inż. Lidii Jasińskiej-Walc. Celem naukowym przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej było opracowanie dróg syntezy nowego rodzaju funkcjonalnych olefin (FPO), ze szczególnym uwzględnieniem blokowych i szczepionych kopolimerów polipropylenu funkcjonalizowanego podstawnikami z grupami hydroksylowymi, które mogłyby być użyte jako polimerowe kleje termotopliwe oraz jako kompatybilizatory odpadów polimerowych. Doktorant podjął się przeprowadzenia wszechstronnych badań optymalizacyjnych, w tym charakterystyki struktury chemicznej oraz właściwości uzyskanych FPO, których charakter amfifilowy pozwalał na przyleganie do podłoży polarnych (metale), jak również materiałów niepolarnych (np. poliolefiny). Ważnym aspektem przeprowadzonych prac było dostosowanie zaprojektowanych rozwiązań do założeń gospodarki w obiegu zamkniętym, uwzględniające ich ponowne użycie, jak również uzyskanie materiałów o ulepszonych właściwościach. Autor rozprawy podjął się badań nad zastosowaniem kopolimerów FPO o różnym składzie chemicznym i topologii, jako kompatybilizatorów, w celu opracowania strategii poprawiających właściwości mechaniczne mieszanin na bazie poliolefin.

### **Ocena formalna**

Powierzona mi do recenzji rozprawa doktorska jest Przewodnikiem napisanym w języku angielskim do spójnego tematycznie zbioru czterech oryginalnych prac, opublikowanych w prestiżowych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, umieszczonych w bazie *Journal Citation Reports*:

1. *ACS Applied Polymer Materials* **2021**, 3, 5509–5516
2. *ACS Applied Polymer Materials* **2023**, 5, 3875–3882
3. *Science Advances* **2024**, 10, eado1944
4. *Macromolecules* **2025**, 58, 2894–2904

Sumaryczny współczynnik oddziaływania IF tych prac wynosi 27.3 (wg danych z roku 2024). O ich wysokim poziomie merytorycznym oraz wpisywaniu się ich tematyki w aktualne trendy badawcze świadczy uzyskanie 42 cytowań (40 bez autocytowań) wg bazy Scopus w dniu 25.11.2025. Należy podkreślić, że wyniki badań opisanych w pracy doktorskiej są powiązane z udzielonym patentem EP4484516B1 (*Hot melt adhesives based on blends comprising non-functionalized and functionalized polyolefins*), którego współautorem jest pan mgr inż. Jakub Kruszyński. Prace badawcze finansowane były przez firmę Saudi Basic Industries Corporation (SABIC). Publikacje składające się na dysertację są wieloautorskie, jednak ocena rzeczywistego wkładu Doktoranta dokonana na podstawie analizy przedstawionych dokumentów pozwala mi jednoznacznie stwierdzić, że udział pana mgr inż. Jakuba Kruszyńskiego w powstaniu poszczególnych publikacji był znaczący. W przeważającej większości z tych prac (3 z 4) jest on pierwszym autorem. W pracach opublikowanych w *ACS Applied Polymer*

*Materials* **2023** oraz *Macromolecules* **2025** Doktorant brał udział w opracowaniu koncepcji badań, wykonaniu części badań eksperymentalnych i przygotowaniu danych do manuskryptu jak również przygotowaniu tekstu manuskryptu publikacji. W dwóch kolejnych (*ACS Applied Polymer Materials* **2021** oraz *Science Advances* **2024**) wkład Doktoranta dotyczył udziału w badaniach eksperymentalnych i przygotowaniu danych do manuskryptu.

Wprowadzenie literaturowe w tematykę dysertacji zbudowane jest wokół zagadnień dotyczących metod syntezy, właściwości i zastosowań poliolefin w zależności od ich struktury chemicznej. W pierwszej części rozprawy Doktorant w bardzo przejrzysty sposób wprowadza czytelnika w problematykę związaną z otrzymywaniem poliolefin, ze szczególnym podkreśleniem dróg prowadzących do uzyskania polipropylenu o różnej morfologii łańcucha, w tym stosowanych przemysłowo metod uzyskiwania homopolimerów i kopolimerów propylenu. W logicznym ciągu, w powiązaniu z rozważaniami na temat struktury łańcucha głównego, omówiono także właściwości różnych rodzajów polipropylenu. Przedstawione zostały również przewidywania dotyczące przyszłości rynku polipropylenu oraz opis dotychczasowych osiągnięć w obszarze żywic polipropylenowych. W odniesieniu do wprowadzenia literaturowego sformułowany został poprawnie szczegółowy cel pracy. Rozdział ten zakończony jest spisem literatury przedmiotu, zawierającym 97 pozycji.

