

Miłosz CHRZAN<sup>1</sup>, Michał DRABEK<sup>1</sup>, Piotr GRABIEC<sup>1</sup>, Tomasz LIS<sup>1</sup>,  
Michał BURKACKI<sup>2</sup>, Sławomir SUCHOŃ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Studenckie Koło Naukowe „Biokreatywni”, Politechnika Śląska, Zabrze

<sup>2</sup>Katedra Biomechatroniki, Politechnika Śląska, Zabrze

## KONCEPCJA BIOMECHATRONICZNEGO EGZOSZKIELETU DŁONI Z WYKORZYSTANIEM DRUKU 3D

**Streszczenie:** Artykuł opisuje projekt biomechatronicznego egzoszkieletu dłoni z wykorzystaniem technologii druku 3D. W pracy przedstawiony został proces tworzenia modelu w środowisku CAD, wybór poszczególnych komponentów urządzenia, a także uzasadniony zostaje wybór tworzywa sztucznego ABS jako materiału, który posłuży do wydrukowania elementów konstrukcji. Model poddany został analizie wytrzymałościowej w miejscach najbardziej podatnych na obciążenia, tj. w miejscu łączenia segmentów poszczególnych palców.

**Słowa kluczowe:** egzoszkielec, druk 3D, biomechatronika, arduino, dłoń, CAD

### 1. WSTĘP

W dzisiejszych czasach można zaobserwować postęp technologiczny, dzięki któremu w różnych dziedzinach nauki pojawiają się możliwości praktycznego wykorzystania technik oraz narzędzi, które do tej pory były dla nich nieosiągalne. Zagadnieniem związanym z poprawą jakości życia pacjentów jest wykorzystanie tych możliwości w celu poprawy skuteczności procesu leczenia w różnego typu schorzeniach lub urazach. Jednym z rozwiązań, które dostarcza dzisiejsza technika do zastosowania w celach rehabilitacji są egzoszkielety [1].

Egzoszkielec to urządzenie mocowane na zewnątrz ciała, które umożliwia wzmocnienie siły mięśni użytkownika. Pozwala ono na wspomaganie lub umożliwienie ruchu za pomocą siłowników, których praca regulowana jest za pomocą układu sterującego. Sterowanie może być realizowane za pomocą różnych metod, np. głosem, czujnikami inercyjnymi lub sygnałami bioelektrycznymi pochodzącymi z ośrodkowego układu nerwowego [2].

Druk 3D stanowi technologię, dzięki której możliwa jest realizacja fizycznego, trójwymiarowego obiektu w oparciu o opracowany za pomocą oprogramowania CAD model. Proces druku polega na nakładaniu na siebie kolejnych warstw materiału, aż do uzyskania gotowego obiektu. Na dzień dzisiejszy dostępne są rozwiązania umożliwiające wykonanie za pomocą druku 3D przedmiotów z tworzyw sztucznych, metalu lub ceramiki. Jedną z dziedzin, w których technologia ta znajduje zastosowanie jest medycyna. Daje ona możliwość tworzenia spersonalizowanych, pojedynczych projektów, które do tej pory nie były możliwe do wykonania, zwłaszcza ze względu na koszty [3].

## 2. CEL PRACY

Celem pracy było opracowanie w oprogramowaniu CAD modelu biomechanicznego egzoszkieletu dłoni, który mógłby zostać wykonany przy wykorzystaniu druku 3D.

## 3. METODYKA PRACY

Pierwszym etapem projektu był pomiar wielkości antropometrycznych dłoni, co umożliwiło zaprojektowanie egzoszkieletu o odpowiednich wymiarach. Kolejnym krokiem było opracowanie ogólnej koncepcji projektu, szkiców dotyczących geometrii oraz zaprojektowanie wszystkich elementów egzoszkieletu. Ważnym aspektem projektowania było założenie, by wszystkie elementy mogły zostać wydrukowane w większości dostępnych drukarek 3D, dla których wymiary druku oscylują wokół 250 mm x 150 mm x 120 mm. Środowiskiem służącym do projektowania był program Autodesk Inventor 2016.

