

# Krzywe depozycji energii cząstek w medycynie wysokich energii

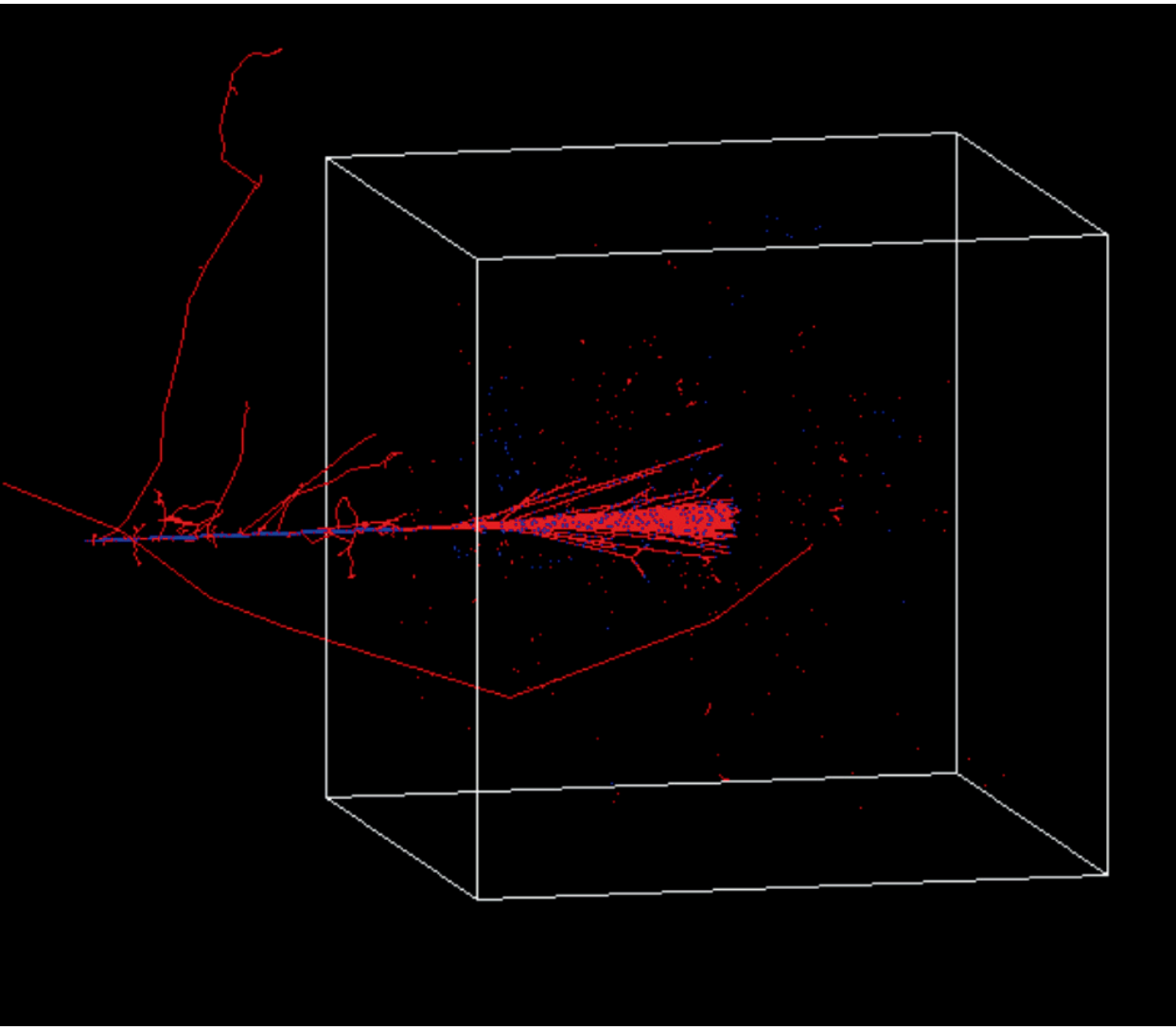
Symulacje za pomocą programu Geant4

Autorzy: Maks Flak, Paweł Michałowski, Antoni Zegarski || Mentor: Marcin Patecki

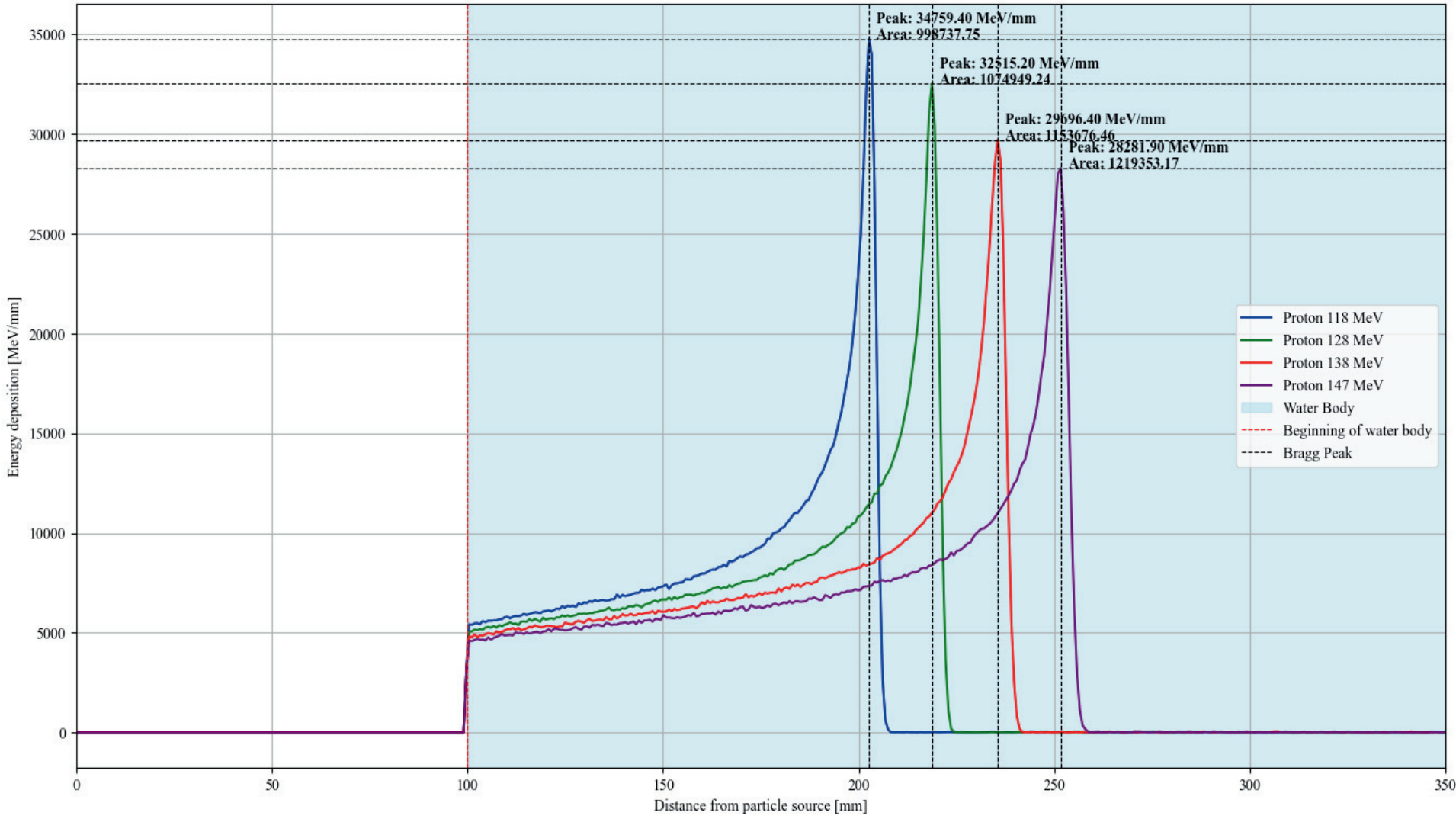


## Abstrakt

Nasze badania koncentrują się na symulacji działania działka emitującego wysokoenergetyczne cząstki, które skierowane są na fantom wodny. Celem jest dokładne zbadanie, ile energii jest deponowanej przez te cząstki w wodzie na różnych głębokościach. Tego rodzaju badania mają istotne zastosowanie w medycynie, szczególnie w leczeniu nowotworów położonych głęboko w ciele pacjenta. W ramach projektu analizowaliśmy potencjał zastosowania wiązek elektronów w tego typu terapiach.



