

Recenzja rozprawy doktorskiej pt. „Light-driven components and systems made of smart polymer materials” licencjata Mikołaja Rogóza, przygotowanej na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

Praca doktorska poświęcona jest obiektom o rozmiarach milimetrych i centymetrych, wykonanym z ciekłokrystalicznych elastomerów, które pod wpływem światła ulegają kontrolowanym deformacjom, umożliwiającym ich ukierunkowany ruch. Efekt ten uzyskuje się poprzez lokalne podgrzewanie materiału wiązką lasera, prowadzące do przejścia fazowego z fazy nematycznej do izotropowej. Zmiana ta powoduje lokalną modyfikację kształtu, która – przy odpowiednim złamaniu symetrii (np. przód/tył lub lewo/prawo) – przekłada się na sterowany kierunkowo ruch obiektu.

Złamanie symetrii można osiągnąć na różne sposoby, m.in. poprzez skanowanie materiału laserem w ustalonym kierunku (np. zawsze od tyłu do przodu), odpowiednie przygotowanie powierzchni kontaktowej, dobór czasu naświetlania lub zastosowanie nieregularnych odstępów czasowych w oświetleniu.

Doktorant wykazał, że możliwe jest skonstruowanie tzw. „soft robots”, których ruchy przypominają zachowania biologicznych organizmów – takich jak nartnik, ślimak czy gąsienica. W rozprawie zaprezentowano również rozwiązania umożliwiające realizację ruchu obrotowego.

Realizacja tych badań wymagała szerokiej wiedzy z zakresu optyki laserowej, inżynierii materiałowej, modelowania deformacji oraz znacznych umiejętności praktycznych. Uzyskanie Diamentowego Grantu umożliwiło autorowi podjęcie studiów doktoranckich bezpośrednio po zakończeniu etapu licencjackiego.

Rozprawa składa się z pięciu publikacji naukowych poprzedzonych obszernym wprowadzeniem w języku angielskim. Biorąc pod uwagę, że publikacje te zostały już ocenione pod kątem nowości naukowej przez recenzentów i redaktorów czasopism, moim głównym zadaniem jako recenzenta jest oszacowanie wkładu doktoranta w powstanie tych prac oraz weryfikacja, czy prezentowane w nich wyniki spełniają wysokie standardy naukowe Wydziału Fizyki UW.

W pierwszej publikacji pt. "Automated photo-aligned liquid crystal elastomer film fabrication with a low-tech, home-built robotic workstation" (Scientific Reports), doktorant figuruje jako czwarty autor. Może to sugerować ograniczony wkład, jednak współautorzy jednoznacznie wskazali, które elementy są autorstwa doktoranta. Gdyby nie te deklaracje, ocena zasadności uwzględnienia tej publikacji w dorobku rozprawy mogłaby być trudniejsza. Ostatecznie uznaję udział w tej publikacji za zasługujący na uwzględnienie w rozprawie.

Druga publikacja pt. "From Light-Powered Motors, to Micro-Grippers, to Crawling Caterpillars, Snails and Beyond – Light-Responsive Oriented Polymers in Action" (Materials), której doktorant jest pierwszym autorem, ma charakter przeglądowy. Choć tego typu artykuły zwykle nie stanowią głównego elementu rozprawy doktorskiej, warto docenić, że zawiera ona również niepublikowane wcześniej wyniki eksperymentalne dotyczące konstrukcji robotów z drutu miedzianego i ciekłokrystalicznych polimerów. Przedstawione konstrukcje naśladują ruch nartnika na powierzchni wody. Choć opis tych robotów mógłby być bardziej szczegółowy, zamieszczone zdjęcia dokumentują wykonane prace. Sama forma wydania artykułu w specjalnym numerze tematycznym budzi pewne wątpliwości związane z jego redakcyjnym/komercyjnym charakterem, jednak nie dyskwalifikuje to wkładu doktoranta.

