

prof.dr hab. Rafał Abdank-Kozubski  
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej  
Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

**Opinia o pracy doktorskiej p. mgr inż. Daniela Wojtasa, doktoranta na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im S. Staszica w Krakowie pt. „Establishing the origin of mechanical and biophysical properties in pure titanium processed by an unconventional severe plastic deformation”.**

Przedstawiona do oceny praca doktorska p. mgr inż. Daniela Wojtasa „Establishing the origin of mechanical and biophysical properties in pure titanium processed by an unconventional severe plastic deformation”, której promotorem w przewodzie doktorskim jest p. prof.dr hab. inż. Krzysztof Wierzbowski, ko-promotorem p. prof.dr hab.inż. Krzysztof Sztwiertnia, zaś promotorem pomocniczym p. dr inż. Klaudia Trembecka-Wójciga, wykonana została na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im S. Staszica w Krakowie.

Praca napisana jest w języku angielskim i składa się z sześciu rozdziałów, do których Autor zaliczył również Wnioski i Bibliografię obejmującą 130 pozycji – w tym 3 publikacje współautorstwa Doktoranta. Poprzedzają je podziękowania, lista użytych akronimów i spis treści, zaś następują po nich streszczenia w języku angielskim i polskim oraz dodatek (Appendix).

Rozdział I pracy doktorskiej p. mgr inż. Daniela Wojtasa zatytułowany „Wstęp” (Introduction) składa się z czterech części. Pierwsza z nich – również złożona z dwóch części, zawiera na początku informacje na temat właściwości tytanu ze szczególnym uwzględnieniem wpływu jego dwóch odmian alotropowych i sposobów ich stabilizacji poprzez odpowiednie domieszkowanie. Na koniec tego fragmentu pracy Autor wspomina też o materiałach kompozytowych opartych na tytanie. Po tych informacjach następuje opis zastosowania tytanu w medycynie. Chodzi tu nie tylko o tytan jako materiał powszechnie stosowany w szeroko rozumianej protetyce i implantologii, ale również o jego zastosowanie w produkcji narzędzi medycznych – m.in. chirurgicznych. Cały ten opis prowadzony jest w oparciu o konkretne właściwości materiałów opartych na tytanie, przy czym opisywane fakty są rzetelnie dokumentowane danymi literaturowymi.

Druga część „Wstępu” zawiera opis stosowanych (prawdopodobnie) w pracy technik opierających się na intensywnym odkształceniu plastycznym (severe plastic deformation) materiałów. Autor opisuje kilka wariantów tych technik poświęcając jednak najwięcej uwagi metodzie wyciskania hydrostatycznego (ekstruzji hydrostatycznej). Zwraca uwagę na podstawowe cele takiej obróbki, wśród których szczególne znaczenie ma możliwość nanostrukturyzacji materiału (część trzecia), w wyniku której uzyskuje on nowe właściwości mogące m.in. poszerzać możliwości zastosowania w medycynie (część czwarta).

Rozdział I pracy stanowi dość rzetelne kompendium wiedzy w powyższych dziedzinach. Zyskałby jednak znacznie na wartości – zwłaszcza dydaktycznej – gdyby: (i) zaopatrzony był w ilustracje: oprócz braku wykresów fazowych dotyczących układów z tytanem, nie ma praktycznie w ogóle (poza jednym bardzo słabo opisanym rysunkiem) ilustracji dotyczących metod intensywnego odkształcenia plastycznego; (ii) był poprzedzony rzeczywistym „wstępem” do pracy przedstawiającym jej temat i cel. Bez tego czytelnik dowiaduje się o wielu interesujących faktach niewiedząc do czego ta wiedza ma prowadzić.