Następnie przeprowadzony został dobór gotowych komponentów, takich jak płytką sterująca Arduino Leonardo oraz serwomechanizmy TowerPro SG90. Kolejnym etapem pracy był dobór materiału na poszczególne elementy egzoszkieletu, gdzie spośród trzech powszechnie wykorzystywanych materiałów, tj. ABS, PLA oraz PET wybrany został jeden, najlepiej spełniający założenia projektu. Materiały zostały ocenione pod względem wytrzymałości, elastyczności oraz dokładności wydruku możliwej do uzyskania. Wybrany materiałem został ABS, który jest tworzywem sztucznym o dobrych właściwościach mechanicznych, którymi odznaczał się na tle pozostałych pozycji. Dla tego materiału przeprowadzona została analiza wytrzymałościowa konstrukcji egzoszkieletu. Analizie poddane zostały elementy najbardziej podatne na obciążenia, tj. miejsca łączące segmenty palców.

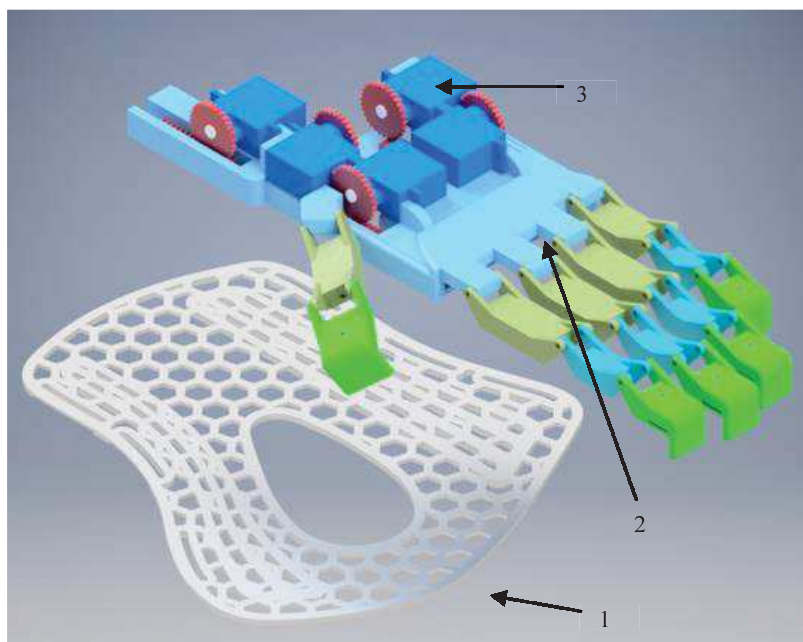
## 4. WYNIKI

W ramach pracy wykonano projekt egzoszkieletu dłoni. Model był złożony z 25 elementów, a przy zastosowaniu metody FDM(ang. Fused deposition modeling) oraz zastosowaniu pełnego wypełnienia dla wydruku 3D, posiadałby masę 150 g.