Trzecia publikacja, pt. A Millimeter-Scale Snail Robot Based on a Light-Powered Liquid Crystal Elastomer Continuous Actuator, opublikowana w czasopiśmie Macromolecular Rapid Communications, koncentruje się na konstrukcji milimetrowych robotów wykonujących ruch pełzający. Ruch ten uzyskiwany jest poprzez lokalne naświetlanie ciekłokrystalicznego elastomeru światłem lasera, co indukuje przemianę fazową z fazy izotropowej do nematycznej. W wyniku tej zmiany materiał ulega skurczowi lub rozciągnięciu. Poprzez skanowania powierzchni robota wiązką lasera w kolejnych punktach, możliwe jest wygenerowanie ciągłego ruchu. Publikacja ta stanowi istotny element rozprawy doktorskiej i nie budzi zastrzeżeń, szczególnie że doktorant jest jej pierwszym autorem, co świadczy o jego kluczowym wkładzie w powstanie pracy.

Czwarta publikacja, pt. Traveling Wave Rotary Micromotor Based on a Photomechanical Response in Liquid Crystal Polymer Networks, opublikowana w prestiżowym czasopiśmie ACS Applied Materials and Interfaces, przedstawia konstrukcję milimetrowego mikrosilnika wykonującego ruch obrotowy. Podobnie jak w poprzednich pracach, materiałem konstrukcyjnym rotora jest ciekłokrystaliczny polimer, natomiast źródłem energii pozostaje światło laserowe. Jego lokalne oddziaływanie termiczne wywołuje przejście fazowe z fazy nematycznej do izotropowej, co prowadzi do kontrolowanej deformacji materiału.

Ruch obrotowy rotora uzyskiwany jest dzięki zastosowaniu obracającego się lustra, które kieruje wiązkę lasera wzdłuż pierścienia. W efekcie powstaje przemieszczenie deformacji w przestrzeni, nadające rotorowi ruch wirowy. Modelowanie deformacji przeprowadzono przy użyciu oprogramowania COMSOL.

Doktorant jest pierwszym autorem publikacji, razem z członkinią zespołu badawczego. Na podstawie miejsca na liście autorów oraz oświadczeń współautorów wynika, że doktorant odegrał wiodącą rolę w realizacji badań.

W ostatniej, piątej publikacji pt. „Light-Driven Linear Inchworm Motor Based on Liquid Crystal Elastomer Actuators Fabricated with Rubbing Overwriting” w czasopiśmie *Materials* doktorant jest zarówno pierwszym jak i korespondencyjnym autorem. Praca opisuje centymetrowego robota poruszającego się ruchem gąsienicy.

We wstępie do rozprawy zabrakło, moim zdaniem, bardziej szczegółowego omówienia mechaniki badanych ruchów, a także oszacowania stosunku mocy generowanej przez robota (np. obliczonej na podstawie sił tarcia działających podczas ruchu) do energii pochłanianej przez materiał ciekłokrystaliczny w jednostce czasu. Tego typu analiza mogłaby pomóc w pełniejszym zrozumieniu efektywności energetycznej prezentowanych rozwiązań. Uzupełnienie pracy o porównanie z osiągnięciami robotów w skali nano i makro również wzbogaciłoby jej kontekst naukowy.

Nie mam zastrzeżeń co do formy rozprawy opartej na publikacjach, zwłaszcza jeśli doktorant jest ich głównym autorem. Warto jednak zaznaczyć, że tego typu konstrukcja pracy najlepiej sprawdza się, gdy autorstwo ogranicza się do doktoranta i promotora – pozwala to jednoznacznie ocenić indywidualny wkład doktoranta.

Na koniec chciałbym odnieść się do fragmentu podziękowań, w którym autor pisze: “I wish to thank Fluence Technology for showing me how effectively I can work in a rapid, results-oriented environment. Working there helped me realize that my earlier slowness was a feature of academic workflows rather than a personal limitation.”

Choć osobiste refleksje są naturalnym elementem podziękowań, warto unikać sformułowań, które mogą być odczytane jako krytyczne wobec środowiska, w którym powstawała rozprawa. Bardziej neutralny ton w tym miejscu byłby, moim zdaniem, bardziej adekwatny.

Podsumowując: **rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim**. Stawiam wniosek o dopuszczenie lic. Mikołaja Rogoża do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. dr hab. Robert Hołyst,

rhozyst@ichf.edu.pl

Kierownik Zakładu Fizykochemii Miękkiej Materii,

Instytut Chemii Fizycznej PAN, Kasprzaka 44/52, 01-224 Warszawa