W rozdziale 2 p. mgr inż. Wojtas przedstawia dość szeroki opis technik doświadczalnych stosowanych w pracy. Opis rozpoczyna się od przedstawienia źródła i podstawowych cech próbek tytanu, które były badane. Następnie autor opisuje techniki badania ich właściwości mechanicznych, przygotowania powierzchni oraz badań mikrostrukturalnych przy użyciu skaningowej oraz transmisyjnej mikroskopii elektronowej. Osobną część tego fragmentu pracy stanowi opis techniki przeprowadzonych badań właściwości biofizycznych posiadanych próbek tytanu. Chodziło głównie o wpływ rodzaju powierzchni na te właściwości. Badania obejmowały testy zwilżalności powierzchni i energii powierzchniowej, topografii powierzchni (przy zastosowaniu mikroskopii sił atomowych) czy składu chemicznego powierzchni. Te „klasyczne” badania materiałowe towarzyszyły testom właściwości o wyraźnym charakterze biofizycznym: adsorpcji białek, cytotoksyczności i wreszcie oddziaływania powierzchni materiału z komórkami układów biologicznych (m.in. osteoblastami).

Cały rozdział 2 pracy zawiera mnóstwo informacji przedstawionych w niezwykle skondensowanej formie, co na czytelnika działa wręcz onieśmielająco. Brakuje tu trochę odnośników do literatury z tej dziedziny – prawdopodobnie można by podać parę pozycji podręcznikowych, co znacznie zwiększyłyby dydaktyczny walor pracy.

Dopiero po zakończeniu lektury rozdziału 2 pracy czytelnik dociera do przedstawienia przez Autora jej celu (rozdz. 3), którym będzie znalezienie przyczyn obserwowanego faktu, iż obróbka polegająca na intensywnym odkształceniu plastycznym komercyjnie dostępnego

czystego tytanu powoduje, że materiał ten nabiera cech czyniących go bardzo atrakcyjnym w zastosowaniach mechanicznych i biofizycznych. Praca ma uzasadnić tezę, iż: „[podczas gdy (dodane przez recenzenta)] Zwiększona wytrzymałość silnie odkształconego tytanu wynika z rozdrobnienia mikrostruktury, (..... (usunięte przez recenzenta)) jego właściwości biofizyczne są podporządkowane synergicznemu efektowi orientacji krystalograficznej ziaren i obecności nierówności powierzchni.”.

Zasadniczą część rozprawy doktorskiej p. mgr inż. Daniela Wojtasa stanowi rozdział 4 zawierający prezentację i dyskusję uzyskanych wyników badań komercyjnego tytanu poddanemu wyciskaniu hydrostatycznemu. W kolejnych pięciu podrozdziałach Autor przedstawia wyniki dotyczące kolejno: mikrostruktury materiału (podrozdział 4.1), tekstury krystalograficznej (podrozdział 4.2.), właściwości mechanicznych (podrozdział 4.3), charakterystyki powierzchni (podrozdział 4.4) oraz właściwości biofizycznych (podrozdział 4.5).

Cechy mikrostruktury komercyjnych próbek czystego tytanu poddawanych kolejnym czterem etapom wyciskania hydrostatycznego oraz dodatkowo wyoblania zwiększającym stopień odkształcenia badano metodą mikroskopii orientacji przy użyciu techniki dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych (EBSD). Wyznaczano trzy parametry mikrostruktury odzwierciedlające wzajemną dezorientację ziaren: (i) średnią dezorientację w ramach ziarna (GOS – „Grain Orientation Spread”); (ii) średnią dezorientację piksela względem otoczenia (KAM – „Kernel Average Misorientation”) oraz (iii) średnią dezorientację względem otoczenia w ramach jednego ziarna (GAM – „Grain Average Misorientation”). W materiale o największym stopniu odkształcenia analizowano również gradient kąta dezorientacji wewnątrz ziaren. Materiał o największym stopniu odkształcenia poddawano dodatkowo wygrzewaniu przez 3 godz. w temperaturze 200<sup>0</sup>C. Wyniki tych badań zostały następnie szczegółowo zanalizowane, co prowadziło Autora do konkretnych wniosków dotyczących mechanizmu zmian mikrostruktury materiału pod wpływem wyciskania hydrostatycznego i wyoblania. W ramach osobnego podrozdziału (4.3) mikrostruktury intensywnie odkształconych próbek komercyjnego tytanu analizowane były pod kątem tekstury krystalograficznej.

Badając właściwości mechaniczne materiałów Autor analizował wpływ intensywnego odkształcania na granicę plastyczności materiału, twardość, energię odkształcenia, własności zmęczeniowe. Generalnie, wykazano, że intensywne odkształcanie poprzez wyciskanie hydrostatyczne prowadzi do wyraźnej poprawy parametrów mechanicznych i wytrzymałości

materiału. Wyniki okazały się zadowalająco zgodne z przewidywaniami modelu efektywnej granicy plastyczności jako funkcji konkretnych cech mikrostruktury materiału.

