



Prof. dr hab. inż. Dorota Czarnecka-Komorowska
Politechnika Poznańska
Instytut Technologii Materiałów
Zakład Tworzyw Sztucznych
Wydział Inżynierii Mechanicznej
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

Poznań, 12.02.2026r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Wieczorka

pod tytułem **„Gospodarka w obiegu zamkniętym termoplastycznych wyprasek wielowarstwowych wytwarzanych metodą współwtryskiwania”**

przygotowanej w Wydziale Inżynierii Mechanicznej Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy, wykonanej pod kierunkiem promotora dra hab. inż. Dariusza Sykutery, prof. PBŚ oraz promotora pomocniczego dra inż. Piotra Czyżewskiego. Praca powstała w ramach Doktoratu wdrożeniowego przy wsparciu finansowym Ministerstwa Edukacji i Nauki (nr umowy DWD/5/0265/2021).

PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA RECENZJI

Podstawą przygotowania recenzji było pismo numer 1/NB.520.9.2025 z dnia 25.11.2025r. skierowane do mnie przez Pana dr hab. inż. Łukasza Muślewskiego, prof. PBŚ, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria mechaniczna w Politechnice Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy. Podstawę prawną wykonania niniejszej recenzji stanowi ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024, poz. 1571 z późn. zm.).

Ocenę pracy oparto na przekazanej do mnie w wersji drukowanej rozprawie doktorskiej.

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Podstawowym osiągnięciem naukowym jest napisana w języku polskim rozprawa doktorska, składająca się z 7 merytorycznych rozdziałów, streszczenia pracy w języku polskim i angielskim, oraz spisu literatury. Recenzowana praca składa się z 203 stron, i jednego załącznika (zał. 1), będącego potwierdzeniem przeprowadzenia badań pilotażowych w firmie MoldMasters. W skład pracy wchodzi wykaz oznaczeń i skrótów, 191 pozycji literatury, 85 rysunków i 49 tabel. Dysertacja składa się części teoretycznej i zasadniczej eksperymentalnej, zbudowanej z czterech rozdziałów 3-6 z opisem badań technologicznych. Przyjęcie takiego podziału sprawia, że praca przyjmuje dość nietypowy dla prac doktorskich układ: badania wstępne (rozdz. 3), etap I badań głównych (rozdz. 4), etap II badań głównych (rozdz. 5) i etap III badań głównych (rozdz. 6).

W rozdziale **pierwszym** Doktorant przedstawił analizę literatury w tematyce opakowań barierowych do żywności, analizę rynku, wymagań dotyczących funkcjonalności opakowań we współczesnym systemie dystrybucji żywności z punktu widzenia producentów, konsumentów, jak i ustawodawców. Szeroko scharakteryzował polimerowe materiały opakowaniowe, w aspekcie ich właściwości fizyko-chemicznych, tj. barierowość, podatność na recykling, czyli cechami, którymi należy kierować się przy doborze materiałów stosowanych w produkcji opakowań do żywności. Doktorant opisał technologie wytwarzania wielowarstwowych opakowań barierowych, tj. współwytłaczanie, współwtryskiwanie, laminowane oraz powlekanie

i metalizacja. Ważnym elementem tego rozdziału jest również charakterystyka recyklingu tworzyw sztucznych, w tym opis poszczególnych etapów przygotowania opakowań do wtórnego przetwarzania, od separacji, rozdrabniania, mycia po proces regranulacji. Nie zapomniał również o podrozdziale dotyczącym problemów materiałowych, systemowych oraz technologicznych-trudnych w recyklingu opakowań wielowarstwowych. Rozdział pierwszy kończy się podsumowaniem, w którym Doktorant, stwierdza, że większość publikacji prezentujących wyniki badań podatności na recykling mechaniczny wytworów wielowarstwowych ogranicza się do folii barierowych, co jednoznacznie wskazuje na brak artykułów naukowych poświęconych cienkościennym, wielowarstwowym opakowaniom wytwarzanym metodą współwtryskiwania, oraz opracowań naukowych dotyczących procesów cięcia i rozdrabniania cienkościennych wyrobów trójwarstwowych, w szczególności zawierających warstwę rdzeniową wykonaną z regranulatów, z uwzględnieniem energochłonności tych procesów, oraz gospodarki obiegu zamkniętego.

