



Prof. dr hab. inż. Paweł Chmielarz
Kierownik Katedry Chemii Fizycznej
e-mail: p_chmiel@prz.edu.pl

Rzeszów, 08.12.2022 r.

Recenzja

pracy doktorskiej Pana mgr Svyatoslava Nastyshyna
pt. „Smart polymer brushes for biomedical applications”

Recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo prof. dr hab. Jacka Golaka, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, z dnia 20 października 2022 roku informujące o tym, że Rada Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Jagiellońskiego powołała mnie na recenzenta w tym postępowaniu. Podstawę formalną wykonania recenzji stanowi ponadto umowa z Uniwersytetem Jagiellońskim na opracowanie niniejszej recenzji.

Recenzję oparto na przekazanych mi materiałach, czyli zawartości pracy doktorskiej obejmującej opracowanie Doktoranta.

Informacje dotyczące pracy doktorskiej i dorobku naukowego

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została zrealizowana na Wydziale Fizyki, Informatyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Na Promotorów pracy powołano Panią dr hab. Joannę Raczkowską, prof. UJ oraz dr hab. Yuriya Stetsyshyna (Politechnika Lwowska).

Dysertacja liczy 111 stron maszynopisu i jest podzielona na 7 głównych i 8 uzupełniających rozdziałów. Pierwsze dwa rozdziały to streszczenie pracy w wersji skróconej i rozszerzonej, następnie zamieszczono listę artykułów stanowiących osiągnięcie naukowe (6 publikacji) oraz zestawienie prac

uzupełniających rozprawę doktorską (3 publikacje), a także krótkie podziękowania. Rozdział zatytułowany *Introduction*, obejmujący 13 stron maszynopisu, można uznać za część przeglądową pracy, a tym samym wprowadzenie w tematykę badawczą szczotek polimerowych szczepionych z powierzchni szkła oraz nanocząstek SiO₂. Rozdział *Experimental section* (24 str.) to obszerna charakterystyka materiałów, stanowisk, metod i procedur stosowanych w pracy badawczej. Podstawową część dysertacji obejmują 44 strony merytorycznego opisu problematyki poruszanej w publikacjach wraz z wnioskami (rozdziały III–VII). Wykaz ten uzupełniają rozdziały dotyczące podsumowania zagadnień poruszanych w rozprawie (*Summary*, 2 str.), objaśnienia stosowanych skrótów (*List of abbreviations*, 3 str.) oraz rozdział *References*, stanowiący spis cytowanego piśmiennictwa, liczący blisko 137 pozycji (13 str.).

Na uwagę zasługuje będący na bardzo dobrym poziomie sumaryczny dorobek naukowy Doktoranta, który składa się z 1 opublikowanej pracy przeglądowej i 13 własnych prac oryginalnych ujętych w bazie *Journal Citation Reports* (JCR) o sumarycznej wartości 5-letniego wskaźnika *Impact Factor* (IF_{5y}) równej 52. Prace mgr Svyatoslava Nastyshyna były już cytowane ponad 100 razy (bez autocytowań) według Web of Science, przy czym jego indeks Hirscha wynosi 5 (stan na dzień 08.12.2022).

Praca doktorska – wymogi formalne

Praca doktorska mgr Svyatoslava Nastyshyna obejmuje 9 artykułów uzupełnionych autorskim opracowaniem (6 prac głównych i 3 uzupełniające). Artykuły naukowe były opublikowane w bardzo dobrych czasopismach zagranicznych (m. in. *Biointerphases*, *Materials*, *Materials Science and Engineering: C*, *RSC Advances*, *Applied Surface Science*, *Polymers*, *Biomacromolecules* i *Langmuir*). Sumaryczny współczynnik oddziaływania (IF_{5y}) wymienionych czasopism, w których zostały opublikowane prace wynosi blisko 41, przy czym średnia wartość IF_{5y} monotematycznych publikacji jest równa 4,6. Prace wchodzące w skład



rozprawy doktorskiej były cytowane 97 razy (bez autocytowań) według Web of Science.

