



Warszawa, 29.04.2024

Dr hab. inż. Ryszard Piramidowicz, prof. PW  
Politechnika Warszawska  
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
DLA RADY NAUKOWEJ INSTYTUTU NISKICH TEMPERATUR I BADAŃ STRUKTURALNYCH  
IM. WŁODZIMIERZA TRZEBIATOWSKIEGO  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

**Tytuł rozprawy:** Evaluation of luminescent properties of photon avalanching nano-, micro- and bulk crystals: novel materials, characterization methods and applications

**Autor rozprawy:** mgr inż. Zuzanna Korczak

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

Głównym celem rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Zuzanny Korczak jest, jak się wydaje, zestawienie zaawansowanego układu pomiarowego do badań zjawiska lawinowego w nano- i mikro- strukturach aktywowanych wybranymi jonami lantanowców (tulem, neodymem, holmem oraz praeodymem) oraz przeprowadzenie badań efektu lawinowego w szerokiej gamie materiałów krystalicznych, przy czym środek ciężkości pracy leży zdecydowanie po stronie badań spektroskopowych prowadzonych z użyciem wspomnianego układu pomiarowego.

Na całość rozprawy składają się cztery rozdziały, obejmujące kolejno wprowadzenie teoretyczne, opis układu pomiarowego, wyniki badań oraz podsumowanie. Praca ma zdecydowanie charakter eksperymentalny, adresując zagadnienia właściwości luminescencyjnych (ze szczególnym uwzględnieniem efektu lawinowego) materiałów nanokrystalicznych i mikrokryształów oraz zaawansowanych metod pomiarowych.

Niestety, Autorka nie stawia żadnych tez rozprawy (co oczywiście nie jest obowiązkowe), ani nie definiuje również wyraźnie celu rozprawy i nie wskazuje problemów badawczych do rozwiązania, co uważam za mankament tej pracy. Będę wdzięczny za doprecyzowanie tego elementu podczas publicznej obrony rozprawy.

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

Wprowadzenie teoretyczne i analizę źródeł koncentruje Autorka w rozdziale czwartym, podzielonym na sześć podrozdziałów. W podrozdziale 4.1 podsumowuje chemiczne fizyczne i optyczne właściwości lantanowców, omawiając zagadnienia ich konfiguracji elektronowej, charakter przejść między stanami elektronowymi, reguły wyboru i mechanizmy rozszczepienia poziomów energetycznych. W podrozdziale 4.2 zwięźle przedstawia wybrane obszary zastosowań ośrodków domieszkowanych jonami lantanowców. W podrozdziale 4.3 przedstawia podstawowe procesy oddziaływania światła z materią omawiając absorpcję, emisję spontaniczną i emisję wymuszoną. Podrozdział 4.4 poświęca Autorka zagadnieniom emisji anty-stokesowskiej, omawiając podstawowe procesy prowadzące do konwersji wzbudzenia - absorpcję ze stanu wzbudzonego, transfer energii prowadzący do konwersji wzbudzenia, relaksację skośną, absorpcję dwufotonową, luminescencję kooperatywną i główny przedmiot rozprawy - efekt lawinowy. W podrozdziale 4.5 lakonicznie charakteryzuje procesy lawinowe obserwowane w materiałach domieszkowanych jonami prazeodymu, neodymu, tulu i holmu, a w podrozdziale 4.6 przedstawia przegląd zastosowań materiałów wykazujących efekt lawinowy (część z nich nieoczywistych i atrakcyjnych aplikacyjnie).