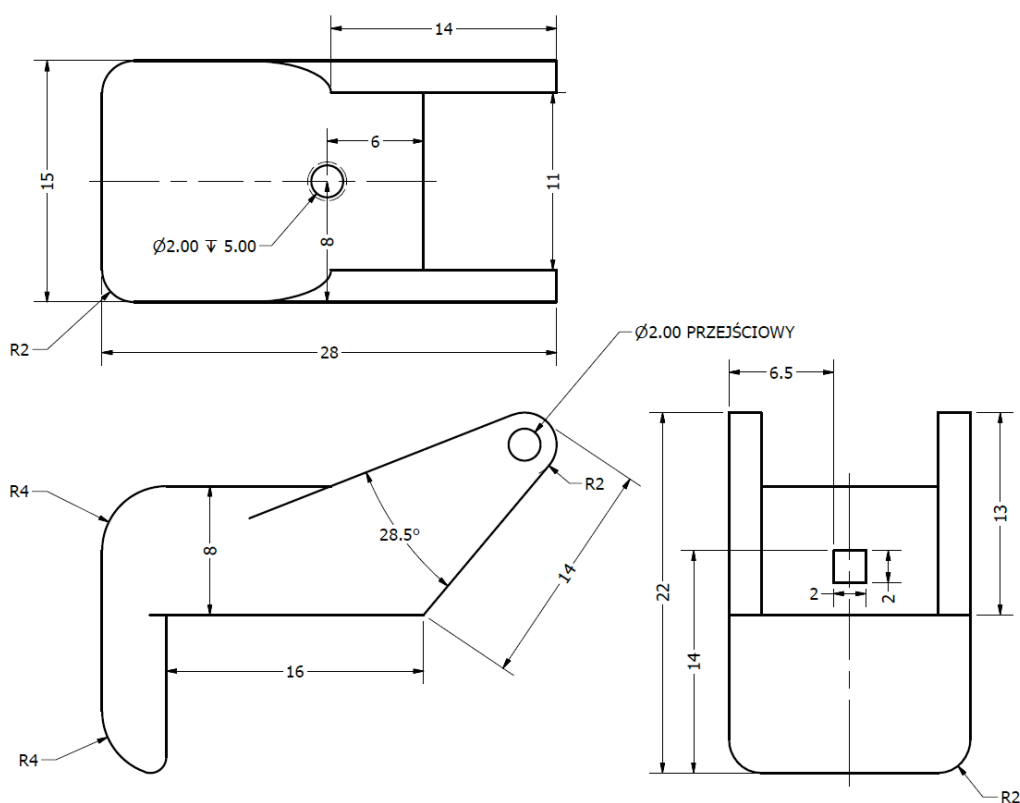
Egzoszkielet poprzez wkręty został przymocowany do stabilizatora stawu nadgarstkowego, który również został wykonany metodami druku 3D, a który pod wpływem temperatury dopasowuje się do kształtu przedramienia oraz stawu nadgarstkowego, co zapewnia stabilne utwierdzenie dla egzoszkieletu(rys. 1). Sposób połączenia poszczególnych części oraz segmentów egzoszkieletu został schematycznie przedstawiony na rysunku 1.

Dla projektu specjalnie stworzony został mechanizm propagacji ruchu palców. Mechanizm ten jest oparty na żyłce z tworzywa sztucznego, przechodzącej przez kolejne elementy palców - ciągnięta lub popychana przez serwomechanizmy żyłka powoduje odpowiednio, prostowanie lub zginanie segmentów, a w konsekwencji wymusza ruch palców. Miejsce prowadzenia, oraz mocowania żyłki, można zobaczyć na rysunku 2.

Szacunkowy koszt wykonania egzoszkieletu oraz kupna komponentów wynosi 500 zł.



Rys. 1. Model egzoszkieletu (1. Element kształtowany indywidualnie dostosowany do anatomicznego kształtu kończyny górnej pacjenta 2. Konstrukcja egzoszkieletu 3. Serwomechanizm)



Rys. 2. Rysunek techniczny pierwszego segmentu palca

Dla poszczególnych elementów egzoszkieletu, dla materiału ABS i PET wykonano analizę wytrzymałościową z wykorzystaniem solvera MES wbudowanego w oprogramowanie Autodesk Inventor 2016. Własności mechaniczne materiału ABS i PET zostały pobrane z biblioteki materiałowej powyższego oprogramowania i zostały opisane w tabeli 1 i tabeli 2.

**Tabela 1 Własności mechaniczne materiału ABS**

Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	Moduł Younga [GPa]	Współczynnik Poissona	Granica plastyczności [MPa]
1,06	2,24	0,38	20

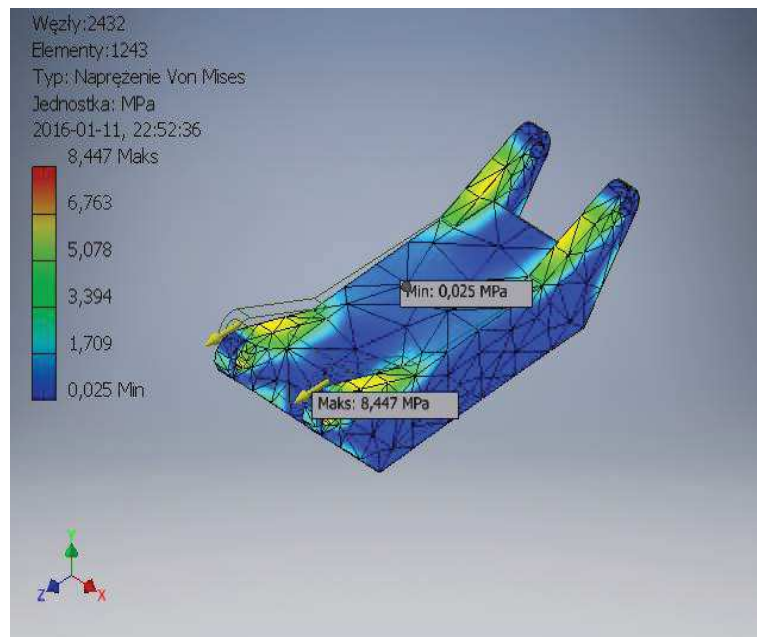
**Tabela 2 Własności mechaniczne materiału PET**