W rozdziale **drugim** Doktorant sformułował hipotezę badawczą, która zakłada, że *„Istnieje możliwość ponownego zastosowania materiału uzyskanego w procesach recyklingu mechanicznego trójwarstwowych wyprasek opakowaniowych, wytworzonych w technologii współwtryskiwania, jako warstwy rdzeniowej w nowych tego typu wytworach, a także kształtowania ich właściwości użytkowych poprzez odpowiedni dobór parametrów procesu wytwarzania”*. W rozdziale tym, Doktorant określił cztery cele naukowe, oraz wskazał zakres badań. Część badawczą czyli rozdziały (3-6), podzielił na badania wstępne i badania główne pracy. Całość czytelnie zilustrował graficznie w formie schematów blokowych (Rys. 19a i 19b).

Zakres pracy jest bardzo rozbudowany: badania wstępne (3), i trzy etapy badań głównych: etap I badań głównych (4), etap II badań głównych (5), etap III badań głównych (6). W każdym z tych etapów Doktorant stawia nowe cele, opisuje metodykę, wyniki badań i dokonuje podsumowania badań. Dokonuje wnioskowania statystycznego z zastosowaniem oprogramowania Statistica 14, opierając się na testach t-Studenta.

W rozdziale **trzecim** rozprawy, stanowiącym część eksperymentalną (badania wstępne) Doktorant opisał badania cienkościennych wyprasek trójwarstwowych PP/EVOH/PP, ze szczególnym uwzględnieniem ich podatności na procesy cięcia i rozdrabniania, opisał proces wytworzenia regranulatu R(PP/EVOH/PP) z 10% zawartością EVOH na właściwości przetwórcze, tj. MFR, lepkość pozorną oraz na właściwości mechaniczne, tj. statyczne rozciąganie i zginanie, uderzenie, twardość wyrobów wtórnych, które wytworzono w klasycznym procesie wtryskiwania. Wykonał analizę przenikalności tlenu przez ścianki trójwarstwowych wyprasek oryginalnych PP/EVOH/PP, wytworzonych w technologii współwtryskiwania.

W rozdziale **czwartym** Autor przedstawił opis technologii wytwarzania i badania cienkościennych trójwarstwowych opakowań z PP/EVOH/PP, ze zmienną zawartością (8, 10, 12% obj.) EVOH, stanowiącą warstwę rdzenia opakowania. Opakowania wytworzono technologią współwtryskiwania w laboratorium Mold-Masters Limited w Kanadzie. W rozdziale tym, opisano strukturę opakowania i oceniono wpływ prędkości obrotowej wirnika młynka nożowego i kąta ostrza ruchomych noży tnących na efektywność procesu cięcia i rozdrabniania cienkościennych wyprasek trójwarstwowych PP/EVOH/PP, ponadto oceniono podatności na rozwarstwianie ścianek wyprasek PP/EVOH/PP, po procesach cięcia i rozdrabniania.

W rozdziale **czwartym** Autor opisał podatność opakowań typu kapsułki kawowe na proces rozdrabniania przy zmiennej prędkości obrotowej wirnika młynka nożowego w aspekcie właściwości recyklatu R1(PP+EVOH). Opisał proces wytłaczania regranulatu R1(PP+EVOH) z 5% zawartością EVOH. W technologii współwtryskiwania wytworzył trójwarstwowe opakowania

PP/R1(PP+EVOH)/PP o grubości 1 mm, ze zmiennym udziałem (10/30/40/50% obj.) regranulatu R1(PP+EVOH) w warstwie rdzeniowej. Opisał wpływ nastaw procesowych, tj. droga przemieszczania się ślimaka w fazie wtrysku, czas opóźnienia rozpoczęcia fazy wtrysku, oraz prędkość wtrysku na rozkład i rozrzut grubości warstw w przekroju ścianki wypraski PP/R1(PP+EVOH)/PP, zbadał właściwości mechaniczne wyprasek trójwarstwowych PP/R1(PP+EVOH)/PP ze zmienną zawartością R1(PP+EVOH) w ścianie opakowania, oraz ocenił przenikalność tlenu przez ściankę wypraski PP/R1(PP+EVOH)/PP oraz przeprowadził badania migracji związków z opakowań do żywności.

Rozdział **szósty** „Etap III badań głównych” przedstawia opis wpływu zawartości regranulatu 10/30/40/50% obj. w cylindrycznej wyprasce R1(PP+EVOH) na wydajność rozdrabniania i energochłonność procesu cięcia i rozdrabniania wyprasek PP/R1(PP+EVOH)/PP oraz opis cech reologicznych (lepkość pozorna) i mechanicznych uniwersalnych kształtek badawczych z regranulatów R1(PP+EVOH) i R2(PP+EVOH) poddanych dwukrotnemu recyklingowi mechanicznemu.