Z analizy zapisów zawartych w dysertacji oraz na podstawie opisów zamieszczonych w artykułach (sekcja „Author Contributions”) wynika, że wkład Doktoranta wraz z Promotorami w powstanie prac był wiodący i polegał na opracowaniu koncepcji badań, ich przeprowadzeniu wraz z analizą oraz opracowaniem uzyskanych wyników w formie publikacji sfinalizowanych zredagowaniem manuskryptów, co jest istotne przy ocenie wpływu pracy Doktoranta na rozwój dyscypliny naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Udział pozostałych autorów polegał niewątpliwie na przeprowadzeniu określonych eksperymentów oraz współudziale w opracowaniu wyników. Pierwszym autorem trzech z wskazanych w cyklu publikacji jest Doktorant, podczas gdy autorami do korespondencji sześciu prac są Promotorzy omawianej rozprawy doktorskiej.

Przytoczone informacje świadczą o wysokim poziomie merytorycznym prezentowanych wyników prac naukowych w formie dysertacji, stanowiących podstawę postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora nauk ścisłych i przyrodniczych oraz są potwierdzeniem ważności prowadzonych badań pod względem naukowym i praktycznym. W związku z powyższym nie mam wątpliwości, że wymogi ustawowe i zwyczajowe przyjęte przez krajowe placówki akademickie dla tej formy prezentacji rozprawy doktorskiej zostały spełnione.

Praca doktorska – ocena merytoryczna

Aktualność tematyki badawczej

Przedstawiona do oceny praca doktorska dotyczy w istocie syntezy nowej klasy termoczułych szczotek polimerowych szczepionych z powierzchni szkła oraz z powierzchni nanocząstek SiO₂. Autor rozprawy szczegółowo opisał przyjęte koncepcje ich syntezy w warunkach polimeryzacji rodnikowej (niekontrolowanej



i kontrolowanej), w dalszej części pracy przedstawił charakterystykę właściwości fizycznych i chemicznych uzyskanych szczotek polimerowych typu poli(winylopirolidon) (PVP), poli(metakrylan oligooksyetylenu) (POEGMA) oraz kopolimerów statystycznych P(VP-*stat*-OEGMA).

Wybór metodyki otrzymywania amfifilowych szczotek polimerowych z powierzchni nieorganicznych dokonany przez Doktoranta należy uznać za aktualny. Od niecałych 30 lat, tj. od czasu, kiedy opracowano klasyczną odmianę metody polimeryzacji rodnikowej z odwracalną dezaktywacją (RDRP, ang. Reversible-Deactivation Radical Polymerization) – układy, w których tę ideę się wykorzystuje są przedmiotem dużej liczby publikacji naukowych. W tym miejscu warto nadmienić, iż możliwość sterowania architekturą makrocząsteczek otwiera pole do poszukiwań materiałów polimerowych o unikalnych właściwościach. Co więcej, otrzymane przez Doktoranta układy hybrydowe oferują możliwość ich dalszej modyfikacji w wyniku procesu wprowadzania grup funkcyjnych, których obecność może być wykorzystywana do dalszej polimeryzacji i konstruowania bardziej skomplikowanych i dobrze zdefiniowanych struktur polimerowych z zastosowaniem wybranych metod RDRP. Ich właściwości fizykochemiczne nie zostały jeszcze w pełni poznane (o czym pisze Doktorant w rozdziale zatytułowanym *Introduction*), co wynika z dużego zróżnicowania możliwych do otrzymania struktur i rozwoju technik ich otrzymywania.

W swojej pracy Kandydat wytypował do badań – obok polimeryzacji wolnorodnikowej – jedną ze sztandarowych odmian RDRP, a mianowicie polimeryzację rodnikową z przeniesieniem atomu (ATRP, ang. Atom Transfer Radical Polymerization) z regeneracją aktywatorów przez przeniesienie elektronu (ARGET, ang. Activators Regeneration by Electron Transfer). Wybór tej metody jest jak najbardziej słuszny, jednak biorąc pod uwagę nietypowy dobór liganda, w postaci bipyridyny (Bpy) w kontekście techniki z grupy *low ppm* ATRP (stężenie kompleksu katalitycznego rzędu 105 ppm) oraz brak potwierdzenia kontrolowanego charakteru polimeryzacji (brak wykresów kinetycznych opisujących analizowane procesy oraz danych, które dostarczyłaby analiza GPC – m. in. rozrzut mas cząsteczkowych uzyskiwanych homo- i kopolimerów) do rozważań