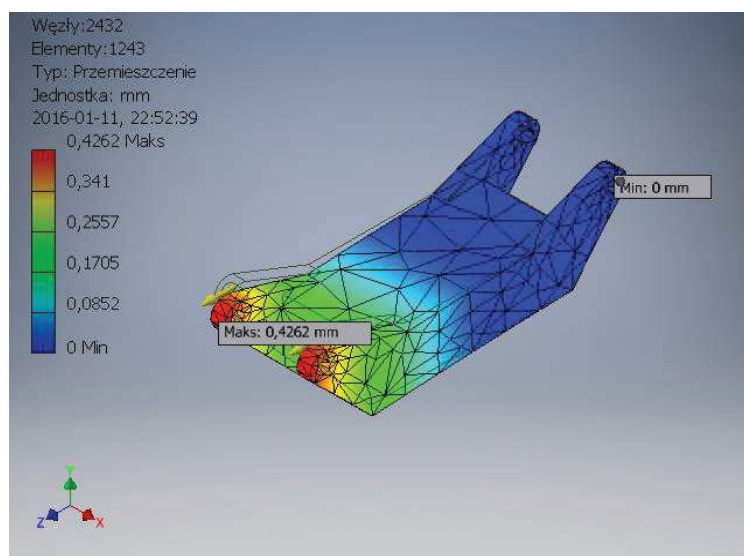
Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	Moduł Younga [GPa]	Współczynnik Poissona	Granica plastyczności [MPa]
1,541	27,579	0,417	54,4

Dla materiału ABS, rysunek 3 przedstawia rozkład naprężeń w pojedynczym segmencie odpowiadającemu paliczkowi bliższemu palca wskazującego. Warunki brzegowe zostały nadane w taki sposób, że segment z jednej strony w otworach mocujących został utwierdzony, natomiast na przeciwległe otwory nałożona została siła 25 N, odpowiadająca typowej sile zaciskania dłoni przez człowieka [4]. Na element nałożona została domyślna siatka MES o parametrach podanych w tabeli 3. Maksymalna wartość naprężenia wynosi 8,734 MPa i występuje w otworach służących do wzajemnego połączenia segmentów palca. Na rysunku 4 przedstawiono przemieszczenia w segmencie, których maksymalna wartość jest równa 0,43 mm.

**Tabela 3 Parametry siatki MES**

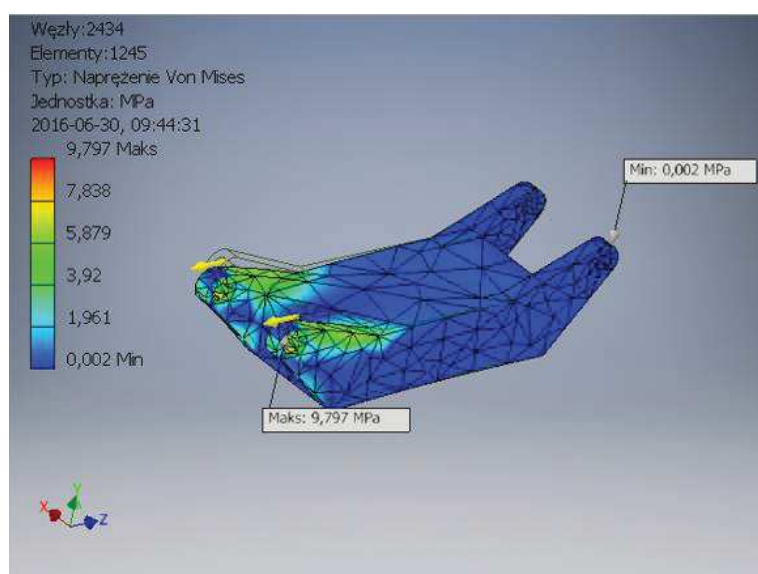
Średnia wielkość elementu (ułamekowa długość ramki ograniczającej)	Minimalna wielkość elementu (jako ułamek średniej wielkości)	Współczynnik gradacji	Maksymalny kąt trójkąta siatki
0,1	0,2	1,5	60 stopni