W sumie w części teoretycznej Autorka cytuje niemal 100 pozycji literaturowych, stanowiących szeroki, choć stosunkowo lakoniczny i niezakończony konkretnymi konkluzjami, przegląd stanu wiedzy w obszarach objętych rozdziałami 4.1-4.6. Pewne zdziwienie budzi dość oszczędne potraktowanie zagadnień stanowiących oś pracy – analiza stanu wiedzy w obszarze efektów lawinowych zajmuje zaledwie kilka stron, na których czytelnik znajdzie odniesienia do ok. 30 pozycji literaturowych (liczba ta wzrasta prawie dwukrotnie po uwzględnieniu podrozdziału o zastosowaniach efektu lawinowego). W mojej ocenie brakuje wprowadzenia formalizmu opisu efektu lawinowego (w postaci równań bilansu, uzupełnionych definicją parametrów spektroskopowych, kształtujących charakterystyki tego zjawiska, jak przekroje czynne, dynamika fluorescencji, prawdopodobieństwa przejść promienistych i bezpromienistych etc.). Podobnie, z pewnym zaskoczeniem skonstatowałem w części teoretycznej brak informacji na temat specyfiki struktur, którymi zajmuje się Doktorantka w dalszej części (tj. nanokryształów, struktur core-shell, czy mikrokryształów). Wydaje się, że bez szkody dla rozprawy można by zrezygnować z nieistotnego moim zdaniem podrozdziału 4.1 o konfiguracji elektronowej lantanowców na rzecz bardziej wyczerpującego przedstawienia zagadnień bezpośrednio dotyczących prowadzonych badań.

Podsumowując, analizę źródeł uznaję za przeprowadzoną w sposób poprawny, uwzględniający stosunkowo szerokie spektrum prac, ale noszący znamiona pewnej powierzchowności. Nawiasem mówiąc, próba skorzystania z niektórych odniesień literaturowych pozwoliła mi na zorientowanie się w pewnej niestaranności przygotowania bibliografii, dotyczy to np. pozycji [19], [28] czy [42], niemożliwych lub trudnych do znalezienia na podstawie podanych referencji.

Na podstawie całości rozprawy uważam, że Autorka ma dobre rozeznanie w stanie wiedzy, ale jednocześnie muszę stwierdzić, że czytelnik zainteresowany szczegółowym ujęciem tematu efektu lawinowego otrzymuje raczej zestaw odsyłaczy literaturowych, niż uporządkowane i syntetyczne ujęcie stanu wiedzy.

**3. Czy autorka rozwiązała postawione zagadnienia, czy użyła właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?**

Główną część pracy stanowią rozdziały 5 i 6. Pierwszy z nich to opis układu pomiarowego bazującego na odpowiednio dostosowanym (przy współudziale Autorki) układzie odwróconego mikroskopu fluorescencyjnego oraz samej techniki pomiarowej. Należy tu zauważyć, że sam układ pomiarowy - jego projekt i konfiguracja mają kluczowe znaczenie dla badań zjawisk luminescencji, a w

szczegółności konwersji wzbudzenia i efektu lawinowego w materiałach o rozmiarach nanometrycznych i mikrometrycznych. W rozdziale 5 Autorka przedstawia również charakterystyki spektralne wykorzystywanych źródeł wzbudzających (diod laserowych), choć z niezrozumiałego dla mnie powodu jedynie dwóch z trzech zastosowanych w dalszych eksperymentach. Wspomina również o opracowanym algorytmie do analizy danych (umieszczonym w repozytorium github.com), wskazując na swój częściowy, ale bliżej niesprecyzowany udział w pracach nad jego modyfikacjami/uproszczeniami.

