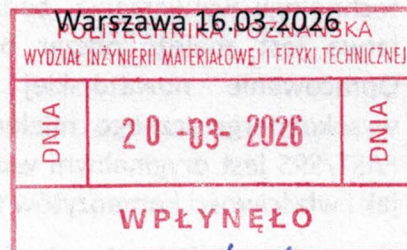


Dr hab. inż. Tomasz Mościcki, prof. IPPT PAN
 Zakład Mechaniki Doświadczalnej
 Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
 Ul. Pawińskiego 5B, 02-106 Warszawa



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. **Jakuba Wiśniewskiego**

pt.: „**Opracowanie technologii wytwarzania kompozytów z proszków WC/Ti techniką FAST/SPS**”

przygotowanej pod kierunkiem:

*Promotora prof. dr hab. inż. Jarosława Jakubowicza
 oraz dr hab. inż. Dariusza Garbca jako Promotora pomocniczego.*

Recenzja opracowana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Poznańskiej, pismo nr DF-63/7/2026 z dnia 5 grudnia 2025 r.

1. Wprowadzenie

Problem zamiany kobaltu na pierwiastek nieznajdujący się na liście surowców krytycznych jest znany od roku 2011, kiedy to wydano pierwszy unijny raport CRM. Jest to związane ze wciąż rosnącym zapotrzebowaniem na kobalt głównie do przemysłu motoryzacyjnego, jak i przenośnych urządzeń elektronicznych, gdzie stosowany jest np. w bateriach. Nie bez znaczenia jest również jego zapotrzebowanie w dziedzinie materiałów narzędziowych stanowiącej około 7% całkowitego zapotrzebowania na ten pierwiastek. Również niska dywersyfikacja wydobycia tego pierwiastka mocno ogranicza jego zastosowanie. Dlatego też konieczne jest opracowanie metodyki zastąpienia go pierwiastkami takimi jak tytan, chrom czy wanad. Znaczący wpływ na właściwości węglików spiekanych ma rozdrobnienie mikrostruktury, głównie w odniesieniu do wielkości ziaren WC. W związku z tym kluczowe jest opracowanie paramentów mielenia tego materiału. Również wysoka reaktywność tytanu względem innych pierwiastków, prowadząca w przypadku węglików wolframu do odwęglenia i utraty ich właściwości, jest poważnym i dotąd nierozwiązanym wyzwaniem. Rozwiązaniem w tym przypadku mogłaby być optymalizacja ilości tego pierwiastka oraz szybki proces spiekania. Metodą, która mogłaby ograniczyć tworzenie się węglika tytanu, jest technika FAST/SPS, dająca możliwość szybkiego nagrzewania i krótkiego czasu spiekania, a także sterowania procesem chłodzenia uzyskanego materiału. Ze względu na to, że aktualnie używane metody otrzymywania węglików wolframu domieszkowanych innym materiałem niż kobalt są wciąż niedoskonałe i

tak naprawdę dotychczas nie opracowano metodologii zamiany kobaltu na inny metal w celu zapewnienia węglikom wolframu odpowiednich właściwości, konieczne jest opracowanie nowych sposobów wytwarzania tych materiałów.

Z tego powodu temat przedłożonej pracy doktorskiej jest uzasadniony od strony poznawczej i aplikacyjnej. Jednocześnie, w świetle istniejącej bazy literaturowej na temat technologii wytwarzania, badania czy nawet modelowania faz węglików spiekanych nie łatwo jest znaleźć obszar badawczy i cele, które dotychczas nie były zrealizowane. Opracowanie nowatorskiej metody syntezy kompozytu WC/Ti z użyciem wysokoenergetycznego mielenia kulowego, a następnie spiekania iskrowo plazmowego FAST/SPS jest oryginalnym wkładem naukowym w dotychczasową wiedzę nt. wytwarzania, jak i właściwości kompozytów z węglików wolframu z osnową inną niż kobalt.

Praca obejmuje określenie technologicznych parametrów procesów w kolejnych etapach niezbędnych do wytworzenia funkcjonalnych spieków węgla wolframu z tytanem. Cały cykl technologiczny uzupełniony jest analizą właściwości eksploatacyjnych uzyskanych spieków, tj.: zbadaniem możliwości aplikacyjnych opracowanego materiału narzędziowego poprzez wytworzenie prototypu płytki skrawającej.