**Rys. 3. Rozkład naprężeń w pojedynczym segmencie palca wykonanym z ABS**

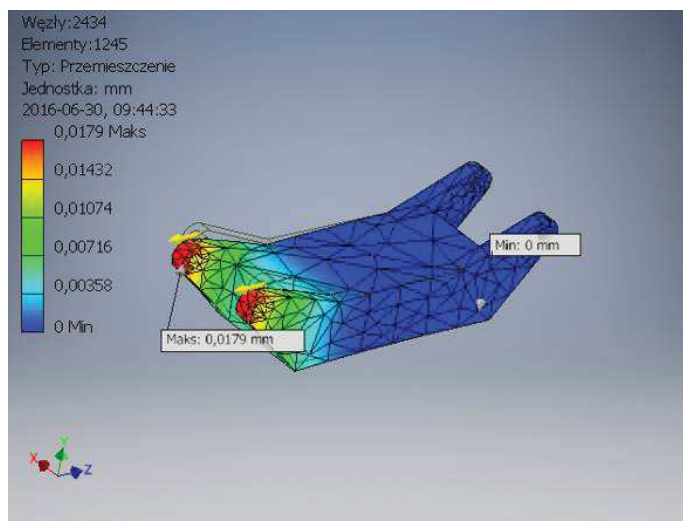


Rys. 4. Rozkład przemieszczeń w pojedynczym segmencie palca wykonanym z ABS

Podczas symulacji obciążeń dla materiału PET, warunki brzegowe, obciążenia i siatka MES była taka sama jak w przypadku symulacji dla ABS. Maksymalne naprężenie równe było 9,79 MPa (Rys. 5), przemieszczenie natomiast 0,02 mm (Rys. 6). Ze względu na mniejsze naprężenia oraz niższą cenę wybrany został materiał ABS.



Rys. 5. Rozkład naprężeń w pojedynczym segmencie palca wykonanym z PET



Rys. 6. Rozkład przemieszczeń w pojedynczym segmencie palca PET

## 5. WNIOSKI

Prezentowany model oraz wyniki analizy wytrzymałościowej, dowodzą możliwości stworzenia funkcjonalnego biomechatronicznego egzoszkieletu dłoni o niskich kosztach produkcji oraz o dużym potencjale rozwojowym. Tego typu projekt mógłby stanowić alternatywę dla podobnych urządzeń komercyjnych o znacznie wyższych cenach rynkowych, przez co jednocześnie ułatwiłby dostęp do podobnych rozwiązań osobom ich potrzebującym, a niemogącym sobie na to pozwolić ze względów ekonomicznych.

## LITERATURA

- [1] Mikołajewska E., Mikołajewski D.: Możliwości wykorzystania egzoszkieletu medycznego jako nowoczesnej formy terapii. Niepełnosprawność – zagadnienia, problemy, rozwiązania. Nr IV, 2012.
- [2] Kowalska S., Herma S.: Egzoszkielec – możliwości wykorzystania we współczesnej inżynierii, Modele inżynierii teleinformatyki, vol. 5, 2014, s. 27-36.
- [3] <http://centrumdruku3d.pl/czym-jest-druk-3d-i-na-czym-polega/> (z dnia 07.04.2016 r.)
- [4] Huckabee M., Lin E., Coombes T., Bryant M.: Perception of Muscle Strength With and Without Biofeedback During Swallowing and Fist-Clenching Tasks, Contemporary issues in communication science and disorders, vol. 31, 2004, p. 225–235.

## PROJECT OF BIOMECHATRONICS HAND EXOSKELETON USING 3D PRINTING

**Abstract:** This paper presents project of biomechanical hand exoskeleton, created with 3D printing technology usage. The description of modelling process, as well as selection of components and material for parts of exoskeleton were provided. Model was created in CAD software, and material chosen for printing exoskeleton was ABS. Strength analysis were performed for crucial parts of exoskeleton.