Cechy powierzchni próbek hydrostatycznie wyciskanego tytanu p. mgr inż. Wojaś badał pod kątem wpływu tej obróbki na średnią szorstkość i topografię, zwilżalność i energię powierzchniową oraz skład chemiczny. Szorstkość i topografia badane były głównie metodą mikroskopii sił atomowych (AFM). Głównym wnioskiem wypływającym z tych badań było stwierdzenie, iż podczas gdy średnia szorstkość powierzchni przekroju materiału nie wykazuje zależności od stopnia jego deformacji duży wpływ tego efektu obserwuje się w odniesieniu do szczegółów topografii powierzchni, co może wskazywać na jej wpływ na właściwości biofizyczne. Znacznie mniej znaczących danych dostarczyły pomiary zwilżalności i energii powierzchni przekrojów tytanu w funkcji stopnia odkształcenia. Jedyny w miarę wiarygodny wynik sugeruje iż badana zwilżalność zwiększa się z miarą wzrostu gęstości niskokątowych granic ziaren (generowanego oczywiście przez kolejne etapy wyciskania hydrostatycznego).

Badania składu chemicznego powierzchni wyciskanego hydrostatycznie tytanu prowadzone były metodą XPS, która pozwala na identyfikację jonów o różnym stopniu utlenienia.

Przedstawione w pracy wyniki – krótko zwróciły szczególną uwagę recenzenta – dotyczą koncentracji tytanu oraz tlenu na powierzchniach podłużnych (LCS) i poprzecznych (TCS) – w stosunku do kierunku wyciskania – przekrojów próbek o różnym stopniu odkształcenia. Pozwoliły one na wyciągnięcie dwóch najważniejszych wniosków: (i) wniosku iż grubość warstwy  $TiO_2$  pasywującej powierzchnię zdeformowanego tytanu jest niższa na powierzchni TCS, niż na powierzchni LCS oraz (ii) wniosku iż w porównaniu z powierzchniami przekrojów poprzecznych, na powierzchniach przekrojów podłużnych znajduje się znacznie więcej tlenu zawartego w grupach hydroksylowych  $OH^-$ . Ten ostatni wniosek, wskazujący na uprzywilejowanie tworzenia wiązań  $Ti-OH$  na powierzchniach przekrojów podłużnych wyciskanego tytanu, ma istotne znaczenie w kontekście biokompatybilności materiału. Autor dokonał jego bardzo interesującej interpretacji korzystając z informacji, iż gęste upakowanie płaszczyzn krystalograficznych eksponowanych na powierzchni materiału preferuje obecność grup hydroksylowych. Opisane wyżej przeprowadzone przez Doktoranta badania mikrostruktury wyciskanych próbek tytanu wskazują na taką właśnie sytuację krystalograficzną na powierzchniach przekrojów podłużnych wyciskanego tytanu.

Należy jeszcze dodać, że rozumowanie oparte również na uwarunkowaniach krystalograficznych – tym razem na wpływie struktury płaszczyzn krystalograficznych na

powierzchni na odporność materiału na trawienie – pozwoliło Autorowi uzasadnić również pierwszy z powyższych wniosków.

Badanie właściwości biofizycznych komercyjnego tytanu poddanego wyciskaniu hydrostatycznemu Autor rozpoczął od testów cytokompatybilności materiału. Stwierdzono, iż obróbka polegająca na intensywnym odkształceniu tytanu nie wpływa na jego powszechnie znaną cytokompatybilność.

Następny podrozdział pracy (4.5.2) jest znacznie obszerniejszy. Zawiera on wyniki badań adsorpcji białka na powierzchni odkształconego tytanu. Autor wykazał wyraźny wzrost stopnia adsorpcji wraz ze wzrostem stopnia odkształcenia tytanu przy dodatkowym wpływie na ten efekt orientacji badanej powierzchni względem kierunku wyciskania. Efekt jest dość obszernie dyskutowany z punktu widzenia opisanych poprzednio cech składu chemicznego powierzchni. Stwierdzony w trakcie badań liniowy wzrost stopnia absorpcji białka na powierzchni tytanu ze wzrostem gęstości niskokątowych granic ziaren na tej powierzchni prowadzi p. mgr inż. Wojtasa z powrotem do wniosku, że pierwotnym czynnikiem wpływającym na stopień absorpcji białka na powierzchni tytanu są defekty strukturalne generowane podczas wyciskania hydrostatycznego. Wpływ tych defektów w przypadku badanego procesu jest jednak pośredni, jako że generują one specyficzne reakcje chemiczne, które kontrolują go bezpośrednio.