Kolejne dwie części rozprawy zawierają dyskusję na temat wyników uzyskanych przez Doktoranta w ramach własnych prac badawczych. Każda z nich zawiera oddzielne, bardziej szczegółowe wprowadzenie w problematykę danego rozdziału, jego zakres tematyczny, spis literatury, a następnie pełne teksty publikacji związanych z danym tematem (z włączeniem wprowadzenia, omówienia wyników, wniosków, spisu literatury oraz informacji uzupełniających). Po rozdziałach zawierających dyskusję też dysertacji zamieszczono podsumowanie, wykaz stosowanych skrótów oraz życiorys naukowy Autora rozprawy.

### **Ocena merytoryczna**

Pan mgr inż. Jakub Kruszyński przedstawił w rozprawie doktorskiej omówienie wyników przeprowadzonych przez niego prac badawczych. Rozdział drugi poświęcony jest badaniom nad uzyskaniem funkcjonalizowanych polyolefin (*in-reactor-functionalized-polyolefins*, IRF-PO), oraz ich zastosowaniem jako komponentów klejów termotopliwych. Temat ten jest powiązany z publikacjami *ACS Applied Polymer Materials* **2023**, 5, 3875–3882 oraz *Macromolecules* **2025**, 58, 2894–2904. W ogólnym wprowadzeniu do tej części dyskusji Doktorant opisał zjawiska adhezji a także omówił klasyfikację klejów polimerowych, ze szczególnym naciskiem na właściwości substancji należących do klasy klejów termotopliwych. Autor rozprawy skupiał się w tych badaniach nad zrozumieniem związku pomiędzy morfologią polipropylenu sfunkcjonalizowanego grupami hydroksylowymi i jego właściwościami. Co istotne, dodatek IRF-PO do polipropylenu okazał się być metodą pozwalającą na dostrajanie właściwości adhezyjnych poliolefin. Siła przyczepności mieszanin zawierających IRF-PO do polarnych podłoży była porównywalna z uzyskiwaną przy zastosowaniu termoreaktywnych klejów strukturalnych. Termoplastyczne systemy zawierające IRF-PO okazały się mieć jednak ważną

przewagę – można je łatwo odkleić i ponownie przyłączyć, co zwiększa zakres ponownego użycia takich materiałów.

Pierwsza z wymienionych wyżej prac dotyczy badań nad uzyskaniem klejów termotopliwych przy zastosowaniu terpolimerów na bazie propylenu zawierających boczne łańcuchy n-butyłowe i 4-hydroksybutyłowe. Zostały one otrzymane na drodze kopolimeryzacji propylenu i sfunkcjonalizowanych komonomerów. W trakcie badań wykazano, że poliolefiny zawierające polarne grupy hydroksylowe mogą być stosowane jako mocne, elastyczne kleje termotopliwe o dużym powinowactwie do izotaktycznego polipropylenu (iPP) a jednocześnie do polarnych powierzchni, np. metali. Dokonano szczegółowej analizy właściwości tak uzyskanych polimerów badając ich przyczepność do aluminium, stali oraz iPP wzmocnionego włóknem szklanym oraz kombinacji kompozytu iPP/włókno szklane z aluminium lub stalą. Stwierdzono, iż badane materiały, nawet przy względnie niewielkiej zawartości grup hydroksylowych ( $\leq 0,5$  mol%), wykazywały doskonałą przyczepność do aluminium i stali ( $> 16$  MPa, porównywalnie z wytrzymałością dwuskładnikowych klejów epoksydowych) w typowych warunkach zastosowania (aplikacja w  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$  a następnie schłodzenie do temperatury pokojowej). Na podstawie wyników badań reologicznych zaproponowano wyjaśnienie tego zjawiska. Stwierdzono, że grupy hydroksylowe polimeru mogą brać udział w tworzeniu dynamicznych węzłów sieci poprzez tworzenie wiązań wodorowych. Wykazano również, że zwiększenie poziomu funkcjonalności terpolimerów prowadziło do znacznej poprawy siły przyczepności w niższej temperaturze zastosowania ( $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Dzięki temu możliwe było zastosowanie tak uzyskanych sfunkcjonalizowanych poliolefin jako klejów HMAs o wysokiej wytrzymałości do łączenia polipropylenu i metali. Bardzo ciekawy efekt uzyskano również modyfikując kopolimery polipropylenu przez przyłączenie grup trimetylosiloksyłowych. Uzyskano w ten sposób polimery, których przyczepność do aluminium i stali (około 8 MPa) była lepsza niż można było oczekiwać wobec braku grup hydroksylowych.

