

Bydgoszcz, 14.08.2018

dr hab. inż. Marek Macko prof. nadzw. UKW
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Wydział Matematyki, Fizyki i Techniki
85-064 Bydgoszcz
ul. Chodkiewicza 30
tel. 52 3419144

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Królikowskiego pt.:

„Separacja mieszanin tworzyw polimerowych na podstawie różnicy dwóch twardości”

wykonana na zlecenie Prof. dr hab. inż. Janusza Semprucha, Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej,
Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, zgodnie z umową z dnia 18 czerwca 2018 r.

1. Uwagi ogólne

Zagadnienia dotyczące operacji wstępnego przetwarzania i sortowania odpadów z tworzyw polimerowych należą do aktualnych, a ich lepsze poznanie pozwala na wycofanie zasobu tych tworzyw ze składowisk oraz ich przygotowanie do dalszych etapów recyklingu i odzysku energii zgodnie z zapotrzebowaniem rynku. Celem tych działań jest ich rozdział na jednorodne frakcje o określonym składzie. Wysoki poziom czystości powstających w wyniku tego procesu materiałów polimerowych jest głównym założeniem recyklingu materiałowego przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej efektywności ekonomicznej. Obecnie do wstępnej obróbki i sortowania odpadów wykorzystywana jest szeroka gama technologii, od ręcznej rozbiórki (demontażu) i wybierania odpadów po zautomatyzowane procesy obejmujące rozdrabnianie, przesiewanie, rozdzielanie grawitacyjne z wykorzystaniem cieczy lub powietrza, separacja magnetyczna i wysoce zaawansowane technologie sortowania spektrofotometrycznego z wykorzystaniem promieniowania elektromagnetycznego w zakresie ultrafioletu, światła widzialnego, bliskiej podczerwieni oraz lasera.

Tworzywa polimerowe przeznaczone do różnorodnych zastosowań wykazują znaczne różnice w budowie chemicznej oraz właściwościach przetwórczych i użytkowych. Dlatego od efektywności rozdziału zależy ilość tworzyw nadających się do ponownego wykorzystania lub przeznaczonych do utylizacji. Warunkiem użyteczności technologii jest prosta i niedroga technika badania, duża szybkość identyfikacji oraz wysoka niezawodność. W ciągu ostatnich kilku lat daje się zaobserwować rozwój metod rozdziału materiałów odpadowych. Odpowiedni dobór techniki separacji jest niezbędnym etapem do otrzymania surowców wtórnych o pożądanym stopniu czystości. Wybór skutecznej techniki zależy od różnicy w zakresie właściwości fizycznych pomiędzy poszczególnymi składnikami.

Zatem temat pracy, oparty o oryginalną, autorską metodę separacji, podjęty przez Pana mgr inż. Krzysztofa Królikowskiego **„Separacja mieszanin tworzyw polimerowych na podstawie różnicy dwóch twardości”** należy uznać za bardzo aktualny z realną perspektywą na jego implementacje praktyczne.

Praca została zrealizowana na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy we współpracy z przedsiębiorstwem P.P.H.U. „Węglózłom” Adam Królikowski – w zakresie wykonania urządzenia prototypowego.

2. Struktura pracy, cele i treść pracy

Praca składa się z 8 rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, bibliografii oraz załączników ze spisem ważniejszych oznaczeń i akronimów. Zawiera 170 stron, 45 rysunków, 31 tabel w części zasadniczej pracy oraz 57 tabel w załączniku. Autor wykorzystał w pracy 96 źródeł literaturowych oraz internetowych, zgodnych z tematyką opracowania, spośród których zdecydowana większość powstała po 2000r.

W pracy zaprezentowano nową metodę separacji mieszanin tworzyw polimerowych na podstawie różnicy w twardości. Metoda ta, której współautorem jest Pan mgr inż. Krzysztof Królikowski, została zgłoszona i zastrzeżona w Urzędzie Patentowym RP (nr P 405364). Autor zdefiniował cele poznawcze rozprawy, do których należy szczegółowa analiza stanu wiedzy z zakresu poznanych metod separacji, realizacja badań eksperymentalnych, opracowanie modeli matematycznych oraz weryfikacja osiągnięcia założonego celu poprzez sprawdzenie spełnienia kryterium skuteczności. Cele użytkowe obejmowały budowę

prototypowego stanowiska badawczego – separatora igłowego oraz sprawdzenie poprawności jego działania, a także określenie warunków prowadzenia separacji.