Do wytworzenia kompozytów WC/Ti Doktorant wykorzystał proszki WC, węgla tytanu TiC, oraz czystego tytanu. W pierwszym etapie proszki poddano wysokoenergetycznemu mieleniu kulowemu z czasem mielenia od 5 minut do 10 godzin, z prędkością obrotową w zakresie 200-500 obr/min, stosunek masy kul do masy proszku w zakresie 10:1 i 5:1. Proces głównie był prowadzony na sucho lub z dodatkiem PCA w postaci izopropanolu, lub kwasu stearynowego w ilościach odpowiednio 5% i 1%. Po mieleniu zweryfikowano rozkład wielkości cząstek oraz udział poszczególnych faz (dyfrakcja rentgenowska). Następnie uzyskaną mieszaninę poddano spiekaniu iskrowo-plazmowemu. W wyniku spiekania z użyciem narzędzi grafitowych uzyskano spieki w postaci krążków ($\Phi 30 \times 5$ mm). Proszki o zawartości 5 i 15% tytanu wstępnie spieczono z prędkością nagrzewania 2400 °C/min i następnie czasem spiekania 1 min w temperaturze 1800/2000 °C z ciśnieniem prasowania 100 MPa. Ze względu na brak obecności fazy metalicznej na bazie tytanu, niejednorodności składu chemicznego oraz szybkiemu zużyciu narzędzi obydwa procesy zostały poddane dalszej optymalizacji. W przypadku mielenia proces został skrócony do 3 godzin. Natomiast najlepsze wyniki Doktorant uzyskał dla spiekania przez 4 minuty w temperaturze 1800°C. Ze względu na pękanie próbek przeanalizowano również dwuetapowe chłodzenie z kontrolowaną szybkością oraz zmniejszenie średnicy do 20 mm. Również tempo nagrzewania zostało znacząco zredukowane do 200°C/min, a ciśnienie do 50 MPa. Ostatnim etapem było wykonanie prototypu płytki skrawającej i poddaniu jej testom toczenia stali. Zastosowanie dwóch technik syntezy umożliwiło analizę porównawczą właściwości uzyskanych materiałów dla wielu parametrów procesu zarówno w postaci proszków, a także spieków, co jest także jednym z oryginalnych elementów pracy.

Struktura pracy jest logiczna i przejrzysta. Po przedstawieniu podstawowych danych nt. węglików spiekanych, jak i możliwych materiałów osnowy ze szczególnym podkreśleniem ograniczeń kobaltu, a następnie zwięzłego scharakteryzowania ich właściwości Doktorant przechodzi do metod syntezy kompozytów na bazie WC, a w szczególności do wysokoenergetycznego mielenia oraz przedstawienia metody FAST/SPS. Interesujące jest zestawienie parametrów wpływających na przebieg procesu spiekania, z którego wynika, że aktualnie nie ma prac dotyczących spiekania z bardzo wysokimi prędkościami nagrzewania. Autor rozprawy dodatkowo opisuje problemy z dostępnością kobaltu, co uwypukla

konieczność podjęcia badań. Tę część uważam za dobrze skonstruowaną. Ilość informacji i wybrane źródła literaturowe są wystarczające, aby na ich tle ocenić wyniki uzyskane przez Doktoranta.

Cel pracy mógłby być bardziej precyzyjny, jednakże nie on budzi wątpliwości. W związku z tym, że jest to **doktorat wdrożeniowy** będący częścią programu Ministerstwa Edukacji i Nauki (numer grantu DWD/5/0014/2021) realizowanego w latach 2021-2025, głównym celem może tu być opracowanie technologii. Dodatkowo badania w doktoracie współfinansowane były w ramach programu **LIDER XI** na podstawie umowy LIDER/20/0071/L-11/19/NCBR/2020, co niewątpliwie dodatkowo miało wpływ na szczegółowość i motywację prowadzonych badań. Dlatego też opracowanie kompozytów WC/Ti, a następnie wytworzenie z nich prototypu płytki skrawającej jest głównym celem rozprawy, co stanowi praktyczny i aplikacyjny charakter doktoratu. W rozprawie przedstawiono studia właściwości proszków i spieków takich jak wielkość i skład fazowy proszków, czy mikrostruktura, właściwości mechaniczne, odporność na zużycie cierne, oraz odporność na wysokie temperatury w przypadku materiałów litych, co odnosi się do części naukowej. Ważną częścią badawczo-naukową, są badania otrzymanych materiałów po każdym etapie optymalizacji. Ponieważ doktorat wdrożeniowy nie jest jedynie sprawozdaniem z wykonania prac inżynierskich, lecz naukowym dowodem na nowatorstwo wdrażanego rozwiązania odnajdujemy w rozprawie zarówno elementy analizy naukowej, jak i dążeniu do opracowania wyników technologicznych.