Prezentację wyników badań p. mgr inż. Daniela Wojtasa kończy obszerny podrozdział (5.5.3.) poświęcony oddziaływaniom żywych komórek z powierzchnią wyciskanego hydrostatycznie tytanu. Badaniom poddano dwie różne linie komórkowe: linię komórek kościotwórczych (osteoblastów) oraz linię komórek śródbłónka, przy czym z uwagi na szerokie zastosowanie tytanu w dentystyce i ortopedii, więcej uwagi poświęcono osteoblastom. Kontynuując schemat poprzednich badań doktorant badał żywotność oraz zdolność do rozmnażania (proliferację) komórek obu linii hodowanych na powierzchniach tytanu różniących się (i) stopniem odkształcenia generowanego przez wyciskanie hydrostatyczne oraz (ii) orientacją względem kierunku wyciskania. Badania mikrostrukturalne wyhodowanych w ten sposób kultur komórek prowadzono metodą skaningowej laserowej mikroskopii konfokalnej.

Bardzo obszerny opis oraz dyskusja uzyskanych wyników w oparciu o szeroką bazę danych literaturowych doprowadził Autora do wniosku, iż podobnie jak w przypadku składu chemicznego powierzchni intensywnie odkształconego tytanu oraz adsorpcji białka na tej powierzchni, zasadniczy wpływ na zachowanie hodowanych na niej żywych komórek mają defekty i nieregularności powierzchni generowane przez proces wyciskania hydrostatycznego

oraz typ płaszczyzn krystalograficznych eksponowanych na powierzchni materiału przez krystality. Ta ostatnia zależność wynika z faktu, iż efektywne oddziaływania żywych komórek z powierzchnią substratu (np. tytanu) kontrolowane są przez tworzącą się między nimi a powierzchnią warstwę białka, którego właściwości adsorpcyjne zależą, jak Autor wcześniej pokazał, właśnie od orientacji płaszczyzn krystalograficznych na powierzchni. Należy podkreślić, że próbom opisu zjawiska zdecydowanie wymykają się ewentualne proste schematy – np. powiązanie cech zachowania komórek ze średnim rozmiarem ziaren na powierzchni materiału.

Prawdopodobnie po to, by wyprowadzić czytelnika z fałszywego mniemania, że obróbka intensywnego odkształcenia plastycznego stanowi pewną ścieżkę prowadzącą do poprawy biokompatybilności tytanu, p. mgr inż. Wojtas zaznacza na koniec, że obserwowana niemal zawsze zmiana biokompatybilności oznacza czasem również jej pogorszenie.

W Konkluzjach następujących po rozdziale 4 pracy Autor przedstawił w punktach wnioski wynikające z przeprowadzonych badań. Wnioski te dotyczą wpływu wyciskania hydrostatycznego zarówno na właściwości fizyczne, jak i biofizyczne tytanu i kończą się stwierdzeniem, że materiał może być uznany jako kandydat do zastosowania w medycynie, szczególnie w dziedzinie implantologii dentystycznej.

Po następującym teraz spisie literatury oraz streszczeniach pracy w językach angielskim i polskim, rozprawę doktorską kończy ostatecznie krótki dodatek, w którym Autor przedstawia zgodność figur biegunowych intensywnie odkształconego tytanu uzyskanych w ramach pracy metodą EBSD oraz wygenerowanych na podstawie teoretycznego modelu „L-W”.