Rozprawę doktorską kończy rozdział **siódmy**, w którym Doktorant zawarł podsumowanie, oryginalne osiągnięcia naukowe rozprawy doktorskiej, jej wdrożeniowy charakter oraz kierunki dalszych badań. W podrozdziale sformułował bardzo liczne wnioski, odnosząc się szczegółowo do poszczególnych etapów badań, co sprawia ich mnogość. W mojej opinii na ich podstawie można byłoby zbudować syntetyczne wnioski naukowe (zwięzłe podsumowanie) najważniejszych aspektów rozprawy, skupionych na istocie celów o charakterze poznawczym i aplikacyjnym, stanowiącym aktualne wytyczne dla przetwórców opakowań.

Praca zawiera obszerny materiał badawczy, zwłaszcza technologiczny, co świadczy o dużym potencjale aplikacyjnym tej rozprawy. Wybór metod opracowania programu badań został poprawnie uzasadniony z punktu widzenia przyjętych do realizacji celów badań.

W ostatnim podrozdziale Autor zawarł bogatą analizę bibliograficzną dotyczącą tematyki pracy, z których większość to wartościowe publikacje i prace naukowe. Zacytowane przez Doktoranta pozycje literatury zostały dobrane we właściwy sposób, zarazem w analizie literatury w części teoretycznej, jak i analizie wyników.

W mojej opinii struktura rozprawy doktorskiej jest prawidłowa, jej poszczególne części ułożono logicznie, lecz w części eksperymentalnej można było zmodyfikować układ, dzięki temu możliwy byłby prostszy odbiór przedstawionych treści, co wyeliminowało by niekiedy powtarzalność treści w zakresie głównie metod badawczych.

2. SZCZEGÓŁOWA OCENA MERYTORYCZNA

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi spójną całość, w której Doktorant realizuje zadania prowadzące do rozwiązania zdefiniowanych problemów badawczych, tj.:

- a) Określenie podatności cienkościennych wyprasek trójwarstwowych PP/EVOH/PP wytworzonych w technologii współwtryskiwania na procesy składowe recyklingu mechanicznego.
- b) Ocena wpływu zawartości kopolimeru etylenu i alkoholu winylowego (EVOH) na właściwości przetwórcze mieszaniny PP+EVOH po pierwszym i drugim cyklu recyklingu mechanicznego.
- c) Określenie odpowiednich warunków cięcia i rozdrabniania cienkościennych, trójwarstwowych opakowań PP/EVOH/PP oraz PP/R(PP+EVOH)/PP, w kierunku podwyższenia efektywności procesowej.

- d) Ocena wpływu parametrów procesu współwtryskiwania na wybrane właściwości trójwarstwowych opakowań PP/EVOH/PP i PP/R(PP+EVOH)/PP oraz na relacje geometryczne pomiędzy warstwami w ściance wypraski PP/R(PP+EVOH)/PP (pierwszy cykl recyklingu mechanicznego w obiegu zamkniętym),
- e) Określenie własności mechanicznych wyprasek z regranulatu R(PP+EVOH), uzyskanego podczas rozdrabniania wytworów PP/R(PP+EVOH)/PP (drugi cykl recyklingu w obiegu zamkniętym).

