

# Biblioteka w Julii do modelowania układu sercowo-naczyniowego w oparciu o sieci neuronowe oparte na fizyce - wizja

Wiktor Perczak, Michał Dydek

Kwiecień 2025

## 1 Wstęp

Dynamiczny rozwój technologii wraz z postępującym zapotrzebowaniem na jak najdokładniejsze dane medyczne sprawił, że personalizacja medycyny staje się coraz bardziej fundamentalnym elementem profilaktyki i leczenia. Dodatek informatyki jako dziedziny nauki jest uważany za znaczące przyspieszenie i udoskonalenie tego procesu. Dotychczas stosowane narzędzia opierają się na podejściu bazującym na przetwarzaniu danych (uczenie maszynowe), lub wykorzystującym klasyczne modelowanie prawami fizycznymi (równania różniczkowe, mechanika płynów). Innowacyjnym podejściem, łączącym wcześniej wspomniane rozwiązania jest zastosowanie metod hybrydowych, takich jak Sieci Neuronowe Oparte na Fizyce (PINN). Korzystają one zarówno z modeli fizycznych jak i sieci neuronowych, co pozwala im osiągnąć lepsze rezultaty niż stosowanie każdej z metod osobno.

## 2 Sformułowanie problemu

Jednym z problemów współczesnej medycyny jest modelowanie układu sercowo-naczyniowego, które jest niezwykle pomocne w profilaktyce i wczesnym wykrywaniu nieprawidłowości zdrowotnych. Istnieją bardzo dokładne odwzorowania tego systemu, lecz ich odpowiednie stosowanie, wymaga dużego nakładu pracy i zasobów. Rozwiązaniem tego problemu jest użycie mniej skomplikowanych modeli, których wadą jest znaczna utrata precyzji, nieakceptowalna w dziedzinie medycyny, gdzie na szali stoi ludzkie zdrowie. Użycie sieci neuronowych opartych na fizyce wraz z uproszczonym modelem, może sprawić, że otrzymamy rozwiązanie równie skuteczne jak pełne odwzorowanie układu sercowo-naczyniowego, biorącego pod uwagę wszystkie możliwe fizyczne zależności. Dlatego też w niniejszej pracy podjęto się stworzenia narzędzia ułatwiającego korzystanie z wyżej wymienionego podejścia.

### 3 Opis produktu

Cel pracy to biblioteka w języku Julia, umożliwiająca użytkownikowi w łatwy i szybki sposób wygenerować model układu sercowo-naczyniowego z wykorzystaniem PINN dla zadanych danych. Zaletą stosowania będzie prosty interfejs, bez konieczności indywidualnej implementacji systemu. Na ten moment nie istnieją narzędzia oferujące takie funkcjonalności, a mogłyby być one bardzo pomocne zarówno dla osób technicznych, przy dalszym rozwoju modeli związanych z układem sercowo-naczyniowym, jak i dla osób nietechnicznych. Przejrzysty i nieskomplikowany interfejs ma umożliwić proste przekazanie parametrów i otrzymanie wyniku.

### 4 Co zostało zrobione

1. Zdefiniowanie problemu i produktu, który go rozwiązuje.
2. Wybranie referencyjnego modelu, na którym będziemy ewaluować swoje rozwiązania.
3. Zamodelowanie podstawowego, nieskomplikowanego systemu, który jest bazą do kolejnych etapów.
4. Zebranie odpowiedniej literatury:
  - (a) *Review of Zero-D and 1-D Models of Blood Flow in the Cardiovascular System* by Yubing Shi, Patricia Lawford, and Rodney Hose
  - (b) *A Hybrid Neural Ordinary Differential Equation Model of the Cardiovascular System* by Gevik Grigorian, Sandip V. George, Sam Lishak, Rebecca J. Shipley, and Simon Arridge
  - (c) *Parameter Estimation for Closed-Loop Lumped Parameter Models of the Systemic Circulation Using Synthetic Data* by Nikolai L. Bjørndalsbakke, Jacob T. Sturdy, David R. Hose, and Leif R. Hellevik

### 5 Plan działania

1. Implementacja połączenia modelu fizycznego i sieci neuronowej.
2. Analiza skuteczności i wiarygodności rozwiązania.
3. Rozeznanie w przyszłej strukturze biblioteki i analiza przypadków użycia.
4. Przemyślenie możliwych udoskonaleń i rozszerzeń.