Rozdział 6 to najważniejsza część rozprawy, zawierająca wyniki badań licznych próbek nano- i mikro-materiałów domieszkowanych przede wszystkim jonami tulu, a także jonami neodymu, holmu i prazeodymu. Najbardziej obszerna jest część dotycząca badania efektu lawinowej konwersji wzbudzenia w materiałach domieszkowanych jonami tulu. Autorka przedstawia kolejno wyniki badań wpływu rozmiaru cząstek na parametry efektu lawinowego w (nano)kryształach  $\text{YLiF}_4$  (nb. cytując rysunki i parafrazując w tekście fragmenty artykułu [75], którego jest współautorką), analizuje wpływ koncentracji jonów aktywatora na właściwości luminescencyjne i charakterystyki mocowe efektu lawinowego, nieco nieoczekiwanie wprowadza badania wpływu obecności nanocząstek plazmonicznych (nanoprętów Au), by w dalszej kolejności przejść do materiałów  $\text{NaYF}_4$  z tą samą domieszką i analizy odpowiedzi dynamicznej na wzbudzenie optyczne (co rozważa w kontekście aplikacji w układach sztucznych synaps neuronowych). W dalszej kolejności przedstawia Autorka wpływ dodatkowego domieszkowania jonami terbu ( $\text{Tb}^{3+}$ ) na przykładzie podwójnie domieszkowanych (jonami tulu i terbu) nanokryształów i mikrokryształów  $\text{YLiF}_4$ . W kolejnej części omawia wpływ grubości warstwy pasywnej powłoki (shell) na efekt lawinowy w nanocząstkach  $\text{Tm}^{3+}:\text{NaYF}_4$  (żeby było trudniej - dla dwóch różnych zestawów próbek, w tym jednego z dodatkową sensybilizacją jonami iterbu). Dalej dyskutuje Autorka wpływ matrycy na parametry procesu lawinowego w jonach tulu, przedstawiając skrótoowo wyniki badań zależności natężenia emisji od natężenia promieniowania pobudzającego dla struktur  $\text{YLiF}_4$ ,  $\text{NaYF}_4$ ,  $\text{KYF}_4$ ,  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  oraz  $\text{CaF}_2$ .

Dodatkowo, w kolejnej części rozdziału 6 Doktorantka prezentuje wyniki badań efektu lawinowego w nanokryształach  $\text{YLiF}_4$  podwójnie domieszkowanych jonami prazeodymu i iterbu (przy zmiennej koncentracji jonów prazeodymu). Dla tego zestawu próbek prezentuje również wyniki badań zależności temperaturowych, dyskutowane w kontekście zastosowań w termometrii luminescencyjnej. Kolejne dwa podrozdziały poświęcone zostały nieuwieńczonym sukcesem próbom uzyskania efektu lawinowego w nanomateriałach  $\text{NaGdF}_4$  domieszkowanych jonami neodymu przy pobudzaniu promieniowaniem o długości fali 1059 nm (z dodatkowymi badaniami zależności temperaturowych) oraz podobnie zakończonym eksperymentom z nanomateriałami holmowymi (struktury  $\text{NaYF}_4$  podwójnie domieszkowane jonami holmu i iterbu) przy pobudzaniu promieniowaniem o długości fali 980 nm (lub 975 nm – obie wartości występują w tekście) i 1059 nm.

W ostatnim, siódmym rozdziale Autorka zawarła podsumowanie swoich badań, wskazując na główne osiągnięcia naukowe uzyskane podczas realizacji pracy doktorskiej i zarysowując możliwości aplikacyjne.

Ogólnie, część eksperymentalna pozostawia w czytelniku wrażenie znacznego wysiłku pomiarowego, nakierowanego na zebranie ogromnej liczby charakterystyk przejściowych efektu lawinowego w różnych nanomateriałach (najczęściej nanostrukturach fluorkowych z jonami tulu, jako domieszką aktywną) – doceniam zarówno wysiłek badawczy, jak i ogromną bibliotekę zebranych i opisanych danych pomiarowych. Nie sposób jednak oprzeć się wrażeniu, że Autorka podjęła się nieco pochopnie próby przebadania zbyt szeroko zdefiniowanego zestawu materiałów, w skład którego weszło ostatecznie sześć matryc (w różnych skalach rozmiarowych i konfiguracjach strukturalnych) oraz cztery jony aktywne (że o sensybilizatorach i desensybilizatorach nie wspomnę). Chyba łatwiej i bez szkody dla wartości merytorycznej rozprawy byłby przeanalizować mniejszy zbiór, ale za to z większą wnikliwością naukową i bardziej precyzyjnie wskazanym zagadnieniem badawczym.