Przystępując do oceny rozprawy doktorskiej p. mgr inż. Daniela Wojtasa „Establishing the origin of mechanical and biophysical properties in pure titanium processed by an unconventional severe plastic deformation” pragnę przede wszystkim stwierdzić, że Doktorant zrealizował sformułowany w rozdziale 3 jej cel, jakim było „znalezienie wyraźnego źródła lepszych właściwości mechanicznych i biofizycznych obserwowanych w komercyjnie czystym tytanie przetwarzanym zarówno konwencjonalnymi, jak i niekonwencjonalnymi technikami intensywnego odkształcenia plastycznego” oraz uzasadnienie tezy, iż „Zwiększona wytrzymałość silnie odkształconego tytanu wynika z rozdrobnienia mikrostruktury, natomiast jego właściwości biofizyczne są podporządkowane synergicznemu efektowi orientacji krystalograficznej ziaren i obecności nierówności powierzchni.”

Praca ma charakter czysto doświadczalny i pomimo, iż Autor korzystał oczywiście z odpowiednich procedur matematycznych w celu ilościowej interpretacji danych doświadczalnych, nie podejmował żadnych prób budowania/rozwijania teoretycznych modeli obserwowanych zjawisk.

Badania doświadczalne przeprowadzone zostały bardzo kompetentnie przy adekwatnym doborze metod pomiarowych, zaś opisy i dyskusje uzyskanych wyników eksperymentalnych są bardzo rzetelne odwołując się do szerokiego tła danych literaturowych. Świadczy to o niewątpliwym rozeznanii Autora w dziedzinie związanej z recenzowaną rozprawą. Kończąc te ogólne uwagi dotyczące recenzowanej pracy chciałbym podkreślić niezwykle wysoki poziom języka angielskiego, w którym została ona napisana. Nie chodzi tu nawet o aspekt merytoryczny, ale o niespotykane nawet w brytyjskich czy amerykańskich publikacjach bogactwo użytego słownictwa nadające pracy walory literackie.

Trudność zadania polegającego na dokonaniu całościowej oceny pracy doktorskiej p. mgr inż. Daniela Wojtasa wynika z jej raczej specyficznej koncepcji, jak również konstrukcji.

Tematyka badań, które podjął Autor jest bardzo ważna oraz aktualna i w związku z tym prace w podobnych kierunkach prowadzone są w wielu ośrodkach, co skutkuje bardzo bogatą literaturą. Pozytywną konsekwencją tych okoliczności jest możliwość właściwego ustawienia kierunku swoich badań i uniknięcia niebezpieczeństwa wejścia w „ślepej uliczki”, jak również okazja do szerokiej dyskusji uzyskanych wyników. Pojawia się jednak również trudność znalezienia w tym mnóstwie informacji własnej ścieżki badawczej, która zapewniłaby oryginalność prowadzonych prac.

Wydaje się, że p. mgr.inż. Danielowi Wojtasowi udało się znaleźć taką ścieżkę, na skutek czego powstała praca równocześnie wnosząca nowe elementy do wiedzy na temat wpływu intensywnego odkształcania na właściwości fizyczne i biofizyczne materiałów oraz systematyzująca tę wiedzę poprzez bardzo szeroką analizę danych rozproszonych w bogatych zasobach odnośnej literatury.

Uwagi krytyczne recenzenta, z pewnością w dużym stopniu subiektywne, dotyczą głównie konstrukcji pracy, która wynika jednak z jej opisanej wyżej koncepcji:

- Bardzo chciałbym usłyszeć od Autora pracy co skłoniło Go do tego, by tak późno przedstawić główny cel pracy. Jest to niewątpliwie pomysł oryginalny, ale w jego konsekwencji czytelnikowi bardzo trudno jest skupić uwagę na treści (bardzo ważnej !) dwóch pierwszych rozdziałów pracy – na prawdę trudno jest oprzeć się pokusie ustawicznego wybiegania naprzód w poszukiwaniu informacji o faktycznym celu planowanych badań.