mgr Svyatoslava Nastyshyna pozostawiam możliwość uzupełnienia tych informacji, a także przeprowadzenia dodatkowych eksperymentów, z wykorzystaniem najnowszych technik RDRP. Do tego typu rozwiązań niewątpliwie możemy zaliczyć metody ATRP wykorzystujące znacznie zredukowaną ilość kompleksu katalitycznego, jednak mam tu na myśli stężenia kompleksu katalitycznego rzędu ppm. W tym przypadku za cenę wprowadzenia systemu regeneracji aktywatora (miedzi(0), kwasu askorbinowego, hydrazyny, glukozy) lub też bez jego udziału (prąd elektryczny, ultradźwięki, mikrofałe, światło np. niebieskie) możliwe jest istotne ograniczenie stężenia kompleksu miedzi, a to wiąże się z brakiem konieczności usuwania katalizatora z wytworzonych materiałów polimerowych. Najnowsze badania w tej tematyce dotyczą techniki inicjowanej światłem zarówno ultrafioletowym, jak i widzialnym, w której wyeliminowano kompleks metalu przejściowego poprzez zastosowanie fotoinicjatora pochodzącego z odnawialnych surowców roślinnych (metal-free ATRP).

Reasumując, uważam, że podjęcie pracy w tak nowatorskiej dziedzinie wiedzy, jaką jest synteza innowacyjnych materiałów polimerowych z wykorzystaniem polimeryzacji rodnikowej z odwracalną dezaktywacją, pomimo wskazanych powyżej uwag i sugestii jak najbardziej spełnia kryteria, jakim powinna odpowiadać współczesna praca doktorska. W tym miejscu należy podkreślić, iż oceniana dysertacja wpisuje się w trend nieustannych prac badawczych podejmowanych w wielu światowych ośrodkach, w tym także w zespole krakowskim nad opracowaniem strategii otrzymywania nowych nanomateriałów do zastosowań głównie w obszarze biomedycznym. W tym kontekście zapotrzebowanie na przyjazne środowisku oraz charakteryzujące się korzystnymi właściwościami użytkowymi nanomateriały jest motywacją do ciągłego rozwoju badań nad opracowaniem nowych i efektywnych technik ich otrzymywania, które umożliwiają w szerokim zakresie kontrolę właściwości fizykochemicznych i biologicznych produktów końcowych.

Zakres pracy i fachowość Doktoranta w doborze i interpretacji metod badawczych

Zakres prac badawczych, jakie wykonał Doktorant i opisał w swojej rozprawie, spełnia zwyczajowe wymagania stawiane wobec kandydatów do stopnia naukowego doktora nauk ścisłych i przyrodniczych. Mgr Svyatoslav Nastyshyn opracował metodę syntezy szczotek polimerowych z powierzchni szkła oraz nanocząstek krzemu stosując m. in. technikę ARGET ATRP. W następnych etapach badań przeprowadził serię testów, mających na celu określenie oddziaływania uzyskanych systemów hybrydowych z materiałem biologicznym (analiza biokompatybilności) i właściwości bakteriobójczych (w przypadku szczotek polimerowych z wbudowanymi nanocząstkami Ag^0).

W pierwszej kolejności Doktorant potwierdził, iż uzyskane szczotki polimerowe typu P(OEGMA-*stat*-VP) zapewniają odpowiednie warunki do hodowli komórek warstwy ziarnistej oraz do rozwoju kompleksów oocyt-cumulus. W następnych etapach badań przeprowadził analizę wpływu nanocząstek CaCO_3 osadzonych w szczotkach POEGMA na komórki ludzkie. W dalszej części pracy Autor potwierdził oczekiwane działanie antybakteryjne szczotek polimerowych POEGMA i PVP z wbudowanymi nanocząstkami metalicznego srebra. Działanie przeciwbakteryjne analizowano wobec reprezentatywnych bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych. Ważnym aspektem prowadzonych prac było wykazanie, że uwalnianie nanocząstek Ag^0 osadzonych w szczotkach POEGMA w środowisku wodnym ma charakter przedłużony, a co za tym idzie, są one silnie powiązane z brakiem cytotoksyczności wobec linii komórkowej HaCaT ludzkiej skóry przy krótkim czasie ekspozycji. Sporo uwagi Autor poświęcił również analizie oddziaływań pomiędzy szczotkami polimerowymi szczepionymi z powierzchni nanocząstek krzemu a białkami występującymi w ludzkiej krwi w najwyższym stężeniu (immunoglobulina ludzka, albumina surowicy ludzkiej i fibrynogen), w zależności od wartości dolnej krytycznej temperatury rozpuszczania (LCST, ang. Lower Critical Solution Temperature) uzyskanych materiałów polimerowych.

