

Streszczenie

Rosnąca ilość odpadów polimerowych i kompozytowych pochodzących z łopat turbin wiatrowych (WTB), środków ochrony osobistej (PPE) stosowanych w sektorze medycznym, wyeksploatowanych paneli fotowoltaicznych (PV) oraz odpadów komunalnych (MSW) wymaga opracowania efektywnych technologii recyklingu, wspierających zasady gospodarki o obiegu zamkniętym. Tradycyjne metody, takie jak recykling mechaniczny, spalanie czy piroliza, napotykają ograniczenia, w tym wysokie zużycie energii, degradację jakości materiału, emisję zanieczyszczeń oraz nieoptymalny odzysk surowców. Niniejsza praca doktorska proponuje proces oksydacyjnego upłynniania polimerów jako metodę selektywnej degradacji odpadów polimerowych, umożliwiającą uzyskiwanie ciekłych związków chemicznych oraz cennych materiałów wtórnych.

Dla każdego typu odpadów opracowano macierz eksperymentalną z wykorzystaniem zaawansowanych metod planowania eksperymentu, aby ocenić wpływ parametrów procesowych, takich jak temperatura, ciśnienie, czas reakcji, stężenie utleniacza oraz stosunek odpadów do cieczy reakcyjnej, na degradację frakcji organicznej. Dokonano pomiarów temperatury wewnątrz komory reaktora, a analizy odwrotne przeprowadzono w celu identyfikacji etapów reakcji prowadzących do głównej degradacji odpadów oraz określenia charakteru reakcji. Po procesie oksydacyjnego upłynniania obliczano całkowitą redukcję masy stałej (TSR) lub całkowitą degradację polimerów (TPD), a produkty ciekłe poddano analizie chromatografii gazowej z detekcją płomieniowo-jonizacyjną (GC-FID), aby zidentyfikować poszczególne frakcje chemiczne oraz określić ogólny uzysk związków zawierających tlen (OCC). Zastosowano modelowanie statystyczne wyników oraz metodykę powierzchni odpowiedzi (RSM), by ocenić wpływ każdego parametru reakcji na efektywność procesu i wyznaczyć optymalne warunki prowadzenia reakcji, maksymalizujące odzysk surowców przy minimalnym zużyciu energii.

Badania rozpoczęto od szczegółowej charakterystyki surowych próbek odpadów z wykorzystaniem szeregu technik analitycznych, w tym analiz technicznej i elementarnej, spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR), skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) oraz analizy termogravimetrycznej (TGA). Analizy wykazały istotne różnice w składzie materiałowym: PPE charakteryzuje się wysoką zawartością polimerów, MSW i WTB są materiałami wysoce heterogenicznymi, natomiast panele PV zawierają znaczący udział składników nieorganicznych. Wyniki TGA potwierdziły jednofazową degradację PPE, wskazując na jednorodny charakter materiału, podczas gdy pozostałe rodzaje odpadów wykazywały wieloetapowy przebieg dekompozycji.

Oprócz uzyskiwania związków tlenowych (OCC) wykazano skuteczny odzysk włókien szklanych z WTB, co podkreśla potencjał oksydacyjnego upłynniania jako praktycznej metody odzysku materiałów — zarówno włókien, jak i wypełniaczy — szczególnie w przypadku kompozytów wzmacnianych włóknem. Wyniki badań wskazują, że analizowana metoda stanowi skalowalne i efektywne podejście do gospodarowania odpadami, będące alternatywą dla tradycyjnych metod utylizacji i wspierające zasady gospodarki o obiegu zamkniętym. Niemniej konieczne są dalsze prace nad poprawą efektywności procesu, udoskonaleniem konstrukcji reaktorów oraz oceną możliwości katalitycznych usprawnień w zastosowaniach przemysłowych. Celem niniejszej pracy jest rozwój zrównoważonych technologii przetwarzania odpadów w wartościowe surowce, co przyczynia się do rozwiązywania istotnych problemów środowiskowych i wspiera transformację w kierunku bardziej odpornej i efektywnej gospodarki zasobami.