Doktorant w celu zrealizowania celów pracy rozprawy przyjął i wykonał bardzo obszerny zakres prac technologicznych i badawczych. W efekcie tych działań Doktorant stwierdza, że: a/odpowiedni dobór parametrów procesu współwtryskiwania pozwolił na wprowadzenie do warstwy rdzeniowej wypraski, regranulatu R1(PP+EVOH) na poziomie ponad 50% obj., b/potwierdzono możliwość kształtowania cech geometrycznych poszczególnych warstw w przekroju ścianki wypraski PP/R1(PP+EVOH)/PP, poprzez odpowiedni dobór zbioru parametrów procesu współwtryskiwania tj. objętość, prędkość i czas opóźnienia wtrysku, c/zastosowanie wysokich wartości prędkości wtrysku regranulatu R1(PP+EVOH) zaburza laminarny przepływ trójwarstwy podczas fazy wypełnienia gniazda, co skutkuje powstaniem nieregularnej struktury wielowarstwowej, d/w przypadku realizacji procesu współwtryskiwania z dużym udziałem regranulatu w warstwie rdzeniowej, korzystnymi nastawami czasu opóźnienia wtrysku jest przedział wartości od 0,4 do 0,5 sek. Zakres ten pozwala na uzyskanie ciągłości trójwarstwy, symetrii między warstwami oraz niewielkiego rozrzutu grubości elementów struktury ścianki wypraski, e/wzrost objętości wtrysku regranulatu R1(PP+EVOH) pozytywnie wpływa na symetrię rozkładu otaczających rdzeń warstw polipropylenu; oraz f/oczekiwaną efektywność procesów cięcia i rozdrabniania, uzyskano przy zastosowaniu noży ruchomych o kącie ostrza $\beta_r = 60^\circ$ i prędkości wirnika 500 obr./min. Dzięki skośnemu ustawieniu krawędzi noży tnących $2\lambda = 6^\circ$ oraz minimalnej szczeliny międzynożowej 0,1 mm, skuteczny podział cienkościennych, trójwarstwowych wyprasek A/B/A odbywał się przez ścinanie, g/zawartość kopolimeru EVOH w wypraskach trójwarstwowych PP/EVOV/PP oraz PP/R1(PP+EVOH)/PP istotnie wpływa na wydajność i energochłonność procesów cięcia i rozdrabniania, h) odpowiedni dobór warunków realizacji etapów składowych recyklingu mechanicznego umożliwił otrzymanie regranulatów o powtarzalnych właściwościach przetwórczych i mechanicznych. Nie stwierdzono degradacji mechanotermicznej uzyskanych materiałów wtórnych, i/przenikalność tlenu przez ściankę wyprasek PP/R1(PP+EVOH)/PP ogranicza rozproszony w osnowie polipropylenowej EVOH. Najlepsze efekty uzyskano dla wyprasek zawierających 50% obj. regranulatu R1. W stosunku do oryginalnych, barierowych wyprasek PP/EVOH/PP, przenikalność tlenu w wypraskach PP/R1(PP+EVOH)/PP była jedynie trzykrotnie wyższa i wielokrotnie niższa w stosunku do opakowań polipropylenowych do żywności, j/opakowania wytworzone w technologii współwtryskiwania, zawierające w rdzeniu ścianki regranulat R1(PP+EVOH), spełnia normy dotyczące migracji substancji niebezpiecznych do żywności. Oznacza to, że stosowanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w wytwarzaniu nowych opakowań z udziałem regranulatu jest w pełni uzasadnione.

Tym samym, w mojej ocenie na podstawie przeprowadzonych badań i sformułowanych wniosków Doktorant potwierdził założoną hipotezę badawczą i zrealizował wszystkie cele pracy.

Istotnym osiągnięciem Doktoranta jest możliwość bezpośredniego przełożenia wyników badań eksperymentalnych na warunki w skali półprzemysłowej i przemysłowej, zwłaszcza w obszarze procesów cięcia i rozdrabniania tj. specjalne, oryginalne stanowisko, wytłaczania regranulującego (linia do wytłaczania dwuślimakowego) oraz wtryskiwania i współwtryskiwania.

Ważnym osiągnięciem Doktoranta jest również perspektywa wprowadzenia nowych rozwiązań w technologii recyklingu mechanicznego cienkościennych polimerowych wyrobów wielowarstwowych, które doskonale wpisują się aktualne trendy gospodarki obiegu zamkniętego opakowań.

Ponadto, przedstawione przez Doktoranta rozwiązania wielu problemów naukowych w obszarze technologii przetwarzania materiałów polimerowych i inżynierii materiałowej skłoniły Doktoranta do wyznaczenia kolejnych wyzwań w kierunku: a) określenia granicznej liczby cykli recyklingu mechanicznego trójwarstwowych opakowań PP/EVOH/PP ze względu na właściwości reologiczne i mechaniczne regranulatu R(PP+EVOH), a także na możliwość użycia materiału wtórnego w procesie współwtryskiwania, b/zbadania możliwości zastosowania regranulatu R(PP+EVOH), pochodzącego z recyklingu trójwarstwowych opakowań barierowych, jako osnowy w nowych wypraskach typu opakowanie, c/doboru parametrów konstrukcyjno-technologicznych procesu rozdrabniania opakowań trójwarstwowych PP/EVOH/PP, w celu poprawy delaminacji warstw PP i EVOH w recyklu, d/ zastosowania kompatybilizatorów do poprawy mieszalności PP i EVOH, w celu ograniczenia przenikalności tlenu w nowych opakowaniach z udziałem regranulatów, otrzymanych w recyklingu mechanicznym wyprasek PP/EVOH/PP, e/opracowania nowej metody oznaczania przenikalności tlenu przez ściankę opakowania, wytworzonego w technologii współwtryskiwania, bez konieczności wycinania próbek z jego powierzchni, f/przeprowadzenie oceny cyklu życia LCA wyprasek trójwarstwowych z uwzględnieniem możliwości wtórnego zastosowania regranulatów R(PP+EVOH) w trójwarstwowych opakowaniach, g/zbadania możliwości technicznych w zakresie wprowadzenia dodatkowej, czwartej warstwy w wyprascie współwtryskiwanej, zapewniającej odseparowanie warstwy rdzeniowej z regranulatu od warstwy wewnętrznej do żywności, tworząc strukturę typu A/B/C/A.