Podsumowując, uważam, iż Doktorant wykazał się dużą sprawnością w prowadzeniu syntez nowej generacji amfifilowych szczotek polimerowych



z powierzchni nieorganicznych i interpretacji wyników dotyczących ich właściwości biologicznych.

Jeżeli przyjąć, że praca miała charakter badań podstawowych, jednak ukierunkowanych na konkretne zastosowania biomedyczne i mgr Svyatoslav Nastyshyn podjął się opracowania nowych układów hybrydowych w przygotowanym przez siebie układzie – wtedy uznałbym, że Autor nie wykorzystał w pełni możliwości zmodyfikowania uzyskanych materiałów, np. z wykorzystaniem na poszczególnych etapach procesu technik kontrolowanej polimeryzacji rodnikowej bez udziału kompleksu katalitycznego. Tego typu rozwiązanie umożliwiłoby przygotowanie materiałów o ściśle określonej i zdefiniowanej strukturze oraz architekturze, czyniąc tym samym produkt końcowy znacznie bardziej atrakcyjnym, chociażby z punktu widzenia potencjalnych zastosowań biomedycznych (szczegółowe uwagi zamieściłem w rozdziale *Aktualność tematyki badawczej*). Sugestia ta dotyczy w głównej mierze polimeryzacji metakrylanu oligooksyetylenu, stosowanego w pracy, a będącego przedmiotem najnowszych prac w dziedzinie metal-free ATRP.

Druga uwaga dotyczy braku bardziej gruntownego zbadania mechanizmu reakcji, wraz z wyznaczeniem pozornych stałych szybkości poszczególnych reakcji składowych i oceny wpływu określonych parametrów na ich przebieg. Doktorant ograniczył się jedynie do stwierdzenia, iż w zastosowanych w pracy warunkach polimeryzacja rzeczywiście zachodzi, gdyż jej efektem jest uzyskanie polimeru charakteryzującego się potwierdzoną masą cząsteczkową (Tabel 2, str. 52 – wyniki jedynie dla szczotek szczepionych z powierzchni szkła, nie wskazano przy tym jaką techniką wyznaczono masę cząsteczkową polimerów), który w dalszej części pracy był już charakteryzowany pod kątem właściwości fizykochemicznych. W tym miejscu warto rozważyć analizę spektroskopową (^1H NMR) i chromatograficzną (GPC), celem potwierdzenia kontrolowanego charakteru analizowanych polimeryzacji.





Sposób zredagowania rozprawy

Przedstawiona do oceny praca doktorska została zredagowana starannie, znalazłem jedynie bardzo nieliczne uchybienia językowe i interpunkcyjne. Układ pracy, jak już wspomniałem, jest typowy dla rozpraw doktorskich.

Niemniej jednak pewną trudność w ocenie pracy doktorskiej na podstawie publikacji jest ich numeracja i przypadkowe zamieszczenie w dysertacji, co znacznie utrudnia charakterystykę rozwoju badań Doktoranta. Ułatwieniem w tej sytuacji byłoby zestawienie wszystkich publikacji na końcu dysertacji oraz ich odpowiednie oznakowanie, co w sumie umożliwiłoby wertowanie tego obszernego materiału zgodnie z potrzebami.

Uwagi krytyczne i pytania

W związku z ocenianą dysertacją nasuwają mi się następujące uwagi i pytania do Doktoranta:

- O ile dobór materiałów źródłowych nie budzi zastrzeżeń, to pewne uwagi nasuwa ich aktualność. Opisując zagadnienia dotyczące polimerów amfifilowych, czy chociażby najnowszych doniesień w dziedzinie rozwoju technik ATRP warto byłoby zacytować w pierwszej kolejności pozycje kluczowe z historycznego punktu widzenia, przechodząc płynnie do najnowszych doniesień literaturowych w danej dziedzinie. Mam tu na myśli m. in. metodę metal-free ATRP, która jest odpowiednia zwłaszcza do polimeryzacji OEGMA.
- W pracy brak jest informacji o ilości miejsc inicjacji ATRP przypadających na 1 nm² modyfikowanego szkła oraz nanocząstek krzemowych.
- Zgodnie z drugą uwagą w rozdziale *Zakres pracy i fachowość Doktoranta w doborze i interpretacji metod badawczych* pewien niedosyt pozostawia brak gruntownego przeanalizowania mechanizmów poszczególnych reakcji. W tym miejscu warto jest przedstawić szczegółowe propozycje mechanizmów reakcji składowych, wraz ze wskazaniem reakcji ubocznych (m. in. z udziałem



zastosowanego czynnika redukującego) oraz głównych czynników, które mają wpływ na zmniejszanie ich udziału.