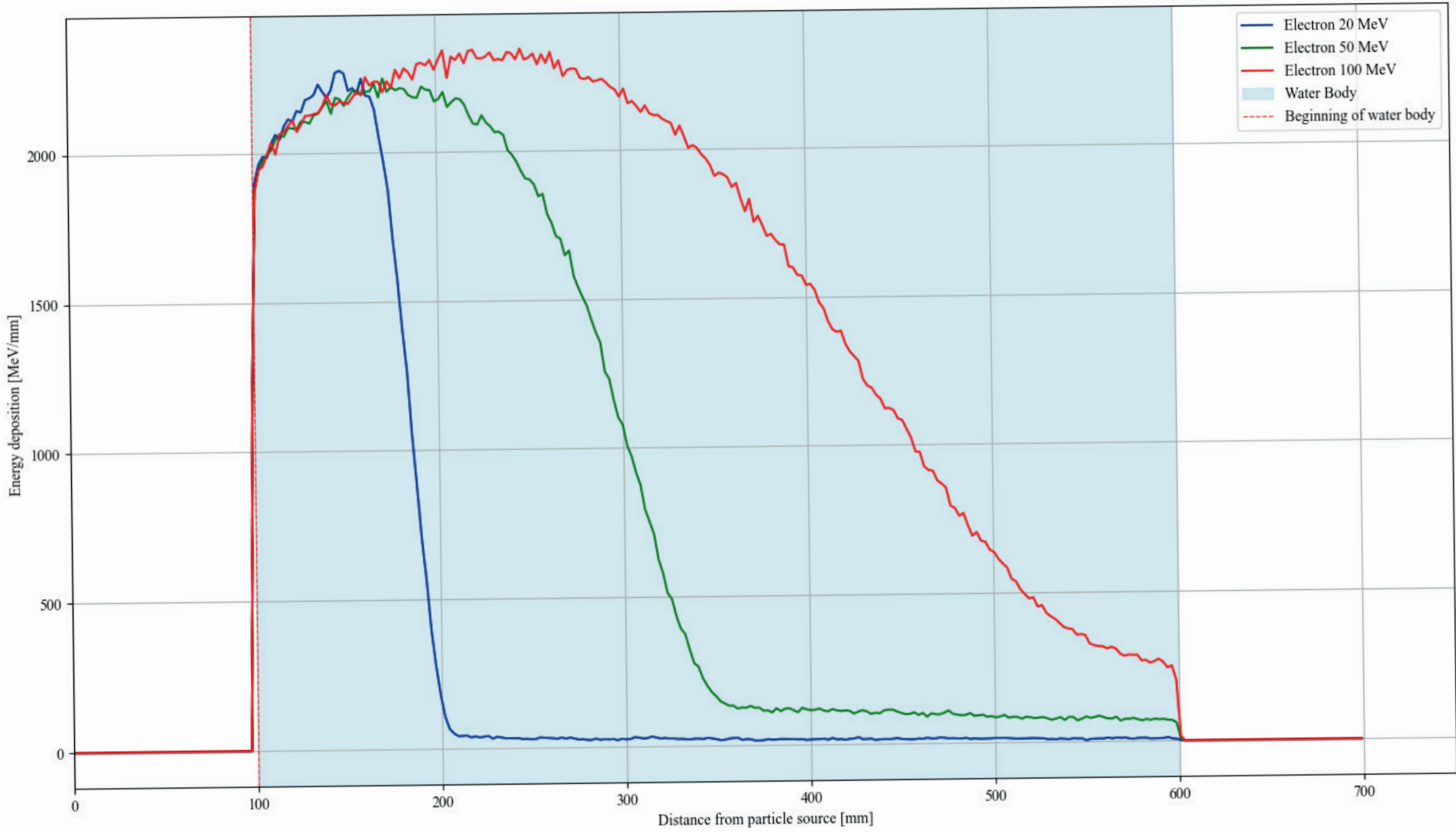
(1) Wizualizacja rozproszenia cząstek w ciele wodnym.