Oryginalność rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa stanowi oryginalny przyczynek do opracowania założeń technologicznych dotyczących linii do recyklingu mechanicznego poużytkowych opakowań trójwarstwowych PP/EVOH/PP, z rozszerzeniem na inne wielowarstwowe, cienkościenne wyroby o specjalnych funkcjach użytkowych, tj. folie barierowe, oraz opracowania wytycznych do modyfikacji technologicznej procesu współwtryskiwania, zapewniających możliwość wytwarzania cienkościennych opakowań trójwarstwowych PP/R(PP+EVOH)/PP z przeważającym lub znaczącym udziałem regranulatu w ściance wypraski, co stanowi ciekawą ofertę dla przemysłu w zakresie ponownego stosowania materiałów pochodzących z recyklingu pokonsumenckich opakowań polimerowych do żywności.

Wartości poznawcze rozprawy doktorskiej

Recenzowana praca ma niewątpliwie charakter poznawczy, wynikający z aktualności poruszanych zagadnień dotyczących procesów cięcia i rozdrabniania opakowań, regranulacji, oraz współwtryskiwania wielowarstwowych opakowań do kontaktu z żywnością w aspekcie gospodarki obiegu zamkniętego, o zdefiniowanym przez Doktoranta składzie kompozycji, cechach fizyko-chemicznych i użytkowych nowych materiałów opakowaniowych.

3. UWAGI KRYTYCZNE ROZPRAWY

Pod względem edytorskim praca została opracowana przez Autora bardzo starannie. W pracy występują drobne błędne interpunkcyjne i stylistyczne, niemające treściowego wpływu na końcową ocenę, niektóre z nich przywołuję według kolejności występowania w pracy:

Na str. 69. Doktorant w jednym celów napisał, że zamierza prowadzić badania w celu .. „W kierunku podwyższania efektywności „procesowej”. Proszę o zdefiniowanie tego pojęcia.

Podobnie na tej samej stronie napisał o wpływie parametrów procesu na „relacje” geometryczne” pomiędzy warstwami. Raczej powinno się stosować określenie zależności.

Często Autor w pracy używa błędnie określenia „własności” (str. 60) w odniesieniu do cech, właściwości materiałów.

Często popełnia błędy w szyku zdań, np. str. 85. „Udarowe rozciąganie” -zamiast rozciąganie udarowe.

Często stosuje określenie „bardzo mała lub bardzo duża” w odniesieniu do wartości liczbowych, poprawnie powinno stosować się określenie jako niska lub i wysoka wartość. Przykładowo. „*stwierdzono, że średnia przenikalność tlenu przez wypraski trójwarstwowe PP/EVOH/PP na poziomie 0,000745 cm³ na dobę jest wartością bardzo małą*”

Str. 88. „bardzo dobra barierowość”, w tym kontekście lepiej brzmi wysoka barierowość.

Str. 87. Tabela 15 str. 87. Doktorant odwołuje się do wartości referencyjnych wartości przenikalności tlenu dla popularnych folii opakowaniowych z PET, EVOH, LDPE, a nie podaje wartości dla PP, który jest obiektem badań Doktoranta.

Doktorant często stosuje stopień najwyższy przymiotników, np. „najistotniejszy” – str. 76, lub „najbardziej efektywny” str. 71. Efektywność definiowana jest jako osiąganie najlepszych wyników, sprawność oraz wysoka wydajność. Może korzystniej byłoby stosować określenia - bardziej skuteczne, najlepsze możliwe rezultaty.

W pracy występują niezgodności, np. w oznaczeniu próbek... r2 lub R2 oraz brak konsekwencji w stosowaniu określeń, np. recyklat-regranulat.