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

Pani Zuzanna Korczak wskazuje w rozprawie, które z przedstawianych wyników zalicza do swojego w pełni samodzielnego i oryginalnego dorobku, co znacznie ułatwia recenzentowi prześledzenie i ocenę elementów stanowiących o aspektach oryginalności rozprawy. Wskazuje również jednoznacznie na swoją rolę w publikacjach naukowych związanych z tematyką rozprawy.

Spośród wskazanych i niewskazanych przez Autorkę elementów, do najbardziej interesujących i wartościowych zaliczam przeprowadzanie badań efektu lawinowego w szerokiej gamie nanomateriałów domieszkowanych jonami tulu i zebranie niezwykle szerokiego zbioru danych badawczych do analizy mechanizmów kształtujących charakterystyki efektu lawinowego w badanych ośrodkach. W szczególności naukowo istotne wydają się wyniki badań wpływu zmian koncentracji aktywatora (oraz desensybilizatora terbowego), a także rozmiarów charakterystycznych badanych materiałów na charakterystyki efektu lawinowego, pozwalające na świadome kształtowanie charakterystyk efektu lawinowego pod kątem konkretnych zastosowań. Ciekawy badawczo, choć ledwie dotknięty wydaje się również pomysł zbadania wpływu dodatku nanocząstek plazmonicznych – zaobserwowane przez Autorkę nieco nieoczywiste efekty stanowią atrakcyjny materiał do dalszych analiz.

Do istotnych naukowo wyników rozprawy zaliczyłbym również badania efektu lawinowego w nanokryształach  $YLiF_4$  (w tym w strukturach core-shell) podwójnie domieszkowanych jonami prazeodymu i iterbu, przedyskutowane w kontekście wpływu koncentracji jonów aktywatora oraz zależności temperaturowych, rozważanych pod kątem możliwych zastosowań w termometrii luminescencyjnej.

Chciałbym również zwrócić uwagę na czysto inżynierski komponent zaangażowania w prace nad specjalizowanym układem pomiarowym o unikatowym charakterze i dużej wszechstronności pomiarowej. Autorka wprawdzie, według własnej deklaracji, nie była głównym autorem zaimplementowanych rozwiązań, ale jej udział w przygotowywaniu ostatecznej wersji systemu wydaje się istotny. Nawiasem mówiąc, jestem pod wrażeniem samego układu do badań efektów konwersji wzbudzenia (w tym efektu nieliniowego) w nanomateriałach aktywnych zestawionego i wykorzystywanego w zespole kierowanym przez prof. Artura Bednarkiewicza.

Podsumowując, stwierdzam, że praca spełnia wymagania odnośnie oryginalności wyników i wkładu w stan wiedzy. Dodatkowym potwierdzeniem istotności naukowej uzyskanych wyników są publikacje w czasopiśmie naukowych i wystąpienia konferencyjne. Pani Zuzanna Korczak jest współautorką pięciu artykułów (w jednym z nich jest pierwszą autorką) opublikowanych w renomowanych czasopiśmie o cyrkulacji międzynarodowej oraz sześciu komunikatów na konferencjach o zasięgu międzynarodowym i lokalnym (tj. 5 posterów i jedna prezentacja ustna).

**5. Czy autorka wykazała umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?**

Pani Zuzanna Korczak przygotowała swoją rozprawę w języku angielskim, którego zastosowanie z pewnością pozwala na zapewnienie lepszej ekspozycji na środowisko międzynarodowe. Praca została przygotowana na dobrym poziomie edycyjnym, choć można mieć pewne zastrzeżenia do nierównej jakości rysunków (z których część wydaje się być zaczerpnięta bezpośrednio z artykułów). W rozdziałach opisujących wyniki eksperymentalne zastosowała Autorka dodatkowe podsumowania (conclusions), co uważam za bardzo dobry zabieg, pozwalający nieobeznanemu z przedmiotem rozprawy czytelnikowi łatwiej śledzić jej tekst.