(2) Wykres przedstawiający depozycję energii przez protony w fantomie wodnym dla różnych energii protonów.

## Metoda

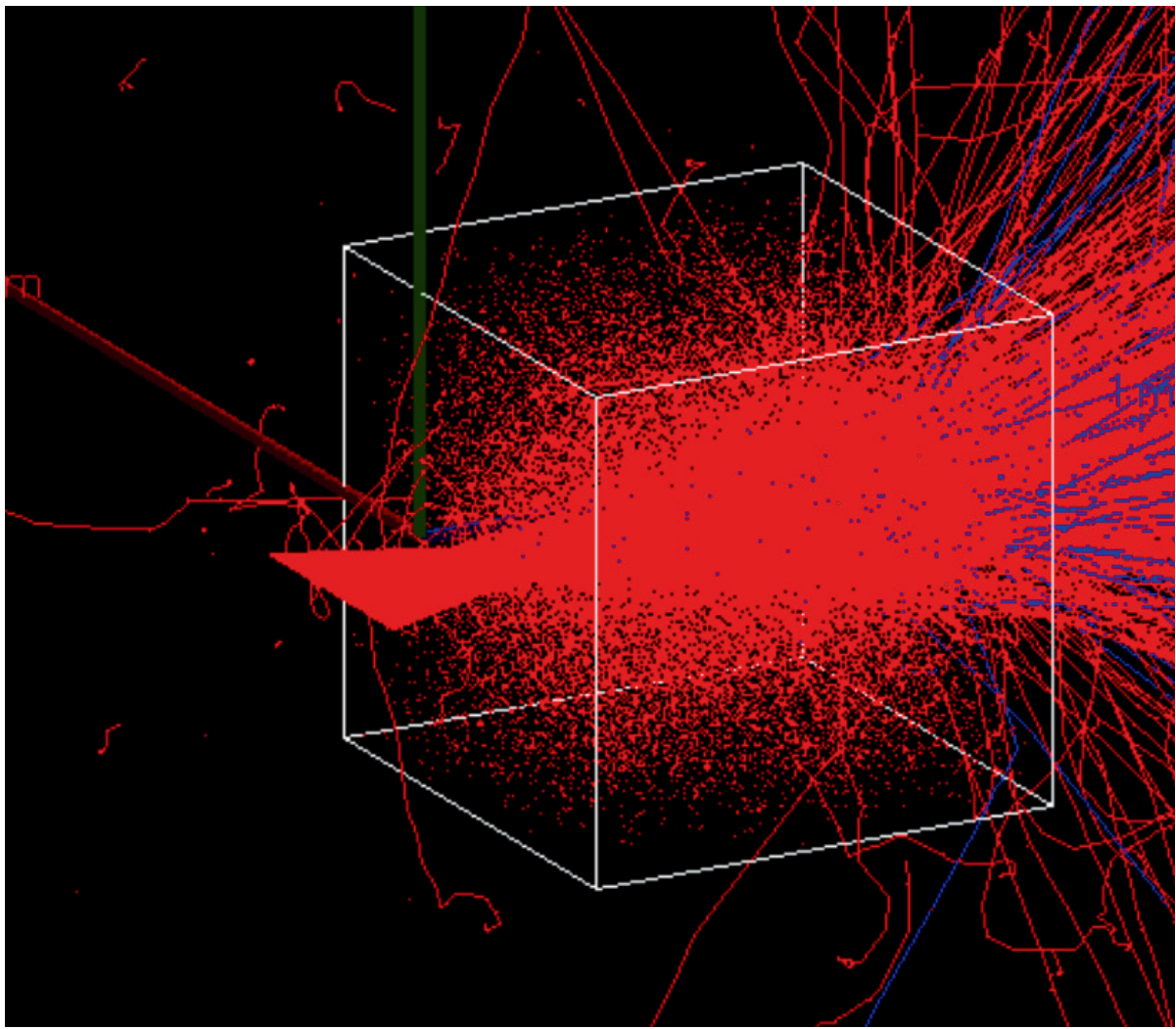
Przeanalizowaliśmy układ o wymiarach 1x1x1 m, w którym umieszczono fantom wodny o wymiarach 0,5x0,5x0,5 m. W stronę tego fantomu skierowaliśmy emiter cząstek, generujący idealnie skolimowaną wiązkę cząstek (1). Następnie zmierzaliśmy ilość energii zdeponowanej przez cząstki (zarówno pierwotne, jak i wtórne) na różnych głębokościach fantomu, a wyniki przedstawiliśmy na wykresach. W pierwszej fazie eksperymentu, w kierunku fantomu wystrzeliwane były protony. Wykres przedstawiający zależność depozycji energii od głębokości fantomu został zaprezentowany na wykresie powyżej (2) dla czterech różnych energii początkowych protonów. W kolejnej fazie zasymulowaliśmy analogiczny scenariusz z wykorzystaniem wiązki elektronów (3). Ostatecznym celem projektu było zasymulowanie charakterystyk podobnych do krzywych Bragga, wykorzystując skupione wiązki elektronów.