- W kontekście powyższej uwagi warto również wyjaśnić wybór askorbinianu sodu w miejsce powszechnie stosowanego kwasu askorbinowego jako czynnika redukującego kompleks katalityczny. Czym był podyktowany taki wybór? Czy zadecydowały kwestie ekonomiczne? Jakie reakcje uboczne mogą zachodzić z udziałem wspomnianego związku, mając na uwadze powstający kwas dehydroaskorbinowy w przypadku stosowania kwasu askorbinowego? Czy związek ten nie będzie się osadzał w szczotkach polimerowych podobnie jak to ma miejsce w przypadku nanocząstek Ag^0 i CaCO_3 ?
- W lektury pracy nie wynika czy podczas polimeryzacji stosowano mieszanie roztworu reakcyjnego. Zakładając że tak nie było zarówno w przypadku szczepienia szczotek polimerowych z powierzchni płaskich jak i nanocząstek krzemu wyjaśnienia wymagają zjawiska które determinują rozpoczęcie procesu, od inicjacji przez propagację, aż po aktywację i dezaktywację. Czy katalityczny proces redukcji kompleksu miedzi występującego na wyższym stopniu utlenienia do postaci na niższym stopniu utlenienia zachodzi na drodze dyfuzji?
- Doprecyzowania wymaga kwestia wyboru kompleksu katalitycznego z udziałem bipyridyny. Skąd akurat taki wybór, skoro nie jest to idealne rozwiązanie gdy myślimy o technikach z grupy *low ppm* ATRP? Ponadto należy wyjaśnić zastosowany 10-krotny nadmiar liganda w stosunku do $\text{Cu}^{\text{II}}\text{Br}_2$.
- Podczas polimeryzacji OEGMA i VP jako rozpuszczalnik stosowano metanol. W związku z powyższym doprecyzowania wymaga wybór akurat tego rozpuszczalnika. Czy lepszym rozwiązaniem nie byłaby polimeryzacja w wodzie (w przypadku monomeru hydrofobowego będzie to układ dyspersyjny) lub mieszaninie woda-etanol?
- Czy podczas polimeryzacji stosowany był inicjator *in situ*? Jeżeli nie, to należy wziąć pod uwagę iż tego typu rozwiązanie znacznie ułatwiłoby analizę kinetyki poszczególnych reakcji. Zgodnie z najnowszymi doniesieniami





literaturowymi w tej dziedzinie wpływ tego typu postępowania na szczepienie z powierzchni płaskich odgrywa ważną rolę w inicjowaniu polimeryzacji – warto tą kwestię skomentować na tym etapie badań podstawowych.

- W przypadku polimeryzacji bez inicjatora *in situ* warto również rozważyć odszczepienie szczotek polimerowych zarówno z powierzchni modyfikowanego szkła, jak i nanocząstek krzemowych, tak aby przeanalizować masy i rozrzuty mas cząsteczkowych powstających związków wielkocząsteczkowych z wykorzystaniem techniki GPC, co jednoznacznie potwierdzi kontrolowany charakter omawianych procesów.
- W dysertacji nie pojawia się informacja o tym, czy otrzymano polimery charakteryzujące się niską bądź wysoką dyspersyjnością. Stosując techniki z grupy ATRP jest to kwestia kluczowa, również w kontekście słowa komentarza jaki wpływ na właściwości fizykochemiczne uzyskiwanych szczotek polimerowych będzie miała dana wartość dyspersyjności.
- Ponadto jedynie w przypadku modyfikacji szkła szczotkami polimerowymi znalazłem informację o gęstości szczepienia (σ), rzędu zaledwie 0,1 łańcucha/nm² (Tabel 2, str. 52). W tym miejscu wyjaśnienia wymaga brak podanych gęstości szczepienia dla nanocząstek krzemu, oraz komentarz w przypadku stosunkowo niskich wartości σ dla powierzchni płaskich.
- Z lektury dysertacji nie wynika jakimi technikami potwierdzono strukturę uzyskanych szczotek polimerowych. W tym przypadku do rozważenia pozostawiam kompleksową analizę ich struktury z wykorzystaniem chociażby magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR).
- W pracy zaprezentowano możliwość syntezy termoczulych szczotek polimerowych, polimeryzując OEGMA oraz VP. Uzyskane struktury charakteryzowały się określoną dolną krytyczną temperaturą rozpuszczania, a zatem przyjąć można iż są zdolne do kontrolowanego uwalniania substancji aktywnych z utworzonych miceli polimerowych pod wpływem zmian temperatury. W temperaturze poniżej LCST omawiane polimery były całkowicie rozpuszczalne w wodzie i charakteryzowały się niewielką średnicą