W ogólnej charakterystyce rozprawy warto podkreślić obszerny zakres przeprowadzonych prac, na który składa się zarówno część technologiczna, jak i badawcza. Rozprawa składa się z 6 rozdziałów i wykazu literatury cytowanej w tekście. Wśród 131 pozycji nie ma prac Doktoranta, co jest dziwne, ponieważ w liście jego osiągnięć widnieją 2 publikacje : J. Wiśniewski, M. Marczewski, W. Krzyżaniak, G. Adamek, J. Jakubowicz, D. Garbiec: Characterization of high-energy ball milling of WC-Ti powders and subsequent spark plasma sintering, *Ceramics International*, vol. 51, 15, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2025.02.254> (MNiSW: 100, IF: 5,100, liczba cytowań: 2) oraz J. Wiśniewski, M. Marczewski, G. Adamek, D. Garbiec: Microstructure and properties of composites manufactured by High-Energy Ball Milling and Spark Plasma Sintering from WC-Ti powder mixtures, *World PM2022 Proceedings, European Powder Metallurgy Association, Lyon 2022*, ID 5371810, ISBN 978-1-899072-55-2 ściśle związane z tematyką doktoratu.

Metodyka pracy nie budzi wątpliwości. Uwagę zwraca zwłaszcza rzetelna procedura przygotowania kolejnych procesów skradających się na uzyskanie funkcjonalnych kompozytów WC/Ti w tym analizy mikrostruktury, badania faz czy właściwości mechanicznych na każdym z etapów.

Podsumowanie i wnioski sformułowane są w sposób zwięzły ze wskazaniem najważniejszych ustaleń. Podsumowanie mogłoby jednakże bardziej rozwinąć temat dalszych kierunków badań na bazie wyników uzyskanych w pracy doktorskiej. Przedstawione w rozprawie opracowanie nowoczesnej metodyki i oryginalnej technologii wytwarzania materiałów typu węglików spiekanych **ma fundamentalny i bezpośredni wpływ na dziedzinę inżynierii materiałowej**. Innowacje wprowadzone przez mgr inż. Jakuba Wiśniewskiego oraz optymalizacja wytwarzania kompozytów WC/Ti metodą wysokoenergetycznego mielenia kulowego w połączeniu ze spiekaniem iskrowo - plazmowym nie tylko pozwalają wytwarzać kompozytu na bazie WC bez konieczności użycia

kobaltu, ale także redefiniują sposób, w jaki inżynierowie mogą projektować, badać i wykorzystywać te materiały w przemyśle.

Na stronach 13-15 rozprawy doktorant zamieścił swój dorobek naukowy. Pomimo że Kandydat na stopień doktora realizujący doktorat wdrożeniowy nie musi legitymować się dorobkiem naukowym na poziomie, jak w przypadku doktoratów akademickich, to jest on dobrym poziomem. Mgr inż. Jakub Wiśniewski wykazuje 5 artykułów naukowych w renomowanych czasopismach (sumaryczny impact factor 23,6), przy czym w dwóch z nich jest pierwszym autorem. Dodatkowo ma on również artykuł związany ściśle z tematyką rozprawy w materiałach konferencyjnych. Oprócz publikacji Doktorant jest współautorem trzech zgłoszeń patentowych. Ponadto autor rozprawy wykazuje udział w czterech projektach badawczych, w tym trzech we współpracy międzynarodowej.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

Omawiane w rozprawie zagadnienia materiałowo-technologiczne stanowią obszar ważnej dla zastosowań przemysłowych problematyki wytwarzania materiałów narzędziowych w postaci kompozytów węglik wolframu/metal osnowy, w tym przypadku tytan. Zaproponowany materiał może stanowić alternatywę dla powszechnie stosowanych węglików spiekanych typu WC-Co. W celu zsyntezowania materiału o wymaganych parametrach użytkowych zastosowano połączenie technologii wysokoenergetycznego mielenia kulowego (HEBM) oraz spiekania iskrowo-plazmowego (FAST/SPS). W doktoracie została przeprowadzona optymalizacja parametrów obu procesów, analizując ich wpływ na skład fazowy, mikrostrukturę oraz właściwości mechaniczne uzyskanych kompozytów. Ostatecznym celem było uzyskanie kompozytu WC/Ti i wytworzenie z niego płytki skrawającej o właściwościach zbliżonych lub lepszych od właściwości dostępnych na rynku płytek WC-Co (H10S).

Najbardziej wartościowe elementy pracy to:

- a) Opracowano metodykę wytwarzania nowego materiału w postaci kompozytu WC/Ti, którego właściwości użytkowe mogą być konkurencyjne dla komercyjnych kompozytów WC-Co. Wyznaczona średnia trwałość prototypowych płytek skrawających wykonanych z materiału proszkowego WC/Ti wyniosła około 11 min; w porównaniu do trwałości referencyjnej płytki H10S (około 7 min) badane próbki cechują się zauważalnie lepszą trwałością. Daje to realne perspektywy zastąpienia lub ograniczenia zastosowania kobaltu w materiałach narzędziowych.
- b) Wykazano, że materiałem osnowy nie musi być czysty tytan. Wykazano, że przy zastosowaniu mieszanki z 5% tytanu można uniknąć odwęglenia węglika wolframu i spadku właściwości użytkowych. Jednocześnie powstanie fazy (Ti,W)C pozytywnie wpływa na twardość oraz odporność na pękanie. Uzyskane wartości to ($2530 \pm 23 \text{ HV}_{10}$) oraz odporność na kruche pękanie ($7,95 \pm 0,26 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).
- c) Wytworzony materiał cechuje się korzystnymi właściwościami tribologicznymi w temperaturze pokojowej niezależnie od materiału przeciw próbki. Jednak jego długotrwałe użycie w temperaturze powyżej 600°C , w której dominującym

mechanizmem zużycia jest utlenianie, jest dyskusyjne. Brak znaczącej zmiany współczynnika tarcia w temperaturze 700°C wskazuje na niewielki wpływ utleniania na zachowanie się materiału w warunkach pracy ciernej.

- d) Wykazano, że mielenie wysokoenergetyczne WC/5Ti przez 3 h pozwala uzyskać jednorodny rozkład wielkości cząstek o dominującej frakcji proszku o około mikronowej wielkości ($D_{50} = 1,15 \mu\text{m}$). Proces HEBM prowadzony w taki sposób skutkuje otrzymaniem materiału proszkowego o węglikowej strukturze dwufazowej złożonej z WC i (Ti,W)C.
- e) Dla proponowanego materiału opracowano dwuetapowe chłodzenie z kontrolowaną szybkością (w zakresie 1800–1500°C tępo wynosi 50°C/min, a poniżej jest równe 100°C/min) po procesie spiekania, co pozwoliło na zminimalizowania naprężeń termicznych w próbkach i ich pękania.
- f) Zbadano wpływ zredukowania średnicy próbki z 30 na 20 mm na właściwości mechaniczne materiału oraz skład fazowy. Dzięki bardziej jednorodnemu rozkładowi temperatury w mniejszych próbkach i zmniejszeniu naprężeń uzyskano poprawę twardości oraz odporności na kruche pękanie.
- g) Opracowano metodykę prowadzenia procesów spiekania FAST/SPS z zastosowaniem niespotykanej dotąd w literaturze szybkości nagrzewania przekraczającej 2000°C/min. Modyfikacja zestawu narzędziowego w postaci powłoki BN na folii grafitowej oraz dodatkowej izolacji termicznej pozwoliła na przeprowadzenie procesów spiekania FAST/SPS z nieopisywaną dotychczas w literaturze szybkością nagrzewania nawet rzędu 2400°C/min. Jednakże tak wysoka szybkość nagrzewania powodowała niejednorodność składu chemicznego w skali mikroskopowej oraz szybkie zużycie narzędzi grafitowych na skutek deformacji stempli.

