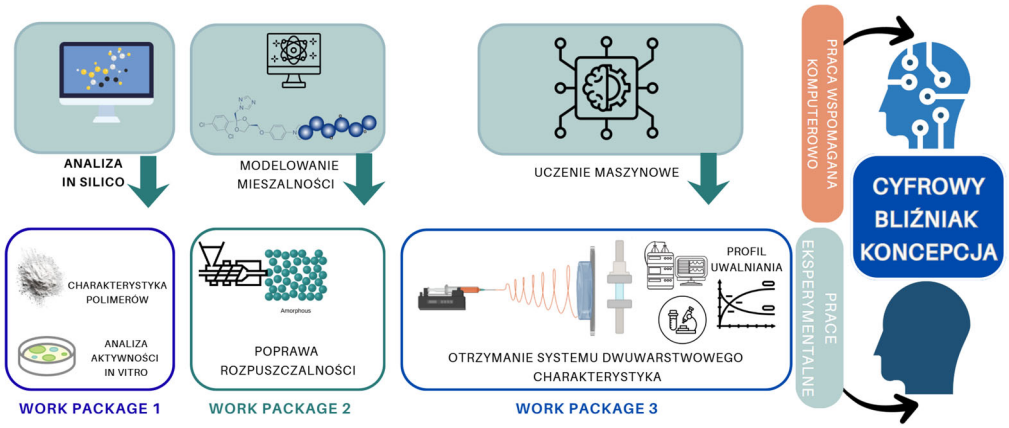
Cyfrowy bliźniak dla dwuwarstwowego opatrunku na rany

Przewlekłe rany, w szczególności owrzodzenia żylne kończyn dolnych, pozostają trudne do leczenia i często utrzymują się przez wiele miesięcy. Są one zazwyczaj kolonizowane przez bakterie tworzące struktury biofilmu, co obniża skuteczność terapii i opóźnia procesy regeneracji tkanek. Obecnie stosowane opatrunki pełnią głównie funkcję biernej bariery i nie zapewniają jednoczesnego działania przeciwdrobnoustrojowego oraz długotrwałego wsparcia procesów odnowy tkanek. W rezultacie gojenie przebiega powoli, często dochodzi do nawrotów, a jakość życia pacjentów znacznie się pogarsza.

Celem projektu jest opracowanie zaawansowanego, dwuwarstwowego opatrunku dostosowanego do potrzeb leczenia ran przewlekłych. Proponowane rozwiązanie łączy szybkie uwalnianie naturalnych związków z warstwy nanowłókien z kontrolowanym uwalnianiem tych samych substancji z warstwy filmu polimerowego. Warstwa nanowłókien umożliwi natychmiastowe działanie przeciwdrobnoustrojowe, ograniczając wzrost bakterii tuż po aplikacji. Warstwa filmowa zapewni natomiast kontrolowane, szybkie, umiarkowane lub wolne uwalnianie naturalnych związków o właściwościach proregeneracyjnych, przeciwzapalnych i antyoksydacyjnych, wspomagając odbudowę tkanek w dłuższym okresie. Obie warstwy tworzą funkcjonalny system umożliwiający sekwencyjne działanie terapeutyczne, niedostępne w przypadku standardowych opatrunków.

W strukturę opatrunku zostaną włączone naturalne związki o udokumentowanej aktywności biologicznej. Charakteryzują się one wysokim potencjałem przeciwdrobnoustrojowym I regeneracyjnym, jednak ich ograniczona rozpuszczalność utrudnia praktyczne zastosowanie. Projekt zakłada uzyskanie ich w łatwo rozpuszczalnej formie amorficznej przy użyciu technik bezrozpuszczalnikowych. Zastosowanie w tym celu metody wytłaczania na gorąco umożliwi zrównoważoną środowiskowo produkcję oraz zwiększy efektywność uwalniania tych substancji w miejscu rany. W projekcie wykorzystany zostanie zintegrowany model obliczeniowo-eksperymentalny wspierający optymalizację składu i właściwości opatrunku. W jego ramach powstanie „cyfrowy bliźniak" produktu – wirtualny model odzwierciedlający skład materiałowy, strukturę oraz kinetykę uwalniania substancji aktywnych. Umożliwi on symulację interakcji między związkami naturalnymi i polimerami, przewidywanie stabilności formy amorficznej oraz tempa dostarczania substancji leczniczych do rany. Modele uczenia maszynowego połączą dane eksperymentalne z symulacjami, pozwalając wskazać układy zapewniające szybki efekt przeciwdrobnoustrojowy wraz z kontrolowanym działaniem regeneracyjnym, co ograniczy liczbę koniecznych badań laboratoryjnych.

Oczekiwanym rezultatem będzie w pełni scharakteryzowanych 9 prototypów opatrunku o podwójnym profilu uwalniania, wsparty narzędziem predykcyjnym umożliwiającym ocenę jego działania jeszcze przed wykonaniem. Wyniki projektu mogą przyczynić się do przyspieszenia leczenia ran przewlekłych, zmniejszenia potrzeby stosowania antybiotyków oraz poprawy efektów terapeutycznych, istotnych zarówno dla pacjentów, jak i systemu ochrony zdrowia.



RYCINA 1. Schematyczna reprezentacja koncepcji projektu integrującej analizy *in silico*, modelowanie mieszalności, uczenie maszynowe oraz eksperymentalne opracowanie formulacji w ramach koncepcji cyfrowego bliźniaka.