„Obiektami badań były wypraski trójwarstwowe ze zmienną zawartością regranulatu R₁(PP+EVOH) w warstwie rdzeniowej oraz standardowe wypraski wytworzone w procesie wtryskiwania z regranulatów R₁(PP+EVOH) i R₂(PP+EVOH)”. Zatem czym różnią się zapisy próbek_ R1(PP+EVOH), r2(PP+EVOH).

Doktorant w każdym z etapów stosuje inne obiekty badań różniące się zawartością EVOH: w I etapie (8, 10, 12% obj.), w drugim 5% obj., a w III etapie 2,5%. Zatem uważam, że na etapie badań wstępnych powinien być zoptymalizowany skład składników kompozycji, poprzez przeprowadzanie modyfikacji EVOH na poziomie 2,5% i 5% obj.

W metodyce badań wstępnych zabrakło charakterystyki materiałowej (data sheet) zarówno polipropylenu (PP), jak i alkoholu etylowinylnowego (EVOH). Doktorant ograniczył się tylko do podania nazw handlowych matrycy i modyfikatora, co utrudnia czytelnikowi weryfikację cech.

Przykładowo Doktorant prowadził przetwarzanie polipropylenu w temp. około 180°C (tabela 12), a w charakterystyce zaleca się temperaturę 240°C, w tej samej temperaturze topi się EVOH -240°. W przypadku mieszaniny PP/EVOH stosowanie temp. przetwórstwa w zakresie od 170-180°C powoduje problemy z mieszalnością. Podobnie w tabeli 13 dotyczącej wtryskiwania znormalizowanych próbek-zastosowano zakres temp. 170-180°C i temperaturę dyszy 200°C. Proszę o wyjaśnienie tej różnicy w temperaturach przetwórstwa. Autor w dalszej części pracy badań wstępnych już przeprowadził pomiary MFI w temp. 240°C, zatem dlaczego wcześniej stosuje inny zakres temperaturowy.

W metodyce badań zabrakło opisu techniki badania przenikalności tlenu i migracji związków, biorąc pod uwagę fakt, że Doktorant wcześniej opisał pozostałe cechy mechaniczne.

W wytrzymałości na rozciąganie udarowe stosuje się próbki o innej geometrii niż w przypadku Charpy i Izoda. Proszę podać wymiary próbek. Dlaczego Doktorant stosuje w pracy 3 metody badania udarności, których wynikiem jest ta sama cecha -udarowość.

Podobnie w przypadku twardości, Doktorant stosuje dwie metody pomiaru z powodu różnicy grubości próbek, zatem może należało zastosować taką metodę, która jest właściwa do badanego obiektu czyli metodę Shore'a.

Doktorant stwierdził, że „Na podstawie wyników można stwierdzić, że lepkość pozorna regranulatu R(PP+EVOH) była istotnie niższa od lepkości oryginalnego PP dla trzech z czterech analizowanych wartości prędkości wtrysku...” Jaka była zatem lepkość pozorna EVOH i regranulatu PP? W tabeli 16 podano tylko lepkość dla mieszaniny regranulatu z 10 % zaw. EVOH?

Proszę o zdefiniowanie pojęcia udarności. O czym świadczy wysoka udarność regranulatu? W pracy zanotowano „spadek wartości udarności Izoda o 16%”, zatem czy jest to korzystna zmiana w przypadku regranulatu polimerowego/opakowania trójwarstwowego.

Str. 8.9 „Nie zaobserwowano również istotnego wpływu procesów składowych recyklingu mechanicznego na właściwości mechaniczne”. Jakie procesy składowe doktorant miał na myśli.

W przypadku wyników badań statycznego rozciągania szkoda, że Doktorant, nie zamieścił w pracy charakterystycznych krzywych odkształcenie-wydłużenie dla polipropylenu i jego regranulatów modyfikowanych 10% zaw. EVOH, co na pewno dałoby więcej informacji dotyczących charakteru pękania regranulatów PP/EVOH.

Str. 91. W podsumowaniu badań wstępnych Doktorant napisał, że „Uzyskane wyniki potwierdzają dobrą podatność cienkościennych opakowań trójwarstwowych PP/EVOH/PP na recykling mechaniczny. Raczej powinno być regranulatów, z których to w kolejnym etapie dopiero wytwarzano opakowania trójwarstwowe.

W pracy często Doktorant stosuje dużą swobodę definiowania obiektów badań: wypraski, kształtki, wytwory, cienkościennie opakowania, wypraski typu „kapsułki do kawy”, kubki, cylindryczne wypraski, co zaburza odbiór zawartych w pracy treści. Wymagałoby to usystematyzowania.

