

Warszawa, dn. 28.11.2025

Prof. dr hab. inż. Stanisław J. Kłosowicz
Instytut Fizyki Technicznej
Wojskowej Akademii Technicznej
ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego
00-908 Warszawa

RECENZJA

rozprawy doktorskiej lic. Mikołaja Rogóza pod tytułem:

“Light-driven components and systems made of smart polymer materials”

Recenzja rozprawy doktorskiej lic. Mikołaja Rogóza została wykonana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Warszawskiego (pismo z dn. 17.10.2025), wynikające z uchwały Rady Dyscypliny Naukowej podjętej na podstawie ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2021 z późn. zmianami). Autor był beneficjentem Diamentowego Grantu MNiSzW (decyzja 0150/dia/2017/46).

Rozprawa jest oparta na cyklu 5 spójnych tematycznie publikacji, których współautorem jest doktorant. Badania przedstawione w rozprawie przeprowadzono głównie w Pracowni Struktur Nanofotonicznych Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. Piotr Wasylczyk.

Charakterystyka ogólna rozprawy

Rozprawa doktorska Pana lic. Mikołaja Rogóza jest poświęcona wykorzystaniu ciekłokrystalicznych polimerów do wytwarzania mikrobotów sterowanych termicznie z pomocą wiązki laserowej. Badania i ich wyniki przedstawione w rozprawie mają charakter doświadczalny i zostały opublikowane.

Ocena formalna rozprawy

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa jest zwartym opracowaniem napisanym w języku angielskim, uzupełnionym o streszczenie w języku polskim. Kluczową część opracowania stanowi syntetyczny przewodnik po obszarze badawczym uzupełniony zbiorem 5 oryginalnych i spójnych tematycznie publikacji. Całość obejmuje 86 stron tekstu podstawowego wraz z cytowaną literaturą. Rozprawa zawiera łącznie 39 rysunków ilustrujących stosowane i opracowane metody badawcze oraz otrzymane wyniki.

Przedstawiane w rozprawie publikacje to dzieła wieloautorskie, co jest obecnie normą, zwłaszcza w badaniach o charakterze interdyscyplinarnym i aplikacyjnym. Mikołaj Rogóż jest pierwszym autorem w trzech spośród nich, ponadto lektura rozprawy oraz załączonych oświadczeń współautorów, pozwala stwierdzić, że był on wiodącym twórcą zarówno koncepcji prac, jak i wyników doświadczalnych.

Układ pracy jest poprawny metodycznie, a tekst wprowadzenia jest napisany w sposób zwięzły i czytelny. Od strony formalnej rozprawa spełnia moim zdaniem wymogi ustawowe.

Ocena merytoryczna rozprawy

Autor we wstępie przedstawił zakres tematyki badawczej wraz z odniesieniami literaturowymi oraz sformułował dwa główne cele badawcze, które zamierzał zrealizować:

1. „Rozwinięcie metod wytwarzania umożliwiających programowalne zmiany kształtu i precyzyjne uporządkowanie molekularne w dużej skali w elementach zawierających polimery ciekłokrystaliczne”,
2. „Integracja elementów w układach zawierających polimery ciekłokrystaliczne, jak sterowane światłem elementy wykonawcze, silniki i roboty”.

W dalszej części opracowania Autor omówił podstawowe wiadomości o wykorzystywanych materiałach oraz kolejne zadania realizowane przez siebie. Stosowana poniżej numeracja rozdziałów pochodzi od recenzenta.

W pierwszym rozdziale Mikołaj Rogóż przedstawił podstawowe informacje literaturowe o polimerach ciekłokrystalicznych i ich właściwościach, podkreślając

anizotropowe cechy tych materiałów. Skoncentrował się na elastomerach ciekłokrystalicznych, którymi zajmował się realizując badania będące podstawą rozprawy, a które stanowią klasę materiałów inteligentnych, mogących naśladować pracę mięśni w wyniku programowalnych zmian kształtu próbki. Zwraca uwagę zwięzły opis najważniejszych cech tych materiałów, zrozumiały również dla osób, które dotychczas nie zetknęły się z materiałami ciekłokrystalicznymi.

Rozdział drugi przybliży czytelnikowi podstawy teoretyczne opisu polimerów ciekłokrystalicznych oparte na ogólnej teorii stanu ciekłokrystalicznego, sformułowanej przez de Gennesa. Autor przywołuje tu rozwinięcie klasycznego modelu sprężystości elastomerów na struktury elastomerów ciekłokrystalicznych, uwzględniające statystyczny charakter elastyczności molekuł tworzących takie fazy, a w konsekwencji gęstość swobodnej energii deformacji. Prowadzi to do sformułowania tensora deformacji elastomeru ciekłokrystalicznego. Końcowy fragment tego rozdziału zawiera zasadniczą dla treści rozprawy informację o związku budowy molekularnej elastomeru z charakterem jego odkształcenia na poziomie nadmolekularnym.

W rozdziale trzecim Doktorant omówił metody otrzymywania uporządkowanych struktur polimerów ciekłokrystalicznych. To zagadnienie o kapitalnym znaczeniu dla wykorzystania unikatowych właściwości faz ciekłokrystalicznych, gdyż tylko wówczas uwidaczniają się ich cechy anizotropowe. Warto podkreślić, że techniki porządkowania polimerów ciekłokrystalicznych, mimo pozornego podobieństwa, różnią się od analogicznych metod dla materiałów małowcząsteczkowych. W drugiej części tego rozdziału Autor omówił bardzo ważne dla tematyki rozprawy metody otrzymywania zróżnicowanych wzorów uporządkowania w warstwach elastomerów ciekłokrystalicznych.