Warstwa językowa pracy wydaje się być nieco niedopracowana - język angielski sprawia wrażenie nienaturalnego i niedopracowanego, sugerując wspomaganie automatycznymi systemami translacyjnymi (co samo w sobie nie jest naganne, ale pod warunkiem starannej weryfikacji ostatecznej treści). Dają się też zauważyć pewne niedoskonałości tekstu (zarówno w warstwie językowej jak i logicznej), utrudniające nieco jego percepcję. Aby nie być gołosłownym poniżej przytaczam kilka wybranych przykładów:

- strona 13 "The energy of radiation quanta (absorption or emission) in the optical range in lanthanide ions occur on the 4f subshell ..."
- strona 57 "Notably, our findings revealed the versatile capability of Tm<sup>3+</sup> ions to generate photoluminescent avalanching emissions ..."
- strona 63 „The rest of the emission occurs from the visible range”
- strona 87 "The excitation beam emitted light with a wavelength of 1059 nm"
- strona 132 „These factors include crystal size by bulk micro and nano”

Mam też pewne zastrzeżenia do jasności wyводу naukowego – w pracy dotyczącej badania właściwości optycznych tak szerokiej gamy materiałów (zarówno jeśli idzie o domieszki, jak i matryce krystaliczne) spodziewałbym się próby usystematyzowania wyników i przeprowadzenia charakterystyki porównawczej badanych materiałów, pozwalającej na wyekstrahowanie wspólnych zależności czy sformułowanie wytycznych dotyczących projektowania materiałów (właściwości matrycy, koncentracja i rodzaj domieszek aktywnych etc.). Część informacji można wprawdzie znaleźć w rozprawie, ale są one rozproszone pomiędzy poszczególnymi podrozdziałami, przez co czytelnik jest zdany na mozolne wertowanie stron pracy w poszukiwaniu odpowiednich zależności. Byłbym wdzięczny, gdyby takie syntetyczne ujęcie udało się zaprezentować podczas publicznej obrony rozprawy.

Pomimo tych zastrzeżeń uważam, że pani Zuzanna Korczak wykazała się wystarczającą umiejętnością poprawnego przedstawiania uzyskanych wyników i naukowego wnioskowania.

## 6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Pani Zuzanna Korczak zrealizowała niezwykle szeroki program pomiarowy obejmujący badania charakterystyk efektu lawinowego w szerokiej gamie materiałów aktywnych. Jego bezpośrednim rezultatem było znaczne poszerzenie bazy materiałów z zarejestrowanymi charakterystykami efektu lawinowego. Charakterystyki zostały zmierzone przy wykorzystaniu ograniczonego zestawu nieprzestrzalnych źródeł laserowych, co pozwoliło na eksperymenty z zaledwie trzema długościami fali, wybranymi, mam wrażenie, cokolwiek arbitralnie, bardziej na podstawie dostępności źródeł, niż w wyniku badań spektroskopowych. Z treści rozprawy nie wynikają również przekonujące kryteria wyboru zakresów spektralnych wzbudzenia i emisji, może poza wiedzą literaturową nt. jonów aktywnych i kanałów konwersji wzbudzenia, niezbyt zresztą szeroko eksponowaną w rozprawie (właściwości wszystkich badanych jonów aktywnych udało się Autorce skompresować na 3 stronach rozprawy). Muszę przyznać, że cel tak zdefiniowanego programu badań nie jest dla mnie do końca jasny – Autorka nie wskazuje go explicite w tekście rozprawy, nie formułuje tezy, ani problemu badawczego. Liczę na rozwianie tych wątpliwości podczas publicznej obrony rozprawy.

Jestem także nieco zaskoczony stosunkowo skromnym zasobem wykorzystanych metod pomiarowych – Doktorantka koncentruje się na pomiarach charakterystyk przejściowych (natężenie luminescencji w funkcji natężenia promieniowania pobudzającego) praktycznie abstrahując od pozostałych charakterystyk – absorpcyjnych, wzbudzeniowych, emisyjnych oraz dynamiki fluorescencji (mierzonych dla różnych koncentracji, co pozwalałoby na określenie parametrów relaksacji skrośnej), widm ramanowskich (dla oceny wartości energii fononów) etc. Zdaję sobie

