

# XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

# TKI2024

## TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

### Optymalizacja procesu produkcji ekonomicznych sztucznych mięśni z nylonu

Marek Ples<sup>1</sup>, Edyta Kawlewska<sup>1</sup>, Sławomir Suchon<sup>1</sup>, Michał Burkacki<sup>1</sup>, Miłosz Chrzan<sup>1</sup>, Marek Gzik<sup>1</sup>,  
Wojciech Wolański<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Biomechatroniki, Politechnika Śląska

email: [marek.ples@polsl.pl](mailto:marek.ples@polsl.pl), [edyta.kawlewska@polsl.pl](mailto:edyta.kawlewska@polsl.pl), [slawomir.suchon@polsl.pl](mailto:slawomir.suchon@polsl.pl), [michal.burkacki@polsl.pl](mailto:michal.burkacki@polsl.pl), [milosz.chrzan@polsl.pl](mailto:milosz.chrzan@polsl.pl),  
[marek.gzik@polsl.pl](mailto:marek.gzik@polsl.pl), [wojciech.wolanski@polsl.pl](mailto:wojciech.wolanski@polsl.pl)

**STRESZCZENIE:** Artykuł opisuje proces produkcji i właściwości sztucznych mięśni nylonowych (AMF) wytworzonych z dostępnej komercyjnie żyłki wędkarskiej. Wytworzone w opisanym procesie struktury, naśladując funkcje biologiczne, przekształcają energię cieplną w pracę mechaniczną. W eksperymentach wykazano, że włókna te mogą kurczyć się o 20% swojej długości, generować siłę do 0,65 N oraz charakteryzują się gęstością mocy wynoszącą około 90 W/kg. Opisana technologia jest prosta, tania i wydajna, a zastosowane materiały zapewniają wysoką trwałość. Wyniki sugerują, że sztuczne mięśnie nylonowe mają szeroki potencjał zastosowań w robotyce, medycynie i systemach wspomagania ruchu.

**SŁOWA KLUCZOWE:** sztuczne mięśnie, aktuatory, wytwarzanie, niski koszt

#### 1. Wstęp

Sztuczne mięśnie, znane również jako aktuatory miękkie, to zaawansowane urządzenia lub materiały, które mają zdolność naśladowania ruchu oraz funkcji biologicznych mięśni. Ich działanie polega na konwersji różnych form energii, takich jak energia elektryczna, chemiczna czy cieplna, w pracę mechaniczną, co pozwala na wywołanie ruchu podobnego do tego, który obserwujemy w żywych organizmach. Zastosowanie sztucznych mięśni jest niezwykle szerokie i obejmuje wiele dziedzin, od robotyki i automatyki przemysłowej, przez zaawansowane technologie medyczne, takie jak protezy czy implanty, aż po urządzenia noszone i nowoczesne systemy wspomagania ruchu. Ze względu na swój potencjał, sztuczne mięśnie są jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się obszarów inżynierii biomimetycznej.

Jednym z kluczowych aspektów rozwoju sztucznych mięśni jest ich ścisły związek z bioniką, czy też biomimetyką – dziedzinami nauki, które czerpią inspirację z natury, naśladując rozwiązania biologiczne w technologii. Biomimetyka polega na badaniu naturalnych struktur i mechanizmów biologicznych, aby projektować innowacyjne systemy techniczne, które mogą być bardziej efektywne, zrównoważone i wydajne. Sztuczne mięśnie są doskonałym przykładem tego podejścia – inspiracja naturą pozwala inżynierom opracowywać elementy wykonawcze o zdolnościach i wydajności zbliżonej do biologicznych odpowiedników.

Sztuczne mięśnie można podzielić na kilka głównych typów, które różnią się mechanizmem działania. Do najważniejszych należą elektroaktywne polimery (EAP), które zmieniają kształt pod wpływem impulsu elektrycznego, pneumatyczne mięśnie sztuczne (PMA), które wykorzystują ciśnienie gazu do generowania ruchu,

oraz mięśnie wykonane z nanorurek węglowych, charakteryzujące się wyjątkowo wysoką wartością generowanej siły i elastycznością [1]. Każdy z tych typów ma swoje unikalne cechy, które sprawiają, że nadają się one do różnorodnych zastosowań, w zależności od wymagań dotyczących wytrzymałości, precyzji oraz elastyczności.