Uważam, że wprowadzenie literaturowe powinno stanowić nie tylko „obowiązkową” część rozprawy doktorskiej, ale w równym stopniu powinno pełnić rolę cennej pomocy, zwłaszcza dla studentów i doktorantów stawiających pierwsze kroki w omawianej tematyce. Ten warunek rozprawa spełnia bardzo dobrze.

Po analizie wiedzy literaturowej dotyczącej materiałów i metod badawczych w obszarze elastomerów ciekłokrystalicznych Autor płynnie przechodzi do opisu zrealizowanych przez siebie zadań na podstawie załączonych publikacji, w porządku nie tyle chronologicznym, co logicznym.

Pierwsza publikacja („Automated photo-aligned liquid crystal elastomer film fabrication with a low-tech, home-built robotic workstation”) przedstawia oryginalne urządzenie do wytwarzania warstw elastomerów ciekłokrystalicznych o zadanym wzorze uporządkowania nadmolekularnego. Zastosowana procedura polega na wytworzeniu za pomocą fotoorientacji zaprogramowanego wzoru na warstwach porządkujących naniesionych na podłoża szklane, montaż komórki pomiarowej o zadanej grubości, napełnienie komórki prepolimerem metodą kapilarną i usieciowanie prepolimeru światłem UV. Opracowane urządzenie znacznie usprawnia przygotowanie próbek, a ponadto może stanowić punkt wyjścia dla projektowania urządzeń o skali przemysłowej.

Publikacja druga („From light-powered motors, to micro-grippers, to crawling caterpillars, snails and beyond – light-responsive oriented polymers in action”) dotyczy głównego zagadnienia rozprawy, jakim jest opracowanie robotów sterowanych światłem. Warto tu podkreślić, że tematyka sterowania właściwościami różnorodnych układów za pomocą światła jest intensywnie badana, ze względu zarówno na prostotę systemową, jak i możliwość kodowania informacji w wiązce świetlnej. Autor przedstawił opracowane przez siebie mikroboty realizujące modele ruchu istot żywych, m.in. gąsienicy, ślimaka i nartnika z wykorzystaniem „silników” wykorzystujących odkształcenia elastomeru ciekłokrystalicznego sterowanych światłem o zróżnicowanych parametrach.

W tym samym nurcie mieści się również publikacja trzecia („A millimeter-scale snail robot based on light-powered liquid crystal elastomer continuous actuator”).

Publikacje czwarta („Travelling wave rotary micromotor based on photomechanical response in liquid crystal polymer networks”) oraz piąta („Light-driven linear inchworm motor based on liquid crystal elastomer actuators fabricated with rubbing overwriting”) rozwijają zagadnienie fotoindukowanej deformacji elastomerów ciekłokrystalicznych w kierunku budowy mikrosilników sterowanych światłem. Autor zaprezentował tu alternatywne rozwiązania praktyczne wykazując się dużymi zdolnościami inżynierskimi.

W tym miejscu w tekście recenzji pojawia się zwykle zdanie rozpoczynające się od „Autor nie ustrzegł się....”, które sugeruje, iż recenzent nader dokładnie przeczytał tekst rozprawy. I tak, wielokrotnie użyte słowo „fabrication” sugeruje technologię przemysłową, może wystarczyłoby „preparation”? Niezależnie od załączonego wykazu

skrótów zazwyczaj przy pierwszym użyciu nazwę pisze się w pełnym brzmieniu (str. 22, DLW, DLP, DIW) dla ułatwienia lektury czytelnikowi, który nie jest specjalistą. Z przyjemnością stwierdzam, że nie udało mi się dostrzec innych istotnych braków redakcyjnych.

Natomiast moim zdaniem, być może konserwatywnym, cele rozprawy doktorskiej powinny wynikać z uprzednio postawionej tezy i ewentualnie wynikających z niej hipotez badawczych. Teza, której tu zabrakło, winna stanowić zasadniczy element realizacji samodzielnego zadania badawczego, w tym przypadku głównie eksperymentalnego, której podsumowaniem jest rozprawa doktorska.

Wnioski i konkluzja końcowa

Nadanie stopnia doktora stanowi wyraz przekonania, że pracownik naukowy jest w pełni przygotowany do samodzielnego rozwiązywania oryginalnych zadań badawczych.

Lic. Mikołaj Rogóż wykazał, że warunek ten spełnia, gdyż opanował: umiejętność korzystania z literatury przedmiotu, sposób opracowania koncepcji rozwiązania postawionego problemu, a także doboru materiałów i metod doświadczalnych, metodykę poprawnego zaprojektowania i przeprowadzenia eksperymentów, zasady logicznego i zwięzłego w formie sformułowania wniosków końcowych, a wreszcie umiejętność sporządzenia raportu z badań.

Zadanie, które postawił sobie doktorant, było niełatwe, a przy tym szeroko zakrojone i wymagające opanowania zarówno wiedzy, jak i techniki eksperymentalnej. Mikołaj Rogóż zaprezentował się właśnie jako utalentowany eksperymentator, odważnie podejmujący się twórczego rozwiązywania problemów badawczych, aktualnych w skali światowej.

Warto jeszcze raz podkreślić, że dziś w obszarze nauk doświadczalnych słowo „samodzielnie” nie oznacza osobiście, bowiem umiejętność stworzenia zespołu i współpracy w tym zespole jest również świadectwem dojrzałości naukowej.

W konkluzji stwierdzam, że rozprawa doktorska lic. Mikołaja Rogóża zatytułowana „Light-driven components and systems made of smart polymer materials” spełnia wymogi stawiane w art. 187 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym

i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (tekst jednolity Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.). W związku z powyższym wnioskuję o przyjęcie niniejszej rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Stanisław Wozowicz