Str. 92. Doktorant analizował procesu współwtryskiwania wyprasek PP/EVOH/PP o zmiennym udziale objętościowym warstwy rdzeniowej EVOH, w zakresie od 8, do 12% obj. Stwierdził, że zakres przyjął na podstawie analizy literatury, wskazującej, że barierowość uzyskuje się w wypraskach trójwarstwowych przy zawartości poniżej 8% obj. EVOH. Zatem dlaczego na tym etapie Doktorant nie wytworzył mieszanin z udziałem 5 % EVOH, co jest zasadne z punktu widzenia dalszych badań.

Str. 95. Metodą FTIR (spektrofotometria w podczerwieni z transformatą Fouriera) zbadano skład chemiczny warstwy zewnętrznej i rdzenia opakowania trójwarstwowego. „Celem analizy było sprawdzenie, czy podczas wytwarzania wyprasek nie doszło do przerwania ciągłości warstw”. Na jakiej podstawie można ocenić tę cechę stosując techniką FTIR?

Str. 96. Jakie były warunki temperaturowe pomiaru próbek pobranych w punkcie 1 z trójwarstwowego opakowania metodą DSC? Dlaczego wybrano środek opakowania? Szkoda, że w celach porównawczych nie przeprowadzono badań DSC dla polipropylenu i EVOH, co zapewniłoby możliwość kompleksowej interpretacji wyników badań. Z przedstawieniowych termogramów DSC ewidentnie wynika, że mamy do czynienia z układem termodynamicznie niemieszalnym, na co wskazują dwie temperatury topnienia, pochodzące od poszczególnych składników mieszaniny.

Str. 116. Doktorant w metodyce badań -etap II dla nowego obiektu badań „kapsułki do kawy” zastosował homopolimer polipropylenu o temperaturze topnienia 140-170°C, PP – „DuPure TU78V” (MFI=48 g/10 min) i EVOH Soarnol DC 32128 (MFI=12 g/10 min, $T_m=183^\circ\text{C}$), inny niż w badaniach wstępnych i do modyfikacji polipropylenu zastosował 5% obj. EVOH. Zabrakło zatem charakterystyki materiałowej tych surowców stosownych do współwtryskiwania kapsulek. Doktorant chyba błędnie podał oznaczenie polipropylenu - powinno być TU 76V,

ponieważ w ofercie handlowej firmy Ducor Petrochemicals nie znaleziono polipropylen TU 78V; podobny błąd dotyczy EVOH, gdzie powinno być oznaczenie 3212B.

Na uwagę zasługuje mnogość wykonanych przez Doktoranta prób technologicznych, zarówno w obszarze cięcia i rozdrabniania wyrobów, oraz jaki procesu współwtryskiwania cylindrycznych wyprasek trójwarstwowych z regranulatem, podczas którego Doktorant optymalizował parametry procesu, uwzględniając wpływ drogi przemieszczania się ślimaka w fazie wytrysku, prędkość wtrysku i czas opóźnienia rozpoczęcia fazy wtrysku rdzenia z regranulatu na rozkład i grubość poszczególnych warstw.

Str. 125. Wycięto próbki do statycznego rozciągania o wym. 50 x 10 x 1 mm, zatem jaka była wartość odcinka pomiarowego, dla którego analizowano naprężenie i odkształcenie.

Str. 145. Doktorant analizując wpływ parametrów wtrysku na grubość warstw w przekroju ścianki wypraski PP/R1 (PP/EVOH)/PP, wnioskuje, że „w efekcie zaobserwowano 45 warstw i obszary z zaburzonym laminarnym ułożeniem warstw obu polimerów...” po czym Doktorant stwierdza, że zaobserwowane obrazy mogą wskazywać na występowanie „efektu fontannowego na froncie płynięcia”. Proszę o wyjaśnienie tego zjawiska, które w pracy nie zostało wcześniej opisane i zdefiniowane.

Str. 164. „pobieżna analiza” – zatem warto byłoby uszczegółowić badania, aby w rozprawie doktorskiej ustrzec się takich określeń, tym bardziej w stosunku do analizowanych wyników badań.

Rys. 77. Doktorant przedstawiał na wykresie zmiany wydłużenia dla próbek w funkcji zawartości recyklatu w rdzeniu, podając bardzo duże wartości odchylenia standardowego, niekiedy większe niż wartość mierzonej cechy. Na podstawie takich niepewnych wyników, można jedynie mówić o szacowaniu wyników badań. Z czego zatem, wynikają tak olbrzymie błędy? Jak była liczebność próby?

