

Narastająca obecność szkodliwych substancji w środowisku, przemyśle oraz życiu codziennym, a także rosnące zapotrzebowanie na efektywne rozdzielanie i odzyskiwanie cennych związków chiralnych, stwarzają konieczność opracowania nowych materiałów do ich detekcji i separacji, przewyższających parametrami dotychczas stosowane sensory i filtry. Proponowany projekt ma na celu stworzenie cholesterycznych polimerowych sensorów i absorberów (ChPS&A) – unikalnej klasy inteligentnych materiałów polimerowych, które jednocześnie będą służyć do selektywnej detekcji, immobilizacji oraz odzyskiwania substancji chemicznych (Rys. 1).

Podstawą ich funkcjonowania jako czujników będzie helikalna struktura obecna w polimerze. Kiedy określone substancje chemiczne zostaną zaabsorbowane, nastąpi wyraźna zmiana w długości helisy polimeru, co przełoży się bezpośrednio na zauważalną zmianę jego barwy. Taki „optyczny odcisk palca” dostarczy natychmiastowego i łatwego do odczytania sygnału detekcyjnego widocznego gołym okiem, bez potrzeby stosowania dodatkowych urządzeń, baterii czy skomplikowanej elektroniki. Tego typu bezpośrednia, niewymagająca zasilania detekcja optyczna będzie nie tylko szybka i niezawodna, lecz także umożliwi stosowanie w warunkach terenowych, w zdecentralizowanych punktach monitoringu czy w elementach odzieży ochronnej, gdzie kluczowe są prostota w użyciu i mobilność.

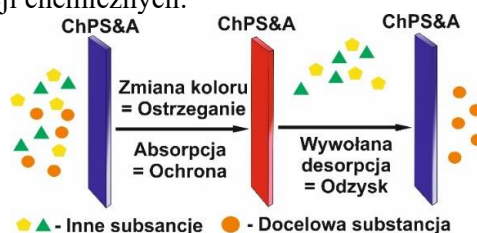
Poza funkcją detekcji, ChPS&A będą aktywnie wychwytywać i unieruchamiać szkodliwe bądź cenne substancje chemiczne. Starannie zaprojektowane receptory molekularne i funkcjonalne łączniki wbudowane w sieć polimerową stworzą selektywne miejsca wiązania z docelową substancją, gwarantując wysoką skuteczność wychwytu nawet w złożonych mieszaninach. Dzięki temu ChPS&A będą nie tylko wskazywać obecność szkodliwych związków, ale także skutecznie je zatrzymywać. Co istotne, po kontrolowanym procesie desorpcji (np. wywołanym działaniem odpowiedniego rozpuszczalnika) docelowa substancja będzie mogła zostać uwolniona, co umożliwi odzysk cennych związków lub bezpieczne usunięcie i zneutralizowanie toksycznych substancji. Jednocześnie polimer odzyska swoje pierwotne właściwości i będzie mógł być ponownie wykorzystany. Ta wyjątkowa zdolność regeneracji nadaje rozwiązaniu charakter zrównoważony, obniża koszty i znacząco wydłuża okres eksploatacji.

Z naukowego punktu widzenia projekt będzie mieścił się w obszarze badań podstawowych, odpowiadając na fundamentalne pytania dotyczące zależności pomiędzy architekturą molekularną, oddziaływaniami supramolekularnymi a makroskopową odpowiedzią materiału. Badania pozwolą zrozumieć, jak konkretne elementy strukturalne – takie jak rodzaj monomeru, struktura chiralnych łączników czy rozmieszczenie grup funkcyjnych – wpływają na długość skoku helisy, stabilność sieci polimerowej oraz skuteczność detekcji i wychwytu docelowych substancji chemicznych. Łącząc teoretyczne projektowanie, syntezę organiczną oraz zaawansowaną charakterystykę optyczną i fizykochemiczną, projekt dostarczy nowej wiedzy o samoorganizacji, rozpoznawaniu molekularnym i miękkiej materii responsywnej. Wiedza ta będzie miała wysoką wartość naukową, a jednocześnie stworzy fundamenty dla praktycznych zastosowań.

Zaletami planowanych ChPS&A będą: (i) wysoka czułość, dzięki barwnej odpowiedzi widocznej gołym okiem; (ii) silna selektywność, wynikająca z zaprojektowanych grup receptorowych; (iii) wielofunkcyjność, ponieważ łączą w sobie funkcję sensora i absorbera; (iv) możliwość ponownego użycia, zapewnione dzięki kontrolowanej desorpcji i regeneracji materiału; oraz (v) praktyczna użyteczność, ponieważ będą działać bez zasilania, kosztownej i dużej aparatury czy specjalistycznego przeszkolenia. Te zalety uczynią je szczególnie przydatnymi w sytuacjach, gdzie potrzebne jest szybkie, tanie i wiarygodne monitorowanie środowiska.

Potencjalne zastosowania obejmują zarówno sektor cywilny, jak i obronny. W ochronie środowiska ChPS&A będą mogły służyć do monitorowania jakości wody i gleby oraz do wychwytywania szkodliwych substancji, takich jak kationy metali ciężkich (np. As^{3+} , Hg^{2+}). W farmacji znajdą zastosowanie w procesach rozdzielania cennych związków chiralnych. Z kolei w obronności integracja materiałów z odzieżą ochronną czy maskami gazowymi żołnierzy umożliwi bieżące ostrzeżenie oraz częściową ochronę przed toksycznymi związkami, takimi jak bojowe środki trujące (np. Sarin czy Soman), łącząc bezpieczeństwo z praktycznością w użyciu.

Projekt ten, odpowiadając zarówno na wyzwania naukowe, jak i na pilne potrzeby społeczne, stanowi przykład, w jaki sposób badania podstawowe o wysokiej wartości poznawczej mogą prowadzić do rozwiązań o dużym potencjale aplikacyjnym. Efektem będzie nie tylko pogłębienie wiedzy na temat funkcjonalnych polimerów, lecz także stworzenie podstaw dla skalowalnych, praktycznych technologii służących detekcji, ochronie i odzyskiwaniu substancji chemicznych.



Rysunek 1. Ogólna koncepcja ChPS&A umożliwiających detekcję, unieruchamianie, oczyszczanie oraz, po wywołanej desorpcji, odzyskiwanie różnych substancji chemicznych.