

Streszczenie

Praca przedstawia koncepcję ekokatalizy łączącą fitogospodarowanie metali z efektywną i „zieloną” syntezą związków fosforoorganicznych. Jako źródło metali wykorzystano biomasę hiperakumulatora, Rzeżusznika Hallera (*Arabidopsis halleri*). Po prostej kalcynacji biomasy uzyskano polimetaliczny, heterogeniczny katalizator Eco-MgZnOx, w którym sąsiadują zasadowe centra MgO i kwasowe centra Lewisa ZnO . Ta dwufunkcyjność daje efekt synergii: jednoczesną aktywację nukleofila ($P-H$ lub CH -kwasu) i elektrofilu ($C=O$, $C=C$), co ułatwia zajście reakcji i zwiększa ich selektywność.

Skuteczność materiału zweryfikowano w trzech klasach reakcji: hydrofosfonylacji aldehydów (reakcja Pudovika), addycji fosfa-Michaela do aktywowanych alkenów, oraz w kaskadzie Knoevenagel-fosfa-Michael prowadzonej jedno- lub dwustopniowo. We wszystkich przypadkach uzyskano bardzo wysokie konwersje, często sięgające 95-100%, i czyste profile produktów w łagodnych warunkach (50-70 °C, bez rozpuszczalnika, z katalizatorem w ilości około 5 mol% względem Zn). Wykazano szeroką tolerancję substratową (związki aromatyczne, heteroaromatyczne, alifatyczne, różne H-fosfoniany), wielokrotny odzysk katalizatora z minimalnym spadkiem aktywności oraz skalowanie do skali gramowej bez utraty wydajności. Obliczenia DFT i analizy strukturalne potwierdziły istnienie fazy $Mg(Zn)O$ odpowiedzialnej za obserwowaną synergię.

Opisane w ramach rozprawy rozwiązanie odpowiada na problemy opisane we wstępie: malejącą dostępność i rosnące koszty metali oraz wysoki ślad środowiskowy ich wydobycia. Fitoekstrakcja stanowi zielone źródło metali, a produkt - trwały katalizator - zamyka obieg wartości, łącząc remediację z użyteczną syntezą. Ograniczeniem metody jest potrzeba silnie aktywowanych alkenów i umiarkowana wrażliwość na zawadę steryczną, jednak stosowalność pozostaje szeroka. Łącznie wyniki dowodzą, że ekokatalizatory z biomasy *A. halleri* stanowią praktyczną, skalowalną i zgodną z zasadami zielonej chemii platformę do tworzenia wiązań $C-P$ i $C-C$.