W **rozdziale pierwszym** Autor przybliżył aktualny stan wiedzy z zakresu metod separacji tworzyw polimerowych. W sposób wyczerpujący zaprezentował obecne metody, wśród których zamieścił sortowanie ręczne, sortowanie automatyczne, sortowanie na podstawie różnicy gęstości, metodę „pływa-tonie”, metody z wykorzystaniem hydrocyklonów, wirówki sortowania przez flotację, sortowania elektrostatycznego, metodę selektywnej rozpuszczalności, metodę stołu powietrznego oraz metodę separacji na podstawie temperatury topnienia. Zamieścił również przegląd patentów dotyczących wybranych metod separacji. Wskazał na pojęcie twardości tworzyw polimerowych i na potencjalne możliwości wykorzystania tej cechy do skutecznej separacji. **Rozdział drugi** zawiera opis nowej, autorskiej metody separacji tworzyw, zgłoszonej i zastrzeżonej w Urzędzie Patentowym RP jako separator igłowy. Zaprezentowano szczegółowy opis, zasadę działania oraz budowę prototypowego separatora. W **rozdziale trzecim** Doktorant sformułował hipotezę, cele i zakres pracy, zwracając szczególną uwagę na fakt, że różnicę twardości materiałów można skutecznie wykorzystać do rozdziału zmieszanych tworzyw polimerowych, a skuteczność rozdziału zależy od siły nacisku igieł, prędkości obrotowej układu rozdziałającego oraz temperatury mieszaniny rozdzielanej. **Rozdział czwarty** zawiera ocenę poprawności działania prototypu separatora igłowego na podstawie badań rozpoznawczych procesu separacji, zbadanie wpływu zmiennych procesowych (siła nacisku igieł, prędkość obrotowa pary walców, warunki termiczne, udział masowy mieszaniny na efekty separacji). W **rozdziale piątym** Autor przedstawił główne dokonania dotyczące modernizacji stanowiska badawczego, m.in. zagwarantowanie trafienia igieł na elementy mieszaniny, umieszczenie igieł na pasie separującym oraz równomierne ogrzewanie rozdzielanej mieszaniny poprzez budowę tunelowego systemu grzewczego. **Rozdział szósty** zawiera szczegółowy opis badań zasadniczych, w tym planowanie eksperymentu, charakterystyka obiektu badań, przegląd planów doświadczeń, wybór planu doświadczeń oraz zakresy wartości zmiennych wejściowych. W **rozdziale siódmym** zaprezentowano wyniki badań zasadniczych oraz ich omówienie, natomiast w **rozdziale ósmym** zamieszczono podsumowanie i wnioski końcowe.

3. Ocena merytoryczna pracy

Przedstawiona do oceny praca dotyczy całokształtu zagadnień z zakresu separacji mieszanin tworzyw polimerowych w obszarze recyklingu materiałowego. Obiektem badań jest separator igłowy, który charakteryzuje się wysokim poziomem dokładności i efektywności separacji. Spośród zaproponowanych przez Autora zmiennych procesowych wymieniona została siła nacisku igieł, której zakres określono od 10 N/mm^2 do 225 N/mm^2 (s. 39, w-g 3, s. 44, w-g 5). W tabeli 5.1, kolumna I (s. 56) zaprezentowano zakres wartości siły nacisku igieł, który wykracza poza zakres zaproponowany wcześniej. W sposób nieczytelny i niejednoznaczny przedstawiono wybór jednostek siły nacisku. W pracy występują one jako: siła nacisku igieł, oraz siła nacisku urządzenia. Należałoby ujednolicić jednostki, bowiem siła nacisku igieł występuje w N/mm^2 (np. s. 39, w-g 3, s. 44, w-g 5, s. 45: Rys. 4.1, Rys. 4.2 i później), ale również w N (s. 57, Rys. 5.7, s. 63, w-g 19). Wprawdzie Autor poinformował o zmianie jednostek (s. 56, w-d 10), ale dla przejrzystości całej pracy ujednolicenie jednostek byłoby zasadne.