sprawę, że zespół, w którym pracuje pani Zuzanna Korczak, może nie dysponować kompletem technik pomiarowych, ale przecież nie funkcjonuje w próżni naukowej – a partnerów posiadających odpowiednie narzędzia i zainteresowanych współpracą z zespołem o takiej renomie chyba łatwo znaleźć. Intuicja podpowiada mi, że bardziej wszechstronna charakteryzacja spektroskopowa pozwoliłaby na określenie kluczowych parametrów (przekroje czynne, czasy życia fluorescencji, parametry transferów energii itp.), pozwalających na znacznie lepsze zrozumienie i opisanie obserwowanych zjawisk. Autorka takich parametrów nie podaje wcale (ani policzonych przez siebie, ani zaczerpniętych z literatury).

Zaskakujący dla mnie jest również całkowity brak opisu obserwowanych efektów w ujęciu choćby najprostszyc modeli matematycznych bazujących na równaniach bilansu. Autorka wspomina jedynie o kodzie zamieszczonym w repozytorium [github.com](https://github.com), co w mojej ocenie nie wyczerpuje tematu opisu zjawiska lawinowego i nie ułatwia zrozumienia jego specyfiki czytelnikowi nieznającemu tego zagadnienia. Notabene, jedyny układ równań bilansu pojawiający się w rozprawie nie opisuje efektu lawinowego (jak można by się spodziewać), a proces absorpcji ze stanu wzbudzonego (i jest nieco nieprecyzyjny jeśli idzie o nazewnictwo i przyjęte oznaczenia).

Wydaje się także, że lepszą percepcję rozprawy zapewniłoby inne rozłożenie akcentów w części teoretycznej – usunięcie nieistotnego rozdziału o właściwościach lantanowców (Autorka nie wykorzystuje tych informacji w dalszej części rozprawy, nie są też istotne dla zrozumienia efektów konwersji wzbudzenia, którymi się zajmuje) i rozszerzenie rozdziału o mechanizmach oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego z jonami aktywnymi w matrycach dielektrycznych. W mojej ocenie nieco konfundujący jest brak wprowadzenia w części teoretycznej parametrów spektroskopowych, którymi Doktorantka posługuje się w dalszej części pracy – przekrojów czynnych na emisję/absorpcję, prawdopodobieństw przejść, formalizmu modelowania efektu lawinowego itp. Zabrakło również rozdziału opisującego badane materiały, zestawiającego np. szereg materiałowy, koncentracyjny i porządkującego charakter badanych materiałów (nano, mikro, core-shell, itp.).

Pomimo tych uwag (z których część składam na karb widocznego w niektórych fragmentach pośpiechu przy redakcji rozprawy) uważam, że dorobek doktorantki i przedstawiona rozprawa spełniają formalne wymagania zdefiniowane w odpowiednich aktach prawnych dla kandydatów do stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk fizycznych.

## **7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk fizycznych?**

Zagadnienia poruszane w rozprawie Pani Zuzanny Korczak dotyczą badań i opisu efektów oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego z jonami aktywnymi w nano- i mikromateriałach o różnych właściwościach strukturalnych, chemicznych i krystalograficznych. Badane efekty lawinowe należą do najbardziej skomplikowanych efektów prowadzących do konwersji wzbudzenia w ośrodkach aktywowanych jonami ziem rzadkich, i jako takie, są stosunkowo najslabiej opisane w literaturze przedmiotu. Nie mam wątpliwości, że uzyskane przez Doktorantkę wyniki stanowią cenny wkład do stanu wiedzy w tym obszarze, potencjalnie przekładając się również na interesujące zastosowania praktyczne.

W mojej ocenie przesądza to o przydatności recenzowanej rozprawy dla nauk fizycznych w obszarze szeroko rozumianej fotoniki.

**8. 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

**9. Wnioski końcowe**

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Zuzanny Korczak spełnia kryteria oryginalności i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej sformułowane w *Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*.

Wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Zuzanny Korczak do publicznej obrony.



dr hab. inż. Ryszard Piramidowicz, profesor uczelni