

dr hab. inż. Jerzy Weremczuk, prof. uczelni
Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Instytut Systemów Elektronicznych
ul. Nowowiejska 15/19
00-665 Warszawa

Warszawa, 25.05.2026

Recenzja rozprawy doktorskiej

Tytuł rozprawy: „*Technologia transdermalnego dostarczania leku za pomocą plastra mikroigłowego połączona z diagnostyką do zastosowania w medycynie weterynaryjnej.*”

Autor rozprawy: **mgr inż. Justyna Kornicka**

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, Politechnika Wrocławska z dnia 16.03.2026 r.

1. Jakie zagadnienie naukowe/badawcze jest rozpatrzone w pracy (cel, teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez Autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Autorka, jako zasadniczy cel badawczy pracy, przyjęła przeprowadzenie kompleksowych badań nad technologią strumieniowego druku 3D (wariant DLP) i wykazaniu jej przydatności do opracowania wybranych mikrosystemów dla medycyny weterynaryjnej. Przyjęty zakres prac jest obszerny i wielowątkowy, ponieważ łączy wiedzę zarówno z obszaru mikrosystemów, optoelektronicznych układów pomiarowych jak i biologii molekularnej.

Rozprawa nie ma postawionej tezy, co jest typowe dla prac technologiczno-konstrukcyjnych. Autorka, natomiast, formułuje dwa zasadnicze cele, które dotyczą rozwoju konstrukcji:

- rozpuszczalnych plastrów mikroigłowych przeznaczonych do transdermalnego podawania substancji aktywnych,
- systemów diagnostycznych lab-on-chip wykorzystujących reakcję izotermicznej amplifikacji kwasów nukleinowych metodą RT-LAMP (ang. reverse transcription loop-mediated isothermal amplification).

Rozpatrywane w rozprawie zagadnienia mieszczą się w głównym nurcie rozwoju technik wytwarzania mikrosystemów (opracowanie materiałów o programowanych właściwościach mechanicznych i biologicznych, budowa optoelektronicznych mikrofluidycznych systemów diagnostycznych). Rozprawa ma charakter technologiczno-konstrukcyjny z dużym udziałem prac doświadczalnych.

RDW AEETK / 26/05/2026

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczący o dostatecznej wiedzy Autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Zamieszczona bibliografia dotyczy dziedzin związanych z obszarem tematycznym rozprawy, jest aktualna i bardzo obszerna. Obejmuje 232 wybrane przez Autorkę pozycje. Zdecydowana większość pozycji bibliografii została zaczerpnięta z najnowszej literatury światowej z ostatnich pięciu lat.

Dobór literatury jest prawidłowy. Cytowane pozycje świadczą o dobrej orientacji Autorki w kierunkach prowadzonych nas świecie prac badawczych. Wyniki prac opisanych w literaturze zostały porównane na licznych rysunkach i w tabelach. Literatura została użyta w sposób właściwy. Wnioski z przeglądu źródeł, które podsumowują rozdziały wstępne, zasadniczo zostały sformułowane w sposób jasny i przekonujący.

3. Czy Autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Przyjęty dwa, zasadnicze cele prac zostały zrealizowane poprzez opracowanie i przebadanie plastrów mikroigłowych i miniaturowego systemu diagnostycznego.

Autorka zaprojektowała różne geometrie drukowanych igieł. Wykorzystując druk 3D w wariancie DLP (ang. digital light processing) przygotowała matryce testowe a następnie po wstępnych badaniach wytypowała struktury o kształcie stożkowym i piramidalnym. Matryce te posłużyły do wykonania mikro form z PDMS (polidimetylosiloksanu). Silikonowe matryce następnie były zalewane mieszaninami biodegradowalnych i biokompatybilnych polimerów PVP (poliwinylopirolidonu) oraz PVA (alkoholu poliwinylowego) zmieszanych w różnych proporcjach. Wykonane, w opracowanym procesie mikroformowania, plastry były wszechstronnie przebadane.

Autorka wyznaczyła odchylenia wymiarów wykonanych struktur igieł od drukowanych struktur wzorcowych. Uzyskano niewielkie odchylenia geometryczne wymiarów (rzędu kilku procent) i wystarczającą ostrość czubka, pozwalającą na przebicie skóry. Następnie przeprowadzono ocenę stabilności mechanicznej mikroigieł oraz testy rozpuszczalności w warunkach symulujących kontakt ze skórą. Jako substancję czynną wykorzystano rodaminę. Badania wykazały, że po kilku minutach następuje całkowite uwolnienie rodaminy a proces jest powtarzalny w serii wykonanych mikroigieł.

Opracowany w ramach rozprawy miniaturowy system diagnostyczny bazował na reakcji RT-LAMP. Autorka zaprojektowała różne warianty komór przepływowych umożliwiających prowadzenie reakcji w celu wykrywania wirusów zwierzęcych. Zdecydowano się na fluorescencyjny odczyt przebiegu reakcji w czasie rzeczywistym. W tym celu zestawiono stanowisko optoelektroniczne. Na podstawie obrazów intensywności fluorescencji poszczególnych komór wnioskowano o wykryciu wirusa. Wyznaczono miejsca analizy obrazu o największym zróżnicowaniu odpowiedzi dla próbek z i bez wirusa. Przeprowadzono optymalizację konstrukcji chipa mikrofluidycznego i sposobu wzbudzania fluorescencji próbek.

Przyjęte w rozprawie założenia i metody są właściwe.

Praca jest wielowątkowa i bardzo obszerna, więc zrozumiałe jest, że pewne zagadnienia nie były opisywane bardzo szczegółowo. W mojej ocenie, jednak warto by było szerzej przedstawić następujące problemy:

1. Autorka opierając się na jakości odwzorowania kształtu, z kilku opracowanych projektów mikroigieł, wybrała struktury stożkowe i piramidalne. Może warto by było przeanalizować (np. symulacyjnie) wpływ geometrii igły na powstawanie naprężeń w strukturze w trakcie przebijania naskórka. W warunkach rzeczywistych mamy do czynienia z powierzchniami zakrzywionymi czy przesunięciami wzdłuż powierzchni w czasie aplikowania plastra. W takich warunkach oprócz sił zgniatających będą pojawiały się siły ścinające działające równoległe do powierzchni. W efekcie może to skutkować pęknięciami w strukturze igły lub złamaniem jej stożka. Czy opracowane igły będą miały zróżnicowane podatności na uszkodzenia mechaniczne w zależności od geometrii (kształt, wysokość w stosunku do szerokość podstawy)?
2. Optymalizując koszt procesu mikroformowania zakłada się wielokrotne wykorzystanie tej samej matrycy wykonanej z PDMS. Orientacyjnie w jakim czasie (liczba wykonanych kopii) będzie możliwe stosowanie jednej matrycy bez wyraźnej utraty jakości odwzorowania ostrza?
3. Autorka wykazała, że następuje zmniejszenie wymiarów odlewanych mikroigieł w stosunku do projektu matrycy. W jakim stopniu o zaobserwowanych odchyleniach decyduje niedoskonałość wydruku, deformacja matrycy PDMS oraz skurcz mikroigieł w czasie utwardzania. Co jest głównym czynnikiem zmiany geometrii ?
4. PVP i PVA zastosowane do formowania biodegradowalnych mikroigieł są to wysoce hydrofilowe polimery o doskonałej rozpuszczalności w wodzie. Jest to niewątpliwą zaletą bo w trakcie kontaktu ze skórą (płynami fizjologicznymi) następuje szybkie rozpuszczenie struktur mikroigieł i uwolnienie substancji czynnej. Ta cecha jest jednak niekorzystna jeżeli chodzi o przechowywanie plastrów w warunkach normalnych kiedy w powietrzu jest zawarta para wodna. Jakie powinny być warunki przechowywania docelowych plastrów zapewniające ich długą trwałość? Jaki powinien być maksymalny dopuszczalny czas aplikacji plastra po wyjęciu go z opakowania ochronnego?
5. W trakcie prac optymalizacyjnych optoelektronicznego układu pomiarowego wykazano, że najsilniejszy sygnał fluorescencji jest obserwowany w otworach odpowietrzających. Czy poziom cieczy w takim pionowym otworze wpływa na natężenie światła wzbudzonego? Czy obserwowano pęcherzyki powietrza w tych otworach, które mogą skutkować rozpraszaniem strumienia światła?
6. Istotnym problemem pomiarowym optoelektronicznego układu mikrofluidycznego jest rozpraszanie fluorescencji na niejednorodnościach powierzchni kanałów i reaktora zawierających próbkę. Światło rozproszone może przenikać do sąsiednich torów. Czy udział światła rozproszonego istotnie wpływa na wartości odczytowe (wynik detekcji) w kanałach odpowietrzających, które zostały wybrane jako najlepsze miejsce do prowadzenia pomiarów?

Reasumując, uważam, że przedstawione przez Autorkę zagadnienia, dobierając odpowiednie narzędzia i metody badawcze, zostały w pełni rozwiązane. Autorka wykazała się

szeroką wiedzą z obszaru zagadnień obejmujących problematykę konstrukcji mikrosystemów, technologii druku 3D, optoelektronicznych układów diagnostycznych oraz biologii molekularnej. Wymienione powyżej uwagi nie umniejszają wysokiej wartości przedłożonej rozprawy.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek Autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Zaproponowane przez Autorkę konstrukcje mikrosystemów w celu wykorzystania ich w weterynarii oraz technologia wytworzenia za pomocą druku 3D (DLP) są oryginalne. Do najważniejszych osiągnięć zaliczam:

- opracowanie technologii wytwarzania rozpuszczalnych plastrów mikroigłowych przeznaczonych do transdermalnego dostarczania leków lub innych substancji aktywnych,
- opracowanie miniaturowego mikrofluidycznego, optoelektronicznego systemu diagnostycznego wykorzystującego reakcję izotermicznej amplifikacji kwasów nukleinowych metodą RT-LAMP.

Warto również podkreślić, że prace Autorki mają duży potencjał aplikacyjny. Wykonane przez Autorkę przenośne urządzenie diagnostyczne, po niezbędnych modyfikacjach i uzupełnieniach konstrukcyjnych, będzie mogło być stosowane bezpośrednio w miejscu opieki (POC) do np. szybkiego wykrywania patogenów. Opracowane w ramach rozprawy rozwiązania mogą być podstawą do dalszego rozwoju w kierunku zintegrowanych urządzeń diagnostyczno-leczniczych nowej generacji.

Z punktu widzenia oceny poziomu rozprawy istotne jest również, że Autorka, w swoim dorobku naukowym, posiada dwa artykuły współautorskie związane bezpośrednio z tematyką przedłożonej rozprawy, które zostały wydane w bardzo dobrych międzynarodowych czasopismach z listy JCR:

1. Justyna K. Kornicka, Patrycja J Śniadek, Rafał Walczak From human to veterinary medicine: expanding the role of microneedle drug delivery and diagnostic systems. *Advanced Materials Technologies* **2026** art. e02478, s. 1-31. (100 pkt. MNiSW)
2. Justyna K. Kornicka, Patrycja J Śniadek, Krzysztof Marycz, Rafał Walczak Dissolving microneedles fabricated from 3D-printed master molds for application in veterinary medicine. *Scientific Reports* **2025** vol. 15, art. 14102, s. 1-15. (140 pkt. MNiSW)

Na podkreślenie zasługuje też udział Autorki rozprawy w znaczących międzynarodowych konferencjach naukowych (min. takich jak Eurosensors 2025) oraz współautorstwo w trzech innych wysoko punktowanych publikacjach naukowych (po 140 pkt. MNiSW).

5. Czy Autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięźłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Rozprawa przedstawiona jest na 140 stronach i biorąc pod uwagę bardzo szerokie spektrum zagadnień z obszaru biologii i mikrosystemów jest napisana zwięźle. Cele pracy zostały sformułowane na początku rozprawy. Następnie zamieszczono obszernie wprowadzenie w tematykę badań i prowadzonych prac konstrukcyjnych (34 strony). Kolejną, zasadniczą częścią rozprawy, są dwa rozdziały: 6 poświęcony plasterom mikroigłowym i 7 przedstawiający wykonane modele urządzenia diagnostycznego stosującego reakcję RT-LAMP (łącznie 75 stron). Wnioski końcowe, bibliografia i załączniki kończą tekst rozprawy.

Od strony redakcyjnej nie zauważyłem większych uchybień. Z tych drobniejszych chciałbym wskazać na:

- rysunek 53 jest zasadniczo powtórzeniem rysunku 40 (z dokładnością do dodanego modułu płyty grzejnej),
- mały rozmiar rysunków (zrzutów z ekranu) zamieszczonych w załącznikach nie pozwala na odczyt wartości liczbowych na osiach wykresów w wersji drukowanej rozprawy (wersja elektroniczna, przy dużym powiększeniu, umożliwia odczyt tych wartości),
- zastosowano inną pisownię odnośnika do pozycji literatury numer 144,
- wskazane byłoby umieszczenie RFU w spisie akronimów,
- literówki np. na str. 98 na dole.

Przedstawione dyskusje literatury i uzyskanych wyników są wyczerpujące i świadczą o dobrej znajomości przez Autorkę problematyki rozprawy. Praca napisana jest dobrym językiem. Niewielka liczba potknięć nie wpływa na ogólną bardzo dobrą ocenę strony redakcyjnej rozprawy.

6. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Praca ma duże znaczenie poznawcze w tematyce technologii mikrosystemów w zastosowaniach dla wytwarzania za pomocą druku 3D plasterów mikroigłowych służących do transdermalnego dostarczania leków i konstrukcji tanich systemów diagnostycznych z uwzględnieniem specyficznych wymagań weterynarii. Wykorzystując zgromadzoną wiedzę technologiczną i projektową opracowano i przebadano autorskie konstrukcje mikrosystemów. Prace eksperymentalne przedstawione w rozprawie potwierdzają, że opracowana technologia może w dalszej perspektywie zostać wdrożona do produkcji.

7. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c) spełniająca wymagania
- d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

8. Podsumowanie

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa mgr. inż. Justyny Kornickiej p.t.: „Technologia transdermalnego dostarczania leku za pomocą plastra mikroigłowego połączona z diagnostyką do zastosowania w medycynie weterynaryjnej” posiada wysoki poziom naukowy i bez wątpliwości spełnia wymagania Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Rozprawa stanowi oryginalne, na skalę światową, rozwiązanie problemów naukowych i wskazuje na wysoki poziom wiedzy teoretycznej i inżynierskiej, a także potwierdza umiejętność prowadzenia prac naukowych przez Autorkę. Tę opinię wspiera fakt posiadania przez Autorkę istotnego, wyróżniającego dorobku publikacyjnego. Przedstawione osiągnięcia rozprawy lokują ją w pełni w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Wnioskuje o dopuszczenie mgr. inż. Justyny Kornickiej do publicznej obrony rozprawy.

