

Chemia zajmuje się badaniem właściwości substancji oraz przemian jednych substancji w inne, czyli reakcjami chemicznymi. Jednym z głównych zadań badań chemicznych jest opracowywanie sposobów przekształcania substancji zawartych w łatwo dostępnych surowcach, takich jak ropa naftowa, minerały i biomasa, w użyteczne związki, charakteryzujące się pożądanymi właściwościami. Zwykle takiej przemiany nie da się osiągnąć w trakcie pojedynczej reakcji chemicznej, przeprowadza się wówczas szereg reakcji, stopniowo zmieniających surowiec w substancję docelową, w procesie zwanym syntezą chemiczną. Zakres produktów syntezy rozciąga się od relatywnie prostych wyrobów – nawozów, barwników, paliw, do najbardziej wyrafinowanych – zaawansowanych materiałów i nowych leków. Zadaniem chemików jest udoskonalanie istniejących i opracowanie nowych metod przeprowadzania syntezy w możliwie wydajny i przyjazny dla środowiska sposób. Ta ostatnia kwestia ma szczególne znaczenie, ponieważ obecne procesy chemiczne są dalekie od zasad zrównoważonego rozwoju. Ważnym środkiem poprawy sytuacji na tym polu jest opracowanie nowych reakcji, które prowadzą do dużego wzrostu złożoności molekularnej, dzięki czemu sekwencje syntetyczne mogą być krótsze, a zatem bardziej wydajne.

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 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 wydzielaniem 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 związek chemiczny, z którym coś trzeba zrobić.

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 reagentów wspomagających, jak i towarzyszącego temu generowania strumienia odpadów. 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 przenoszenia pojedynczych elektronów, typowego dla elektrochemii, ze zdarzeniami wieloelektronowymi 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 związków chemicznych, elektrokatalizatorów, które dodane w niewielkich ilościach przenoszą potencjał z elektrod do medium reakcyjnego pośrednicząc w transferze energii.

W projekcie przewiduje się wykorzystanie elektrokatalizy do przeprowadzenia bardzo efektywnych reakcji syntetycznych, to znaczy takich, które powodują duży wzrost złożoności molekularnej. W szczególności planuje się zastosowanie klasy związków zwanych jodoarenami jako elektrokatalizatorów. Substancje te są wykorzystywane w wielu cennych reakcjach syntetycznych, jednak wymagają one zastosowania stechiometrycznego utleniacza (tj. „związku wysokoenergetycznego”) do wytworzenia aktywnej postaci katalizatora jodoarenowego. 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 jodoarenów radykalnie, lecz elegancko, rozwiązuje powyższe problemy, usuwając obciążenia związane np. z przeniesieniem tej chemii na grunt zastosowań przemysłowych i półprzemysłowych. Co ważne, jodoareny są nietoksyczne i obojętne dla środowiska, co stanowi ogromną zaletę, szczególnie w kontekście syntezy np. środków farmaceutycznych.

Nowatorskim i oryginalnym aspektem projektu jest planowane zastosowanie chiralnych jodoarenów do promowania reakcji asymetrycznych w warunkach elektrochemicznych, co nigdy wcześniej nie zostało osiągnięte. Cząsteczki praktycznie wszystkich złożonych związków organicznych mogą występować w postaci nieidentycznych odbić lustrzanych, tzw. enancjomerów. Ponieważ podstawowe składniki budulcowe organizmów żywych: białka, kwasy nukleinowe i węglowodany, również posiadają tę własność, przeciwne enancjomery np. leku często wykazują bardzo odmienne właściwości i działanie. Stąd rozwój skutecznych metod syntezy pozwalających selektywnie otrzymywać produkty enancjomerycznie czyste ma pierwszorzędne znaczenie. Dzięki zastosowaniu chiralnych elektrokatalizatorów jodoarenowych opracowane reakcje pozwolą nie tylko na syntezę złożonych cząsteczek w zrównoważony sposób, ale będą również generować tylko jeden z dwóch enancjomerów produktu.