Str. 176. „Cyrkulowanie tworzyw termoplastycznych”- szyk zadania przestawny – powinno być: Tworzywa sztuczne są wielokrotnie przetwarzane, lub poddawane recykulacji.

Doktorant na podstawie pomiaru lepkości często wnioskuje o procesach degradacji termomechanicznej jako głównej przyczyny rozpadu/lub i pęknięcia łańcucha makrocząsteczek (w tab. 48), po I i II cyklu recyklingu, lecz zmiany te statystycznie są nieistotne. W mojej opinii na tym etapie zabrakło oceny badań stopnia krystaliczności metodą DSC. Badania DSC, w tym temperatura krystalizacji były również w pomocne w ocenie zdolności polimeru do krystalizacji, zachodzącej w formie wtryskowej podczas procesu współwtryskiwania trójwarstwowych opakowań z polipropylenu nukleowanego (o przyspieszonej krystalizacji), stosowanego do produkcji cienkościennych opakowań i homopolimeru polipropylenu w obu przypadkach z rdzeniem z regranulatu modyfikowanym EVOH, w zmiennych warunkach procesu, zwłaszcza prędkości wtryskiwania i szybkości chłodzenia. W przyszłości warto byłoby zastanowić się nad pełnym wyjaśnieniem zależności między parametrami/właściwościami, a strukturą krystaliczną modyfikowanych tworzyw termoplastycznych.

W pracy pojawiają się błędy w numeracji tabel, np. w opisie przenikalności gazów Doktorant przywołuje wyniki z tabeli 41, a w rzeczywistości dotyczą one innej cechy -zawartej w tabeli 48.

Str. 177. Tabela 48 -Doktorant odnosi się do tabeli 50, a poprawnie powinna być tabela 49.

W opisie tabeli 48 Doktorant informuje, że zawiera ona wyniki dla dwóch regranulatów R1 i R2, a w rzeczywistości w tabeli są wyniki tylko dla jednego z tych materiałów.

Str. 200. Streszczenie. Doktorant używa pojęcia „przydatność” do recyklingu polimerów, w mojej opinii powinien używać określenia podatność na recykling. Proszę podać różnicę pomiędzy przydatnością, a podatnością opakowań wielowarstwowych do recyklingu. Czy istnieją metody oceny tych dwóch cech?

Wymieniony zbiór uwag i komentarzy ma charakter dyskusyjny, co nie zmienia faktu, że rozprawa w pełni spełnia oczekiwania, co do potencjalnych efektów i rezultatów badań.

Pytania dotyczące rozprawy doktorskiej skierowane do Doktoranta:

1. Które z uzyskanych przez Pana wyników badań uważa Pan za najważniejsze z punktu widzenia naukowego i aplikacyjnego?
2. W jaki sposób widzi Pan możliwość ciągłej kontroli jakości wyrobów w wytwarzanych przez Pana opakowaniach wielowarstwowych z rdzeniem na bazie regranulatów modyfikowanych EVOH w technologii współwtryskiwania?

4. WNIOSKI KOŃCOWE

W oparciu o przeprowadzoną ocenę rozprawy doktorskiej, uwzględniając dużą wartość aplikacyjną pracy, oraz oryginalne podejście do rozwiązania problemu naukowego w zakresie przeprowadzonych prac technologiczno-materiałowych, oraz wykazanie się przez Doktoranta dużą wiedzą praktyczną i umiejętnością prowadzenia samodzielnej pracy naukowej w zakresie realizowanej tematyki stwierdzam, że rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Piotra Wieczorka zatytułowana **„Gospodarka w obiegu zamkniętym termoplastycznych wyprasek wielowarstwowych wytwarzanych metodą współwtryskiwania”** spełnia wymagania ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 24 października 2024r. (Dz. U. 2024, poz. 1571 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony. Zakres rozważań rozprawy doktorskiej kwalifikuje ją do dziedziny Nauk inżyniersko-technicznych i dyscypliny **Inżynieria mechaniczna** według klasyfikacji dziedzin nauki i dyscyplin naukowych i artystycznych określonej w rozporządzeniu z dnia 20 września 2018r. (Dz.U. 2018, poz. 1818, z późn. zm. - obecnie jednolite w Dz.U. 2025 poz. 211).

Prof. dr hab. inż. Dorota Czarnecka-Komorowska



PODPIS ZAUFANY

DOROTA
CZARNECKA-KOMOROWSKA

13.02.2026 13:57:04 GMT+1

Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym