

**Modlnica 26.01.2026**

Prof. dr hab. inż. Marek Wojnicki

Wydział Metali Nieżelaznych

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Recenzja rozprawy doktorskiej

**Pana mgr. inż. Mateusza Łysienia**

pt. *"Metal Nanoparticles in Additive Manufacturing of Conductive Features at the Micrometer Scale by Precise Deposition Method"*

**Promotor:** Prof. dr hab. Wiesław Stręk

Recenzja do upublicznienia sporządzona zgodnie z § 1 umowy nr DZ.1142.57.2025 oraz § 8 ust. 2 Regulaminu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

## **1. Charakterystyka ogólna i struktura pracy**

Przedłożona do oceny dysertacja doktorska liczy 232 strony i została napisana w języku angielskim. Praca posiada przejrzystą i logicznie uporządkowaną strukturę, obejmującą dwie zasadnicze części: literaturową (rozdziały 1–7) oraz eksperymentalną (rozdziały 8–12), a także podsumowanie i wnioski końcowe oraz obszerny wykaz literatury.

Rozprawa zawiera 148 rysunków oraz 37 tabel, co świadczy o dużym zakresie przeprowadzonych analiz oraz o starannej dokumentacji wyników. Wykaz literatury obejmuje 343 pozycje, co należy uznać za bardzo obszerny i aktualny przegląd światowego dorobku w zakresie elektroniki drukowanej, nanomateriałów metalicznych oraz technologii bezpośredniego osadzania materiałów funkcjonalnych. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że Autor rozprawy jest współautorem 8 publikacji naukowych oraz 6 zgłoszeń patentowych lub patentów związanych z tematyką pracy, co potwierdza wysoki stopień zaawansowania badań oraz ich potencjał aplikacyjny i wdrożeniowy.

Część literaturowa stanowi obszerne i systematyczne wprowadzenie do zagadnień elektroniki drukowanej oraz metod bezpośredniego osadzania materiałów (Direct Deposition), ze szczególnym uwzględnieniem technologii Ultra-Precise Dispensing (UPD). Autor omawia właściwości nanomateriałów stosowanych w elektronice, mechanizmy ich syntezy, stabilizacji koloidalnej oraz wpływ parametrów fizykochemicznych na właściwości użytkowe i procesowe.

Część eksperymentalna, objęta klauzulą poufności, dotyczy opracowania nanomateriałów oraz formulacji atramentów i past przewodzących, a także badań ich właściwości użytkowych po procesie druku i obróbki końcowej. Struktura tej części jest spójna i podporządkowana jasno zdefiniowanemu celowi aplikacyjnemu.

Całość rozprawy cechuje konsekwencja tematyczna, wyraźne ukierunkowanie na rozwiązanie konkretnego problemu technologicznego oraz wysoki stopień dojrzałości inżynierskiej Autora.

## **2. Ocena merytoryczna**

Doktorant w swojej pracy wykazuje się rozległą wiedzą na temat procesu wytwarzania atramentów przewodzących oraz technologii ich aplikacji. Niewątpliwym walorem pracy jest jej silny charakter aplikacyjny. Autor nie ogranicza się jedynie do syntezy laboratoryjnej, ale kładzie duży nacisk na aspekty technologiczne, takie jak stabilność dyspersji, reologia past w

kontekście specyficznych wymagań głowic drukujących oraz końcowe parametry elektryczne wydrukowanych ścieżek.

Należy jednak zauważyć, że praca ma charakter inżynierski i wdrożeniowy, co wiąże się z pewnymi ograniczeniami w warstwie naukowo-poznawczej. Podejście autora do samej syntezy chemicznej nosi znamiona traktowania procesu jako "czarnej skrzynki", bez głębszego wnikania w mechanizmy reakcji, kinetykę wzrostu ziaren czy szczegółową termodynamikę procesów zarodkowania. Takie podejście ma swoje niezaprzeczalne zalety w środowisku przemysłowym – pozwala znacząco ograniczyć czas i koszty badań, co jest kluczowe w projektach R&D. Wadą takiego rozwiązania jest jednak ograniczenie możliwości w pełni świadomej kontroli procesu na poziomie molekularnym, co może utrudniać rozwiązywanie problemów w przypadku wystąpienia nieprzewidzianych odchyłeń w produkcji.

W pracy brakuje wielu szczegółów technicznych i proceduralnych. Część z tych braków można rzucić na karb klauzuli poufności (praca powstawała w ścisłej współpracy z firmą XTPL), jednak w niektórych miejscach rodzi to niedosyt i utrudnia pełną weryfikację poprawności wyciąganych wniosków. Mimo to, zaprezentowane wyniki bronią się swoją użytecznością.

### **3. Uwagi redakcyjne i formalne**

Szata edytorska pracy, choć generalnie poprawna, zawiera pewne niedociągnięcia, które w rozprawie doktorskiej nie powinny mieć miejsca. Tytuły rozdziałów są sformułowane w sposób bardzo zdawczy, często na pograniczu żargonu laboratoryjnego.

Jaskrawym przykładem jest tutaj rozdział oznaczony jako "**11.2.3. UV-VIS**". Tego typu tytułowanie jest dalekie od przyjętych standardów akademickich. Po pierwsze, formalnie poprawny zapis to UV-Vis (gdyż skrót Vis pochodzi od słowa *Visible* – światło widzialne). Po drugie, użycie samego akronimu jako tytułu podrozdziału w doktoracie jest błędem stylistycznym; tytuł powinien odnosić się do przedmiotu badań (np. "Analiza spektroskopowa UV-Vis"), a nie tylko do nazwy techniki. Choć jest to uwaga natury redakcyjnej, rzutuje ona na ostateczny odbiór staranności przygotowania dokumentu.

### **4. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Mimo wskazanych powyżej uwag, dotyczących głównie ograniczonego zakresu analizy mechanistycznej oraz drobnych usterek redakcyjnych, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Mateusza Łysienia stanowi oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowo-

technologicznego w obszarze elektroniki drukowanej oraz wytwarzania funkcjonalnych struktur przewodzących z wykorzystaniem nanomateriałów metalicznych.

Praca dowodzi posiadania przez Doktoranta zaawansowanej wiedzy teoretycznej w zakresie chemii nanomateriałów, fizykochemii koloidów, właściwości reologicznych układów dyspersyjnych oraz procesów formowania i obróbki materiałów funkcjonalnych. Autor wykazuje również znajomość aktualnego stanu wiedzy, co znajduje odzwierciedlenie w obszernym i właściwie dobranym przeglądzie literatury światowej.

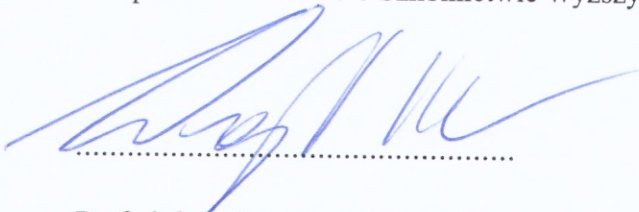
Rozprawa jednoznacznie potwierdza zdolność Doktoranta do samodzielnego planowania i prowadzenia badań o charakterze eksperymentalnym, interpretacji uzyskanych wyników oraz ich implementacji w kontekście aplikacyjnym. Szczególnie istotna jest umiejętność łączenia aspektów chemicznych, materiałowych i technologicznych w spójny, funkcjonalny model rozwiązania problemu.

Praca została poprawnie sformułowana pod względem merytorycznym, posiada właściwą strukturę i logiczny układ treści. Zastosowana metodologia jest adekwatna do postawionych celów badawczych, a wyciągnięte wnioski pozostają spójne z przedstawionymi wynikami.

Wkład rozprawy w rozwój dyscypliny nauki chemiczne polega na rozwinięciu i uporządkowaniu wiedzy dotyczącej formulacji i aplikacji nanomateriałów metalicznych w technologiach precyzyjnego osadzania, a także na praktycznym zweryfikowaniu rozwiązań umożliwiających wytwarzanie przewodzących struktur w skali mikrometrycznej. Uzyskane rezultaty mają znaczenie zarówno poznawcze, jak i aplikacyjne, stanowiąc istotny krok w kierunku dalszego rozwoju zaawansowanych technologii materiałowych.

## Wniosek końcowy

Reasumując, stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska Pana Mateusza Łysienia, pod tytułem *"Metal Nanoparticles in Additive Manufacturing of Conductive Features at the Micrometer Scale by Precise Deposition Method"* odpowiada swoim poziomem naukowym i metodycznym wymaganiom ustawowym i zwyczajowym stawianym pracom doktorskim. Rozprawa doktorska spełnia warunki określone w art. 187 ust. 1-4 ustawy z dnia 20 lipca 2018 - Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (t. j. Dz. U. z 2018 r. poz. 1668).



Prof. dr hab. inż. Marek Wojnicki