W ramach przeprowadzonych badań stwierdzono, że siła przyczepności kopolimerów wykazywała liniową korelację z poziomem funkcjonalności hydroksylowej kopolimerów. W związku z tym zaproponowano rozwiązanie polegające na regulacji właściwości adhezyjnych klejów polimerowych poprzez mieszanie sfunkcjonalizowanych kopolimerów propylenowych zawierających statystycznie rozmieszczone rozgałęzione łańcuchy boczne i grupy hydroksylowe, z niesfunkcjonalizowanymi kongenerami. Uzyskane mieszaniny polimerów zastosowano jako jednoskładnikowe kleje HMA do klejenia aluminium i stali. W toku badań przeprowadzono dokładną charakterystykę morfologii, właściwości fizycznych i krystalizacji tych mieszanin w zależności od struktury zastosowanych komponentów. Stwierdzono, że w przypadku mieszanin funkcjonalizowanego poli(propylenu-ko-heks-1-enu-ko-heks-5-en-1-olu) i poli(propylenu-ko-heks-1-enu) lub poli(propylenu-ko-but-1-enu) siła przyczepności pozostawała niezmienną niezależnie od ich składu, nawet w obecności zaledwie 1% wag. sfunkcjonalizowanego dodatku. Stwierdzono ponadto, że krystaliczność niesfunkcjonalizowanej poliolefiny i stopień jej mieszalności ze sfunkcjonalizowaną poliolefiną odgrywają kluczową rolę w regulacji siły adhezji mieszanin. Przeprowadzone badania symulacyjne sugerowały, że poliolefiny z grupami hydroksylowymi mogą wykazywać tendencję do migracji w kierunku powierzchni tlenku glinu i

wchodzenia w interakcje z nią, co może wyjaśnić obserwowane zależności odnośnie siły ich przyczepności [brak zmian nawet po 100-krotnym rozcieńczeniu w przypadku mieszanin poli(propyleno-ko-heks-1-ene-ko-heks-5-en-1-olu) z poli(propyleno-ko-heks-1-enem) i poli(propyleno-ko-but-1-enem), lub przeciwnie, stopniowe zmniejszenie w przypadku separowanych fazowo mieszanin poli(propyleno-ko-heks-1-ene-ko-heks-5-en-1-olu) i poli(propyleno-ko-etylenu)].

W trzeciej części rozprawy doktorskiej pan mgr inż. Jakub Kruszyński rozwinął temat kompatybilizacji mieszanin poliolefin z innymi tworzywami sztucznymi. Mieszanie takie daje możliwość połączenia korzystnych właściwości różnych polimerów, w celu optymalizacji np. właściwości adhezyjnych i mechanicznych produktu, ulepszenia jego odporności chemicznej oraz np. poprawy spienialności. Ogólny wstęp tego rozdziału poświęcony został problemom odzyskiwania i ponownego wykorzystania materiałów polimerowych oraz strategiom dotyczącym metod kompatybilizacji poliolefin. Na tym tle przedstawiono zakres zaplanowanych badań oraz omówiono kolejno wyniki prac eksperymentalnych zamieszczonych w dwóch publikacjach (*ACS Appl. Polym. Mater.* **2021**, 3, 11, 5509–516 oraz *Science Advances* **2024**, 10, eado1944).

W pierwszej z wymienionych prac opisano działanie kopolimerów blokowych i szczepionych polipropylen-poli(brasylian glikolu etylenowego) (PP-*graft/block*-PEB) oraz kopolimeru polipropylenu szczepionego polikaprolaktonem (PP-*graft*-PCL) jako środków kompatybilizujących dla mieszanin izotaktycznego polipropylenu i poliwęglanu (PP/PC). Kopolimery te uzyskano na drodze polimeryzacji z otwarciem pierścienia (cROP), lub poprzez trans-estryfikację wstępnie zsyntetyzowanych łańcuchów poliestrów PEB i PCL, z grupami hydroksylowymi losowo rozmieszczonymi na makroinicjatorze PP. Podejście polegające na trans-estryfikacji stanowi interesującą alternatywę dla cROP, ponieważ proces ten można przeprowadzić w większej skali w wylączarce w warunkach bezrozpuszczalnikowych. Jako sposób oceny skuteczności zastosowanego środka kompatybilizującego wybrano spienianie uzyskanych mieszanin PP/PC. Ważnym aspektem w tych badaniach była izolacyjność akustyczna PC. Oczekiwano, że spieniona kompatybilizowana mieszanina mogłaby potencjalnie mieć zastosowanie np. w przemyśle motoryzacyjnym. W związku z tym mieszaniny PP/PC (w stosunku wagowym 80/20) stabilizowane niewielkimi ilościami makrocząsteczkowych środków kompatybilizujących (5% wag.) poddano testom spieniania przez wylączanie w celu uzyskania pianek PP/PC o gęstości  $< 50 \text{ kg/m}^3$ .

Dokonując wszechstronnej analizy uzyskanych układów, w tym prowadząc badania reologii stopu i porównując je z niekompatybilizowanymi mieszaninami PP/PC, stwierdzono że wielkocząsteczkowe dodatki nowego typu spontanicznie organizowały się na granicy faz dwóch niemieszalnych komponentów, prowadząc do powstania w skali nano stabilnej i jednolitej morfologii. W obecności kopolimerów PP-*blok/graft*-PEB i PP-*graft*-PCL spienione mieszaniny PP/PC wykazywały lepszą właściwości niż pianki wytwarzane z czystego, długolańcuchowego PP o rozgałęzionej strukturze. Zastosowanie PP-*graft*-PEB<sub>TE</sub> i PP-*graft*-PCL<sub>TE/ROP</sub> o średniej wartości  $>1,5$  łańcuchów szczepionych na łańcuch i segmencie PP o  $M_n \geq 25 \text{ kg/mol}$  spowodowało ponad dwukrotne zmniejszenie rozmiaru domen poliwęglanowych, a w rezultacie znacznego zwiększenia adhezji między fazami poliwęglanu i polipropylenu. Badania reologiczne w stopie wykazały, że efektem kompatybilizacji był wzrost

elastyczności mieszanin w zakresie niskich częstotliwości. Dodanie PP(4)-graft-PCL<sub>TE</sub> do mieszaniny PP/PC spowodowało wzrost lepkości wzdłużnej, a spienienie metodą wytłaczania pozwoliło w tym przypadku na uzyskanie pianki o gęstości < 40 kg/m<sup>3</sup>. Uzyskane wyniki wskazują, że takie podejście może być ekonomicznym i łatwym do skalowania sposobem produkcji pianek o niskiej gęstości w procesie wytłaczania.

W ostatniej z cyklu prac wchodzących w skład dysertacji, pan mgr Kruszyński pochylił się nad problemami recyklingu i upcyklingu poliolefin, szczególnie kompatybilizacji odpadów niemieszalnych polietylenu o wysokiej gęstości (HDPE) i izotaktycznego polipropylenu (iPP). Podejmując to wyzwanie, zaproponowano użycie polipentadekalaktonu (PPDL) – alifatycznego poliestru zawierającego czternaście jednostek metylenowych pomiędzy wiązaniami estrowymi - jako ekologicznego środka kompatybilizującego dla mieszanin iPP z dodatkiem HDPE. Inspiracją do podjęcia badań takich układów był fakt podobieństwa struktury krystalicznej oraz właściwości PPDL do HDPE. Polimery te nie są mieszalne, jednak ze względu na zjawisko epitaksjalnej krystalizacji PPDL na HDPE, tworzą separowane fazowo mieszaniny o wyjątkowych właściwościach mechanicznych. W badaniach zawartych w dysertacji stwierdzono ponadto, że fazy amorficzne PPDL i iPP są częściowo mieszalne.

Autor rozprawy wykazał, że PPDL może bardzo skutecznie powodować przekształcenie kruchych mieszanin iPP/HDPE w cenne materiały, przewyższające pod względem właściwości mechanicznych referencyjne polimery HDPE i iPP. Dodanie niewielkiej ilości PPDL, mieszalnego z iPP, krystalizującego epitaksjalnie na HDPE i częściowo zlokalizowanego w fazie międzyfazowej skutkowało powstawaniem domen HDPE o rozmiarze 200 nm w mieszaninach bogatych w iPP. Spowodowało to znaczące polepszenie wartości odkształcenia kompatybilizowanych mieszanin iPP/HDPE/PPDL przy zerwaniu pod wpływem naprężenia jednoosiowego (odpowiednio 726 i 656% dla składów 90/10/5 i 80/20/5 w/w/w). Wartości te są bliskie wydłużeniu przy zerwaniu czystego HDPE (930%), a znacznie przekraczały wartości tego odkształcenia w przypadku czystego iPP (odpowiednio, 290%). Co więcej, zaobserwowano wzmocnienie kompatybilizowanych mieszanin w wyniku deformacji (zwiększenie naprężenia przy zerwaniu z 23 do 32 MPa). Na podstawie badań reologicznych wykazano ponadto, że dodanie PPDL powoduje obniżenie energii międzyfazowej pomiędzy składowymi poliolefinami.

Podsumowując, wyniki badań zawarte w czterech częściach cyklu publikacji tworzących rozprawę doktorską są spójne i wnoszą znaczący element nowości w obszarze chemii i technologii poliolefin, w tym ich zastosowania jako klejów termotopliwych oraz funkcjonalnych środków kompatybilizujących. Nie mam zastrzeżeń odnośnie wyboru tematyki ani zaproponowanych rozwiązań, tym bardziej że interpretacja danych eksperymentalnych uzyskanych w toku prac badawczych została już poddana rygorystycznemu procesowi recenzji w czasie ich publikacji. Mam jednak kilka uwag, które nasunęły mi się po lekturze rozprawy:

1. Przyjęta konstrukcja części badań własnych pracy jest w moim odczuciu mało przejrzysta i utrudnia nieco czytanie dysertacji. Bardziej właściwe byłoby przeniesienie wprowadzeń z rozdziałów II i III do części zawierającej główne wprowadzenie, jako podrozdziałów. Taki sposób prezentacji pozwoliłby również na zamieszczenie wspólnego spisu odnośników

literaturowych. Zamieszczenie danych eksperymentalnych w postaci kopii opublikowanych prac poprzedzonych zwięzłym komentarzem Autora rozprawy, byłoby bardziej przyjazne dla czytelnika. Pragnę jednak podkreślić, że wymienione wyżej zastrzeżenia nie mają zasadniczego wpływu na całościową pozytywną ocenę dysertacji oraz też przedstawionych przez pana mgr inż. Jakuba Kruszyńskiego. Rozprawa zawiera wyniki interesujące nie tylko pod względem naukowym, ale również posiadające potencjał aplikacyjny. Pomimo nieco dyskusyjnej konstrukcji, została przygotowana z dużą starannością.

2. Zaobserwowano, że przyczepność kopolimerów polipropylenu z podstawnikami trimetylosiloksyłowymi, do aluminium i stali była lepsza niż oczekiwana. Wstępnie postulowane wyjaśnienie, sugerujące wytworzeniem wiązań kowalencyjnych z powierzchnią, wymagałoby odejścia hydrofobowej grupy trimetylosililowej o dosyć dużej zawadzie przestrzennej. Należy zauważyć, że jest ona często stosowana w celu ochrony alkoholi, których desililowanie najczęściej dokonywane jest poprzez traktowanie jonami fluorkowymi, może jednak przebiegać efektywnie zarówno w warunkach kwasowych jak i zasadowych. Jaki mógłby być mechanizm tego procesu w filmie poliolefinowym? Proszę o wyjaśnienie jak oszacowano przereagowanie grup hydroksylowych w kierunku uzyskania grup trimetylosiloksyłowych. Czy sposób oczyszczania 4Si po syntezie nie powodował częściowego odtworzenia grup hydroksylowych? W tabeli 1 (str. 46) stwierdzono, że próbka 4Si zawiera taką samą ilość OH jak próbka 4D (prawdopodobnie błąd edycyjny). Ponadto, całkowite sfunkcjonalizowanie poliolefin za pomocą grup  $\text{SiMe}_3$  powinno spowodować bardziej wyraźne obniżenie temperatury zeszklenia. Czy dokonano modelowania dyfuzji grup siloksyłowych i oddziaływań z podłożem w warstwie znajdującej się przy powierzchni aluminium?
3. Dodatek PPDŁ do mieszaniny iPP/HDPE powodował polepszenie właściwości mechanicznych na skutek częściowej mieszalności faz amorficznych PPDŁ i iPP oraz epitaksji PPDŁ na HDPE. Czy jest możliwe określenie względnej ilości PPDŁ w fazie amorficznej oraz skryształizowanego epitaksjalnie? Jakie rezultaty można byłoby osiągnąć, dobierając warunki przetwarzania w sposób zmieniający te proporcje?
4. Czy właściwości mechaniczne próbek formowanych wtryskowo i próbek wytłaczanych można powiązać z różną zawartością PPDŁ w fazie amorficznej iPP? Jaki był mechanizm ich odkształcenia (np. próbek przedstawionych na rysunku S19E, str. 226)?

### ***Ocena dorobku naukowego***

Łączny dorobek naukowy pana mgr inż. Jakuba Kruszyńskiego (wg. Bazy Scopus, w dniu 25.11.2025) obejmuje 4 artykuły naukowe, opublikowane w latach 2021-2025 w bardzo prestiżowych czasopiśmie o tematyce polimerowej i materiałowej. W życiorysie naukowym Doktoranta zamieszczonym na końcu rozprawy nie zawarto informacji o jego udziale w konferencjach międzynarodowych i krajowych. Brak również opisu udziału w projektach naukowych finansowanych przez krajowe agencje wspierające badania podstawowe. Można to wyjaśnić zaangażowaniem pana

mgr inż. Jakuba Kruszyńskiego w prace prowadzone w ramach międzynarodowej grupy badawczej kierowanej przez pana Profesora Duchateau oraz panią Profesor Jasińską-Walc. W związku z tym, w 2016 r. Doktorant rozpoczął 9-miesięczny staż w SABIC Technology & Innovation Center w Holandii, którego rezultatem było zebranie wyników prac eksperymentalnych do pracy magisterskiej obronionej w 2018 r. na Politechnice Gdańskiej. Następnie Autor rozprawy rozpoczął pracę zawodową w Centrum R&D firmy Synthos (Oświęcim), aby po krótkim czasie powrócić do badań naukowych nad poliolefinami, których wyniki zamieszczono w recenzowanej pracy doktorskiej. Połowę czasu z czterech lat poświęconych na te badania, pan Jakub Kruszyński spędził w SABIC Technology & Innovation Center w Holandii.

\*\*\*

W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska pana mgr inż. Jakuba Kruszyńskiego zawiera oryginalne i spójne wyniki naukowe uzyskane w ramach dobrze przemyślanego projektu badawczego. Prace przeprowadzone przez Autora rozprawy miały charakter poznawczy i stanowią cenny wkład w rozwój tematyki dotyczącej funkcjonalnych poliolefin, w tym sposobów ich wytwarzania i zastosowań oraz aspektów recyklingu i upcyklingu. Zaproponowane rozwiązania i uzyskane przez Doktoranta wyniki badań wnoszą znaczący element nowości w tym obszarze, wskazując na potencjał poliolefin o różnej morfologii jako klejów termotopliwych oraz środków kompatybilizujących. Bardzo ciekawym aspektem pracy było także zastosowanie polipentadekalaktonu do kompatybilizacji niemieszalnych odpadów HDPE i IPP, dzięki czemu powstały materiały polimerowe o ulepszonych właściwościach.

Oceniając jednoznacznie pozytywnie rozprawę doktorską pana mgr Jakuba Kruszyńskiego, zatytułowaną „*Struktura chemiczna i właściwości funkcjonalnych poliolefin*” (*Chemical structure and properties of functional polyolefins*) stwierdzam, że spełnia ona wszystkie wymogi i warunki określone w art. 187 ust. 1-2 Ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r. (tekst jedn. Dz.U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) stawiane pracom składanym przez osoby ubiegające się o stopień naukowy doktora i wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie pana mgr Jakuba Kruszyńskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ponadto, ze względu na fakt opracowania nowych rozwiązań dotyczących materiałów i procesów, znacząco lepszych od dotychczasowych, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy przedstawionej przez pana mgr Jakuba Kruszyńskiego. Należy podkreślić, że zaproponowane metody mają duży potencjał wdrożeniowy, co zostało wykazane zarówno w przypadku sfunkcjonalizowanych elastomerów poliolefinowych do zastosowań jako kleje HMAs, jak również nowych sposobów kompatybilizacji odrębnych faz polimerowych w odpadach poliolefinowych, prowadzących do ich upcyklingu.

Z poważaniem,