Zdefiniowano kryteria oceny procesu separacji: dokładność oraz efektywność, opisane równaniami 3.1 oraz 3.2. W moim przekonaniu brakuje bardziej szczegółowego opisu tych parametrów w odniesieniu do ich praktycznego wykorzystania. Na podstawie wykresów na rys. 4.1 i 4.2 można wnioskować, że wysoka dokładność separacji konkretnej mieszaniny nie idzie w parze z wysoką efektywnością.

Na s.57 niepoprawnie przytoczono legendę przy wykresie na rys. 5.7, która brzmi: „ Siła nacisku igieł” a powinna „Wpływ prędkości obrotowej...”.

Na uwagę zasługuje ogromny nakład pracy, jaką Autor poświęcił na przeprowadzenie badań eksperymentalnych oraz analizę tych wyników. Określił trzypoziomową skalę skuteczności procesu separacji oraz dokonał oceny podatności danej mieszaniny na separację, w postaci rankingu punktowego, co niewątpliwie może ułatwić dobór warunków separacji w praktycznych zastosowaniach. Sformułował w sposób wyczerpujący wnioski o charakterze poznawczym oraz utylitarnym.

Niepodważalnym osiągnięciem Autora jest zaprojektowanie oraz wykonanie stanowiska badawczego pozwalającego na przeprowadzenie badań separacji na podstawie różnicy w twardości rozdzielanych tworzyw. Stanowisko to umożliwia realizację dalszych badań w zakresie wpływu cech geometrycznych rozdzielanych elementów mieszanin.

Autor deklaruje realizację dalszych prac rozwojowych w kierunku doskonalenia konstrukcji urządzenia do zastosowań przemysłowych.

Autor dokonał pozytywnej weryfikacji hipotezy badawczej oraz w pełni osiągnął, poprzez realizację zadań badawczych, cele pracy.

4. Ocena strony edytorskiej pracy

Uwagi do strony edytorskiej:

- s. 12, w-d 11 brak separatora między pozycjami literatury,
- s. 22, w-g 10 jest „... zależy o rodzaju ...”, powinno być „... zależy od rodzaju ...”,
- s. 31, w-g 2 jest „... tworzywa o największych właściwościach hydrobowych...”, może lepiej „... tworzywa o najlepszych właściwościach hydrobowych...”,
- s. 34, w-d 6 jest „... rozróżnia się skalę a do tworzyw miękkich ...”, powinno być „... rozróżnia się skalę A do tworzyw miękkich ...”,
- s. 42, Rys. 3.1, kol. III, w - g jest „Basania zasadnicze”, powinno być „Badania zasadnicze”,
- s. 44, opis przy wzorze 3.1 wymaga ujednoczenia i wyrównania opisów.

W recenzji wskazałem wybrane nieściśności edytorskie, inne drobne literówki i błędy w stosowaniu znaków interpunkcyjnych naniosłem bezpośrednio w przekazanym mi egzemplarzu pracy.

5. Konkluzja

Wymienione powyżej korekty, sugestie i wcześniejsze uwagi w niczym nie umniejszają wartości merytorycznej pracy, którą uważam za bardzo ciekawą z punktu widzenia poznawczego i przydatną do celów praktycznych, co niewątpliwie jest istotne w obszarze recyklingu materiałowego. Autor w sposób przejrzysty wskazał dokonania własne w trakcie przeprowadzonych badań, potrafił wyciągnąć z nich logiczne wnioski oparte na odpowiedniej podbudowie teoretycznej.

Biorąc zatem pod uwagę dotychczasowy dorobek publikacyjny Pana mgr inż. Krzysztofa Królikowskiego oraz przedstawioną do recenzji pracę doktorską pt.: „**Separacja mieszanin tworzyw polimerowych na podstawie różnicy dwóch twardości**”, uważam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom promocyjnym na stopień doktora nauk technicznych w obowiązującej Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki i wnioskuję do Rady Wydziału Inżynierii Mechanicznej o dopuszczenie Pana mgr inż. Krzysztofa Królikowskiego do jej publicznej obrony.

Marek Maciej