Chociaż obecnie najczęściej wykorzystywanymi, także komercyjnie, sztucznymi mięśniami są aktuatory PMA, to inne technologie w tym obszarze również wykazują duży potencjał. Jednym z obiecujących kierunków jest wykorzystanie powszechnie dostępnych materiałów, takich jak poliamidy w rodzaju nylonu [2]. W ramach badań nad alternatywnymi metodami wytwarzania sztucznych mięśni zbadano możliwość użycia nylonowej żyłki wędkarskiej – materiału, który jest szeroko dostępny i tani. Znaną z literatury metodę wytwarzania sztucznych włókien mięśniowych aktywowanych termicznie uproszczono i przystosowano do miejscowych warunków. Przeprowadzone eksperymenty i pomiary wykazały, że aktywowany termicznie sztuczny mięsień wykonany z nylonu może generować znaczną siłę i wykonywać użyteczną pracę mechaniczną, co czyni tą technologię atrakcyjnym kandydatem do rozwijania niskokosztowych, ale efektywnych sztucznych włókien mięśniowych (AMF, ang. *Artificial Muscle Fibers*). Ten kierunek badań jest szczególnie obiecujący z punktu widzenia ekonomicznej dostępności oraz szerokiego zakresu potencjalnych zastosowań, zarówno w przemyśle, jak i medycynie.

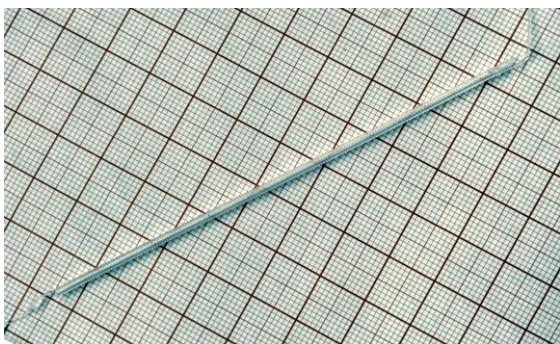
#### 2. Materiały i metoda

W produkcji AMF wykorzystano standardową nylonową żyłkę wędkarską o średnicy 0,5 mm. Nić była skręcana pod obciążeniem za pomocą wrzeczona napędzanego silnikiem elektrycznym prądu stałego. Liczba skrętów była określana

przy użyciu systemu liczącego obroty wrzeciona. Długość skręconej nici, liczba skrętów oraz masa obciążenia były dobierane eksperymentalnie, uwzględniając efektywność powstającego AMF. Skręcona nić została następnie nawinięta na wolframowy trzpień o średnicy 1 mm i zabezpieczona uchwytami śrubowymi (rys. 1). Rolą trzpienia i uchwytów jest zabezpieczenie przed despiralizacją surowego włókna. Cały zestaw został poddany wygrzewaniu przez 0,5 godziny w temperaturze bliskiej punktowi mięknięcia nylonu (w przypadku zastosowanego włókna, ok. 70°C). Następnie stopniowo ochłodzono go do temperatury pokojowej i usunięto trzpień, uzyskując gotowe sztuczne włókno mięśniowe (rys. 2). Następnie włókno sztucznego mięśnia zostało poddane pomiarom (rys. 2). Dalszy opis dotyczy sztucznego mięśnia o długości ok. 10 cm (stan całkowitej relaksacji) powstałego z żyłki wędkarskiej o długości 0,7 m skręcanej (50 skrętów) pod obciążeniem 0,15 kg.



