

**Rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Puszczykowskiej zatytułowana:
Biodegradowalne kompozyty piezoelektryczne na bazie polilaktydu
otrzymywane metodą wytłaczania**

STRESZCZENIE

Przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej było opracowanie biodegradowalnych kompozytów piezoelektrycznych na bazie polilaktydu (PLA), wytwarzanych metodą wytłaczania. Podstawą podjętych badań była obserwacja, że PLA posiada naturalne właściwości piezoelektryczne, ale ich poziom jest niski i niewystarczający dla praktycznych zastosowań inżynierskich. Dodatkową barierę stanowi powolny przebieg degradacji PLA w warunkach fizjologicznych, co ogranicza jego wykorzystanie jako materiału w implantach resorbowalnych i innych nowoczesnych biomateriałach. Z tego względu konieczne stało się poszukiwanie metod modyfikacji PLA, które pozwoliłyby na jednoczesne zwiększenie aktywności piezoelektrycznej oraz przyspieszenie biodegradacji, przy zachowaniu biogodności materiału.

Na podstawie analizy literatury przedmiotu wykazano, że materiały piezoelektryczne znajdują szerokie zastosowania w technice i medycynie, jednak każdy z ich typów posiada istotne ograniczenia. Klasyczne materiały ceramiczne charakteryzują się wysoką aktywnością piezoelektryczną, lecz są kruche i nieresorbowalne, co dyskwalifikuje je w wielu aplikacjach biomedycznych. Polimery, takie jak polifluorek winylidenu (PVDF), są łatwe w przetwarzaniu, lecz ich biodegradowalność jest ograniczona. Z kolei polilaktyd (PLA) łączy biodegradowalność z biogodnością, jednak jego naturalna aktywność piezoelektryczna jest niewielka. Analiza doniesień literaturowych wskazała również, że stosowane dotychczas metody modyfikacji PLA nie doprowadziły do jednoczesnej poprawy aktywności piezoelektrycznej i przyspieszenia degradacji. Zidentyfikowana luka badawcza dotyczyła zatem opracowania nowego kompozytu, w którym te właściwości byłyby skutecznie połączone.

Teza rozprawy zakładała, że zastosowanie ryboflawiny (RF) jako dodatku do polilaktydu oraz jego kompozytów zawierających tytanian baru (BT) pozwoli zwiększyć podatność tych materiałów na biodegradację przy jednoczesnym zachowaniu efektu piezoelektrycznego. W ramach realizacji tezy przyjęto za cel określenie wpływu RF na proces degradacji PLA, a także na aktywność piezoelektryczną folii PLA i kompozytów PLA/BT. Zbadano efekt

piezoelektryczny, jego stabilność w czasie, podatność na biodegradację oraz wstępnie oceniono biogodność. Tak sformułowane cele miały umożliwić weryfikację, czy wprowadzona modyfikacja pozwala na otrzymanie funkcjonalnych biomateriałów, łączących cechy piezoelektryczne z poprawioną podatnością na biodegradację.

W badaniach wstępnych skoncentrowano się na ocenie możliwości wytwarzania kompozytów PLA/BT metodą wytłaczania oraz na sprawdzeniu, czy uzyskane materiały mogą wykazywać stabilny efekt piezoelektryczny. Analizy mikroskopowe potwierdziły jednorodny w skali obserwacji SEM, rozkład cząstek BT w osnowie, a pomiary piezoelektryczne wykazały uzyskanie stabilnego efektu piezoelektrycznego wyrażonego współczynnikiem d_{33} . Badania mikrobiologiczne wskazały na ograniczoną podatność kompozytów PLA/BT na oddziaływanie mikroorganizmów. Wyniki te potwierdziły zasadność podjęcia dalszych badań, ukierunkowanych na rolę ryboflawiny jako dodatku poprawiającego biodegradowalność.

W badaniach zasadniczych skoncentrowano się na roli ryboflawiny jako dodatku do PLA oraz kompozytów PLA/BT. Wykazano, że obecność RF zwiększa aktywność piezoelektryczną materiałów, umożliwiając uzyskanie odpowiedzi napięciowej w trybie ścinania (d_{14}), a jednocześnie przyspiesza ich biodegradację. Próby degradacji potwierdziły wyższy ubytek masy próbek zawierających RF, a obserwacje morfologii ujawniły procesy degradacji w czasie inkubacji. W przypadku kompozytów PLA/BT modyfikowanych RF stwierdzono, że dodatek ryboflawiny nie obniża znacznie efektu piezoelektrycznego d_{33} , a równocześnie intensyfikuje przebieg degradacji. Wstępne testy cytotoksyczności wykazały, że otrzymane materiały nie wywierają istotnego efektu toksycznego wobec zdrowych komórek, co uzasadnia, podjęcie dalszych, pełnych badań cytotoksyczności i biogodności kompozytu PLA/BT/RF.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że postawiona w rozprawie teza została zweryfikowana pozytywnie, a zakładane cele pracy osiągnięto. Badania potwierdziły możliwość połączenia w jednym materiale właściwości piezoelektrycznych i biodegradowalnych, a wstępne testy cytotoksyczności nie wykazały cytotoksyczności w badanych warunkach. Opracowane kompozyty mogą stanowić punkt wyjścia do dalszych prac nad biomateriałami resorbowalnymi o właściwościach piezoelektrycznych.