- Zdaniem recenzenta, ostatni fragment rozdziału 2 powinien być poszerzony o informacje dotyczące istoty i technicznych celów poszczególnych badań biofizycznych. Przykładowo: czytając podrozdział 2.5.5. dotyczący badań cytotoksyczności osoba niebędąca specjalistą w tej dziedzinie poznaje szczegółową sekwencję pomiarów, ale nie może się zorientować do jakich wniosków pomiary te mają prowadzić – tj. na czym polega badanie cytotoksyczności.
- Logiczny układ (sekwencja) informacji przedstawianych w kolejnych podrozdziałach rozdziału 4 pracy zasługuje na bardzo wysoką ocenę. Lektura tej najważniejszej części pracy jest jednak zadaniem bardzo mozolnym, gdyż poszczególne podrozdziały stanowią często lite bloki tekstu. Znacznym ułatwieniem byłoby wyodrębnienie w nich – np. w formie oddzielnych akapitów, czy poprzez wypunktowanie, wniosków wpływających z kolejnych etapów badań.
- Z powyższą uwagą wiąże się kolejna: Jak wspomniano wcześniej, walorem recenzowanej pracy jest rzetelna dyskusja wyników na tle istniejących danych literaturowych. Tę dyskusję Autor prowadzi na ogół na bieżąco (w ramach litych bloków tekstu), co ułatwia oczywiście zrozumienie problemów, ale jednocześnie utrudnia recenzentowi wychwycenie oryginalnych dokonań Doktoranta. Mógł On przynajmniej zasygnalizować w tekście, że w odpowiednich fragmentach odwołuje się do swoich publikacji. Podczas publicznej obrony pracy bardzo chętnie usłyszałbym od Doktoranta które z przedstawionych w pracy wyników uważa za swoje główne osiągnięcia.
- Z punktu widzenia całościowej konstrukcji, praca robi wrażenie pozbawionej zakończenia. Jeśli główną część pracy stanowi rozdział 4, w którym prezentowane są wyniki badań i który poprzedzony jest dwoma dość obszernymi rozdziałami zawierające informacje o badanym układzie (materiale) i stosowanych metodach badawczych, czytelnik spodziewałby się, że pracę zamknie również rozdział zawierający ostateczne podsumowanie oraz być może zarys perspektyw badawczych. Tymczasem po „idącym pełną parą” opisie wyników badań oddziaływania żywych komórek z powierzchnią tytanu (4.5.3) czytelnik znajduje już tylko jednostronicową listę wniosków wpływających z całej pracy, ale zupełnie lakonicznych. Na ogół taką listę umieszcza się na końcu rozprawy, ale poprzedza ją jakieś obszerniejsze podsumowanie.



Na koniec pragnę przedstawić jeszcze kilka uwag dotyczących konkretnych zauważonych przeze mnie usterek – część takich uwag zawarta jest również w tekście recenzji:

- Większość przedstawionych przez Autora – również w formie graficznej – wyników pomiarów zawiera informację dotyczącą ich poziomu istotności. Bardzo przydatny byłby krótki komentarz dotyczący tej analizy – np. w ramach rozdziału 2 pracy.
- Opis metody wyciskania hydrostatycznego – podstawowej z punktu widzenia pracy – stałby się znacznie jaśniejszy gdyby zawierał dokładniejszy schemat/rysunek urządzenia – rysunek 1.2 na str. 19 należałoby uzupełnić o opis elementów konstrukcji urządzenia. Bardzo przydatny byłby również komentarz/definicja dotycząca powierzchni podłużnych (LCS) i poprzecznych (TCS) przekrojów próbek poddawanych badaniom mikrostrukturalnym i biofizycznym.
- W pracy brak jest informacji dotyczącej wspomnianej w tekście obróbki metodą kształtowania obrotowego (RS)
- Lekturę oraz zrozumienie pracy znacznie ułatwiłoby zamieszczenie w niej listy i definicji analizowanych w pracy generowanych w procesie wyciskania defektów strukturalnych i cech mikrostruktury, które decydują o właściwościach tytanu jako materiału stosowanego w medycynie.

Konkludując, wyrażam przekonanie, iż omówione wyżej usterki nie umniejszają wartości naukowej pracy doktorskiej p. mgr inż. Daniela Wojtasa pt. „Establishing the origin of mechanical and biophysical properties in pure titanium processed by an unconventional severe plastic deformation”, która stanowi przykład rzetelnej i systematycznej pracy naukowej w dziedzinie inżynierii materiałów biokompatybilnych. W świetle Art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki praca spełnia wszystkie ustawowe warunki kwalifikujące ją jako rozprawę doktorską. Wniosuję zatem o dopuszczenie p. mgr inż. Daniela Wojtasa do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Kraków, 31 maja 2022.