Rys. 1. Surowe włókno nawinięte na trzpień



Rys. 2. Gotowe AMF

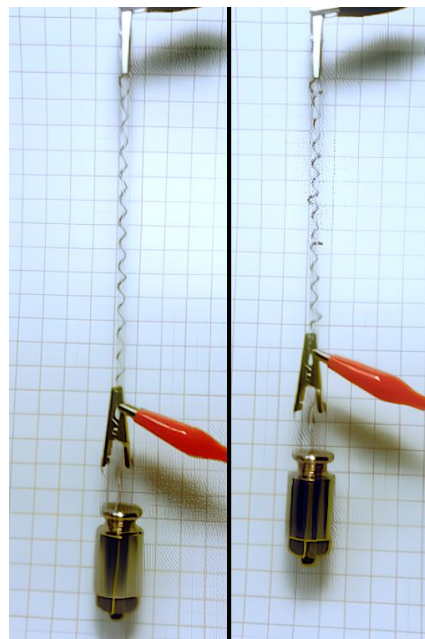
Opisany sztuczny mięsień jest aktywowany termicznie, to znaczy do jego skurczu dochodzi po ogrzaniu go do temperatury 50-60°C, co można uzyskać owijając wokół właściwego kurczliwego włókna odcinek przędzy nylonowej pokrytej srebrem, która rozgrzewa się do pożądanej temperatury pod wpływem przepływu prądu elektrycznego.

### 3. Wyniki

Stosunkowo niewielka pojemność cieplna tak uzyskanego zestawu pozwala uzyskać częstotliwość skurcz-rozkurcz na poziomie 0,25-1 Hz.

Kontrakcja długości mięśnia podczas skurczu jako fazy aktywnej dochodzi do 20% długości mięśnia rozciągniętego obciążeniem o masie 60 g (rys. 3). Pojedyncze włókno

sztucznego mięśnia generowało maksymalną siłę równą 0,65 N +/- 0,10 N podczas ciągłej pracy trwającej co najmniej 5 sekund. Średnio pojedynczy mięsień wykonał pracę równą  $W = 12 \text{ mJ} \pm 0,12 \text{ mJ}$ , wykazując gęstość mocy na poziomie około 90 W/kg.



Rys. 3. Działanie AMF; po lewej – rozkurcz (faza bierna), po prawej – skurcz (faza aktywna, ogrzanie), obciążenie – 60 g

### 4. Podsumowanie

Uzyskane dane pozwalają stwierdzić, że sztuczne włókna mięśniowe (AMF) wytworzone w opisanym procesie charakteryzują się następującymi właściwościami: niskim kosztem oraz prostotą produkcji, wysoką trwałością i stosunkowo dużą gęstością mocy (co najprawdopodobniej w toku dalszych prac można jeszcze poprawić).

Niskie koszty produkcji wynikają przede wszystkim z dostępności materiałów, takich jak nylonowa żyłka wędkarska, oraz stosunkowo nieskomplikowanego procesu wytwarzania, który nie wymaga zaawansowanej aparatury czy skomplikowanych technologii. Prosty proces skręcania i wygrzewania pozwala na szybkie i ekonomiczne wytwarzanie sztucznych mięśni na dużą skalę przemysłową.

Podsumowując, sztuczne włókna mięśniowe produkowane w opisany sposób oferują kombinację niskich kosztów, wysokiej trwałości oraz imponującej gęstości mocy, co czyni je obiecującym rozwiązaniem w różnych branżach technologicznych.

### Literatura

- [1] Park Ch.-L., Goh B., Kim E. S., Choi J., Kim S. H., *Carbon nanotube yarn with small outer diameter to maximize the electrochemical performance of artificial muscles*, Carbon, Vol. 220, p. 118775, 2024
- [2] Haines C. S., Lima M. D., Li N., Spinks G. M., Foroughi J., Madden J. D. W., Kim S. H., Fang S., Jung de Andrade M., Goktepe F., Goktepe O., Mirvakili S. M., Naficy S., Lepro X., Oh J., Kozlov M. E., Kim S. J., Xu X., Swedlove B. J., Wallace G. G., Baughman R. H., *Artificial Muscles from Fishing Line and Sewing Thread*, Science, Vol. 343, No. 6173, pp. 868-872, 2014