

Współczesny rozwój technologii addytywnych wykracza poza konwencjonalny druk 3D, prowadząc do powstania druku 4D, w którym wytwarzane obiekty wyposażone są w zdolność kontrolowanej, czasowo zależnej zmiany właściwości fizykochemicznych pod wpływem określonych bodźców środowiskowych. W druku 4D materiał nie stanowi jedynie pasywnego elementu konstrukcyjnego, lecz pełni funkcję inteligentnego układu reagującego np. na zmiany pH, temperatury, naprężeń mechanicznych czy obecności wybranych jonów. Kluczowym ograniczeniem tej technologii pozostaje brak fotoutwardzalnych systemów polimerowych, które łączyłyby wysoką precyzję druku, niską cytotoksyczność i stabilność mechaniczną z możliwością monitorowania zmian zachodzących w środowisku biologicznym poprzez sygnały optyczne, np. zmiany barwy, bądź zmiany intensywności fluorescencji materiału. Wypełnienie tej luki stanowi główne założenie proponowanego projektu.

Projekt dotyczy opracowania innowacyjnych, fluorescencyjnych inteligentnych żywic fotoutwardzalnych do druku 3D/4D, łączących funkcję materiału konstrukcyjnego z możliwością detekcji patologicznych zmian w warunkach klinicznych, tj. w rzeczywistym środowisku jamy ustnej oraz podczas użytkowania implantów, czy protez. Integracja zaawansowanych fluoroforów reagujących na bodźce chemiczne (wahania pH, zmiany stężenia jonów wapnia i fosforanowych) oraz mechaniczne (mikropęknięcia, lokalne naprężenia) z hybrydowymi systemami polimeryzacji rodnikowo-kationowej umożliwi otrzymanie materiałów zdolnych do generowania sygnału fluorescencyjnego w odpowiedzi na wczesne procesy demineralizacji, rozwój biofilmu czy inicjację uszkodzeń strukturalnych. Dzięki temu w druku 4D materiały te będą funkcjonować jak inteligentny czujnik, reagując na bieżąco na zmiany w swojej strukturze i w otoczeniu.

Kluczowym problemem badawczym jest brak wiedzy dotyczącej wpływu fluoroforów na właściwości reologiczne, kinetykę polimeryzacji, skurcz oraz proces fotoutwardzania zwłaszcza w układach wykorzystujących alternatywne mechanizmy inicjacji. Analizowane będą możliwości zastąpienia klasycznych metakrylanów i inicjatorów fosfinowych (np. TPO) materiałami o niższej toksyczności i większym potencjale aplikacyjnym w biomedycynie. W projekcie planuje się szczegółowe badania systemów opartych na monomerach siloranowych, okestanowych spiroortowęglanach, które mogą znacząco redukować skurcz przetwórczy oraz poprawiać stabilność wymiarową wydruków. Istotną częścią badań będzie ocena, w jakim stopniu parametry optyczne fluoroforów takie jak widma absorpcji, kwantowa wydajność fluorescencji, efekty fotofizyczne i ich rozmieszczenie w matrycy polimerowej wpływają na efektywność utwardzania oraz rozdzielczość druku.

Jest to kluczowe dla technologii 4D, gdzie wysoka jakość druku musi współistnieć z programowalną wrażliwością materiału na bodźce środowiskowe.

Oczekuje się, że efektem projektu będzie opracowanie pierwszej w literaturze klasy fotoutwardzalnych, fluorescencyjnych materiałów diagnostyczno-strukturalnych przeznaczonych do zastosowań medycznych i stomatologicznych w technologiach druku 3D i 4D. Wyniki przyczynią się do zrozumienia zależności struktura–właściwości–funkcja w hybrydowych systemach fotopolimerowych z fluoroforami oraz do rozwoju nowej generacji inteligentnych biomateriałów zdolnych do dynamicznej, czasowo zależnej sygnalizacji zmian patologicznych w środowisku klinicznym.

Proponowane w projekcie badania mają charakter innowacyjny, a ich realizacja przyczyni się do istotnego poszerzenia wiedzy z zakresu fotochemii, inżynierii materiałowej oraz inżynierii chemicznej.

