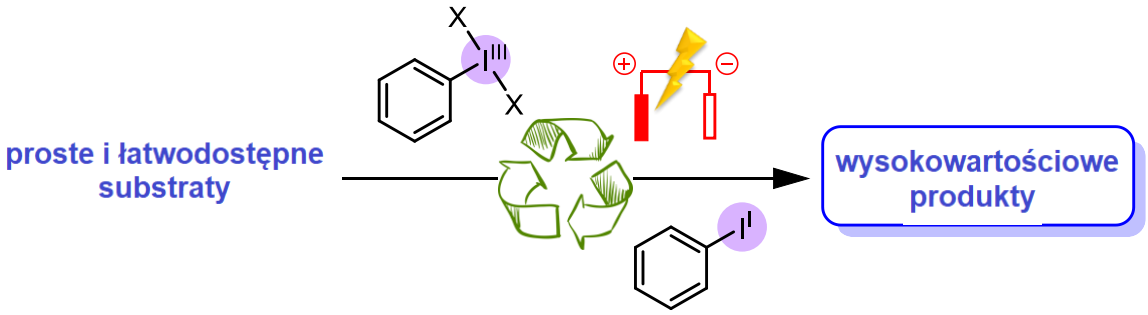
Reakcje utleniania elektrochemicznego z wykorzystaniem katalizy redoks za pomocą związków jodu hiperwalencyjnego

Synteza chemiczna jest kluczową gałęzią przemysłu, dostarczającą wielu niezbędnych produktów, od prostych, takich jak nawozy, barwniki, czy paliwa, po najbardziej wyrafinowane - zaawansowane materiały i farmaceutyki. Jednakże w XXI wieku synteza chemiczna stoi przed poważnymi wyzwaniami związanymi z jej wpływem na środowisko, w szczególności pod względem emisji gazów cieplarnianych, efektywności energetycznej i wytwarzania toksycznych odpadów. Dlatego modernizacja syntezy z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju jest obecnie jednym z głównych celów badań z zakresu chemii, tak aby synteza mogła być przeprowadzana w sposób możliwie wydajny i przyjazny dla środowiska.

Reakcje chemiczne, będące przemianami materii, zawsze wiążą się z równoczesnym przepływem energii. Niektóre z nich, takie jak spalanie, uwalniają energię zawartą w substratach, przekształcając je w substancje o niższej energii. Inne natomiast wymagają dostarczenia energii do napędzania ich przebiegu. Na ogół reakcje, które zwiększają złożoność, na przykład tworzą większą i bardziej skomplikowaną cząsteczkę z kilku prostszych, wymagają dostarczenia energii. Większość reakcji syntetycznych należy do tej drugiej kategorii. Tradycyjne tego typu reakcje przeprowadza się poprzez sprzężenie ich z przemianami chemicznymi zachodzącymi z wydzieleniem energii. Innymi słowy, ogólny schemat wielu reakcji syntetycznych jest następujący: substraty + związek wysokoenergetyczny → produkt + związek niskoenergetyczny. Jest to sytuacja daleka od optymalnej, ponieważ po pierwsze trzeba wytworzyć „związek wysokoenergetyczny", co wiąże się z wykorzystaniem energii i zasobów, a po drugie „związek niskoenergetyczny" stanowi niepożądany produkt uboczny, często toksyczny odpad, który wymaga utylizacji.

Niniejszy projekt badawczy jako główny cel stawia dostosowanie syntezy chemicznej do zasad zrównoważonego rozwoju poprzez wykorzystanie energii elektrycznej do napędzania reakcji chemicznych wymagających dostarczenia energii. Pozwoli to wyeliminować zarówno potrzebę użycia wysokoenergetycznych reagentów wspomagających, jak i towarzyszącego temu generowania strumienia odpadów. Ponadto występuje wysoka synergia pomiędzy rozwojem elektrosyntezy i obecną intensywną ekspansją odnawialnych źródeł energii elektrycznej.

Elektryczność od dawna była wykorzystywana do stymulowania prostych procesów chemicznych, jak na przykład rozszczepianie wody na wodór i tlen. Jednak jej zastosowanie w bardziej złożonych reakcjach, zwłaszcza dotyczących związków organicznych, było problematyczne z uwagi na niską szybkość przenoszenia elektronów z elektrod do cząsteczek organicznych oraz potrzebę pogodzenia przepływu pojedynczych elektronów, typowego dla elektrochemii, z procesami dwu-elektronowymi charakterystycznymi dla zrywania i tworzenia wiązań w większości reakcji organicznych. Skutecznym środkiem zaradczym na powyższe problemy jest zastosowanie tzw. elektrokatalizy, zdobywającej coraz większą popularność w ostatnich latach. Opiera się ona na zastosowaniu specjalnych substancji, elektrokatalizatorów, które dodane w niewielkich ilościach przenoszą potencjał z elektrod do medium reakcyjnego pośrednicząc w transferze energii. W projekcie przewiduje się wykorzystanie tak zwanych związków hiperwalencyjnego jodu w roli elektrokatalizatorów. Substancje te są stosowane w wielu cennych reakcjach syntetycznych, jednak do tej pory wymagały one użycia co najmniej jednego ekwiwalentu utleniacza (tj. "związku wysokoenergetycznego"). Ze względu na związane z tym negatywne aspekty środowiskowe, zastosowanie tych wartościowych reakcji jest mocno ograniczone, zwłaszcza w większej skali. Użycie stymulacji elektrochemicznej do aktywacji związków hiperwalencyjnego jodu radykalnie, lecz elegancko, rozwiązuje powyższe problemy, usuwając obciążenia związane np. z przeniesieniem tej chemii na grunt zastosowań przemysłowych i półprzemysłowych. Co ważne, związki jodu planowane do użycia są nietoksyczne i obojętne dla środowiska, co stanowi ogromną zaletę, szczególnie w kontekście syntezy np. środków farmaceutycznych.