hydrodynamiczną, której wartości zmieniały się nieznacznie wraz z ogrzewaniem roztworu polimeru. Po osiągnięciu temperatury LCST powstawały agregaty polimerowe o czym świadczyły wysokie wartości średnic hydrodynamicznych makrocząsteczek. W związku z powyższym czy wówczas termoczule polimery stawały się rzeczywiście nierozpuszczalne w wodzie, i w takiej formie były zdolne są do uwalniania substancji aktywnych?

- W jaki sposób precyzyjnie kontrolowano temperaturę powierzchni utworzonej ze szczotek polimerowych podczas pomiarów kątów zwilżania w celu wyznaczenia wartości LCST?
- W pracy doktorskiej wskazanych zostało wiele potencjalnych kierunków zastosowań otrzymanych amfifilowych szczotek polimerowych szczepionych z powierzchni szkła oraz nanocząstek krzemu, jednak które z nich Autor uważa za potencjalnie najbardziej obiecujące aplikacyjnie w kontekście zastosowań biomedycznych? Jak wyglądają możliwości zastosowania nanocząstek krzemu modyfikowanych szczotkami polimerowymi o rozmiarach rzędu 100–130 nm (przy rozmiarze samego rdzenia równych 70 nm)?
- Jak Doktorant ocenia możliwości i warunki syntezy w większej skali wybranych szczotek polimerowych spośród otrzymanych w ramach pracy doktorskiej o potencjalnym zastosowaniu?

Wszystkie te dostrzeżone przeze mnie drobne błędy i niedopatrzenia, a także moje uwagi dyskusyjne nie mają wpływu na moją ocenę całości pracy. Uważam, iż ich wyeliminowanie lub ewentualne wyjaśnienie może być przydatne w przygotowaniu kolejnych artykułów naukowych obejmujących obszar tematyczny pracy.

Podsumowanie

Podsumowując stwierdzam, że opiniowana dysertacja doktorska Pana mgr Svyatoslava Nastyshyna zawiera szereg elementów nowości naukowej i stanowi istotny wkład w rozwój dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych. Uważam, że recenzowana praca doktorska stanowi opis zwanego osiągnięcia naukowego a zatem spełnia wymogi formalne, zawarte w obowiązujących przepisach ustawowych, ponadto opisuje nowe i wartościowe kontynuacji kierunki badań w dyscyplinie nauk fizycznych. Autor rozprawy zrealizował założone cele pracy, wykonał przy tym szeroki zakres badań stosując i modyfikując nowoczesne techniki badawcze. Zarówno zaplanowanie eksperymentów, ich realizacja, jak i forma przedstawienia wyników wraz z ich analizą, świadczą dojrzałości naukowej Doktoranta oraz wskazują na przygotowanie do samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

W związku z powyższym stwierdzam, że oceniana rozprawa doktorska spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim przez ustawę *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2020 r., poz. 85 z późniejszymi zmianami), zatem formułuję wniosek do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie o przyjęcie pracy doktorskiej i dopuszczenie Pana mgr Svyatoslava Nastyshyna do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.

Dodatkowo mając na uwadze szeroki zakres wykonanych badań oraz wagę otrzymanych wyników scharakteryzowanych w artykułach opublikowanych w czasopiśmie naukowych o łącznym współczynniku IF_{5Y} równym 41, zgodnie z uchwałą nr 24/XI/2021 Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie z dnia 18 listopada 2021 roku w sprawie regulaminu wyróżniania prac doktorskich – złożonych w postępowaniach wszczętych po 30 września 2019 roku – wnioskuję o wyróżnienie ocenianej rozprawy doktorskiej



zgodnie z kryteriami wyróżniania prac doktorskich zawartymi w przytoczonej uchwale.

Paweł Chmielarz

Prof. dr hab. inż. Paweł Chmielarz