(3) Wykres przedstawiający depozycję energii przez elektrony w fantomie wodnym dla różnych energii elektronów.

## Obserwacje i Wnioski

Nasze symulacje wykazały wyraźnie korzystne i powtarzalne kształty krzywych depozycji energii dla protonów, a także ich odpowiedniki w symulacjach z elektronami. W miarę postępu projektu stopniowo zwiększaliśmy realizm symulacji poprzez uwzględnienie różnych efektów, takich jak nieidealna kolimacja wiązki oraz obecność powietrza w układzie. Dodatkowo, wykorzystaliśmy wbudowane w Geant4 narzędzia wizualizacyjne do analizy przestrzennej depozycji energii w układzie. Wyniki potwierdziły istnienie wąskiego zakresu głębokości, w którym depozycja energii jest największa, co ma kluczowe znaczenie dla zastosowań medycznych. (4) Zgodnie z literaturą, skupione wiązki elektronów powinny generować krzywe depozycji energii zbliżone do krzywych Bragga obserwowanych dla protonów. Jednakże w naszych symulacjach nie zaobserwowaliśmy takiego efektu, gdyż symulowane skupienie elektronów przyniosło wyniki zbliżone do tych uzyskanych bez skupienia. W celu poprawy wyników planujemy wdrożenie bardziej precyzyjnych i szczegółowych metod symulacyjnych.



(4) Wizualizacja rozproszenia cząstek w ciele wodnym. Przy użyciu skupionej wiązki elektronów.

## Podsumowanie

W naszych symulacjach zaobserwowaliśmy charakterystyczne dla depozycji energii krzywe Bragga, co potwierdza, korzystne efekty płynące z depozycji energii przez wiązki protonów. Niestety, nie udało nam się uzyskać oczekiwanych wyników w symulacjach związanych z depozycją energii przez skupione wiązki elektronów. Ten aspekt będzie stanowił kolejny etap naszego projektu, który planujemy rozwijać we współpracy z naszym mentorem.

### Bibliografia:

(1) Bagli, E., Asai, M., Brandt, D., Dotti, A., Guidi, V. i Wright, D.H., 2014. A model for the interaction of high-energy particles in straight and bent crystals implemented in Geant4. The European Physical Journal C, 74, p.2996. DOI: <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-014-2996-y>.  
(2) Kokurewicz, K., Brunetti, E., Curcio, A., Gamba, D., Garolfi, L., Gilardi, A., Senes, E., Sjobak, K.N., Farabolini, W., Corsini, R. i Jaroszynski, D.A., 2021. An experimental study of focused very high energy electron beams for radiotherapy. Communications Physics, 4, p. 236. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42005-021-00536-0>.