Uwagi krytyczne i dyskusyjne

- a) Ze względu na rozległy zakres badań od zaproponowania materiału, przez jego wytworzenie wymagające zastosowania dwóch zaawansowanych metod, po opracowanie prototypu narzędzia warto byłoby postawić hipotezy badawcze, które umożliwiłyby uszczegółowienie celu pracy i podkreśliły wartość naukową doktoratu.
- b) Prace nad ograniczeniem użycia kobaltu, ale także nad możliwościami użycia mielenia wysokoenergetycznego, czy spiekania FAST/SPS rozwijają się dynamicznie. W pracy brakuje szerszego opisu, jak doktorant zamierza wykorzystać uzyskane wyniki i jakie będą dalsze ścieżki jego badań.
- c) W rozdziale 4.1 autor rozprawy przedstawia charakterystykę materiałów wyjściowych. Co oznacza określenie „wyjściowy”? Wśród wymienionych materiałów są TiC, VC i Cr₃C₂. Jakie było założenie ich zastosowania? Jak wykazują przedstawione w rozprawie badania, każda zmiana składu, czy parametrów wymaga optymalizacji. Skąd wiadomo, że przy innych parametrach lub innych ilościach dodatku węglików VC czy Cr₃C₂ nie uzyskano by lepszych właściwości? Według mojej opinii, wprowadzenie dodatkowych domieszek nie podniosło wartości pracy i mogłoby być pominięte.
- d) W streszczeniu podano szybkość nagrzewania powyżej 2000°C. W treści rozprawy i wnioskach odnajdujemy temperaturę 2400 °C, która niekorzystnie wpływa na narzędzia. Czy zbadano, do jakiej temperatury deformacja narzędzi jest

akceptowalna? Dlaczego ostatecznie Doktorant zdecydował się zastosować szybkość nagrzewania 200°C (Tab.10)? Ogólnie rozdział o spiekaniu z najwyższą prędkością nagrzewania jest mało spójny z resztą rozprawy, ponieważ jako optymalne rozwiązanie wybrano inne parametry. O ile zmiana czasu spiekania została wytłumaczona to dwukrotne zmniejszenie ciśnienia prasowania i dziesięciokrotne zmniejszenie prędkości nagrzewania zostało przemilczane.

- e) Z układu równowagi fazowej W-C wynika, że nawet niewielka zmiana składu odbiegająca od stechiometrycznego WC powoduje powstawanie węglików o niekorzystnych właściwościach. Biorąc pod uwagę, że narzędzia są grafitowe i w trakcie spiekania węgiel może dyfundować do wnętrza próbki, czy zaobserwowano zmiany właściwości z tym związane?
- f) Biorąc pod uwagę wysoką reaktywność tytanu i wpływ na odwęglanie węgla wolframu na jakiej podstawie dobrano składy mieszanki na 5 i 15% Ti? Ponieważ przy 15% Ti można zaobserwować na rys. 30 „zupełne” odwęglenie, czy wiadomo od jakiej zawartości tytanu można zaobserwować taki „zupełny” proces w spiekaniu szybkim? A jak to wygląda dla parametrów po optymalizacji?
- g) Co jest przyczyną pojawienia się fazy W_2C w temperaturze 1700°C (piki około $2\theta = 34^\circ$ i 39° , rys. 43), a potem zgodnie z opisem: „Zawartość tego węgla maleje do pomijalnych wartości w przypadku spiekania w temperaturze powyżej 1700°C...”
- h) Co oznacza minus przy wskaźniku zużycia w 700°C? Czy badano przekroje rowków profilometrem? Czy na pewno na powierzchni próbki jest tlenek wolframu? Biorąc pod uwagę reaktywność tytanu, o której wspomniano przy odwęglaniu raczej należy się spodziewać tlenków tytanu na powierzchni próbki. Czy był badany skład chemiczny lub skład fazowy po teście w temperaturze 700°C? Tlenki tytanu czy wolframu, a w szczególności dwutlenek tytanu TiO_2 lub WO_3 , mogą być stosowane jako składniki smarne (lubrykanty). Biorąc pod uwagę przyrost masy próbki oraz charakterystyczną barwę nalotową po próbie w temperaturze 700°C, oczywistym jest pojawienie się tlenków, które również wpływają na nieznaczne obniżenie współczynnika tarcia rys. 50. Dlatego też nie zgadzam się ze stwierdzeniem, że tlenki nie wpływają na zachowanie się materiału w warunkach pracy ciernej w wysokich temperaturach.
- i) Rysunek 53. Co oznaczają 3 krzywe na każdym rysunku? Czy próbki były ostrzone i poddawane ponownym testom? Co oznaczają nazwy 3474, 3475 i 3476? Czy to próbki wycięte z jednego krążka (próbki), czy trzy różne po 3 procesach spiekania? Jeżeli były to 3 procesy spiekania, czy parametry spiekania były takie same?
- j) We wnioskach napisano: „Wytworzone z opracowanego materiału prototypy płytek skrawających charakteryzują się dłuższym czasem trwałości ostrza oraz zadowalającą jakością obrobionej powierzchni w porównaniu do komercyjnie dostępnego materiału H10S,...” – oprócz pomiarów chropowatości, wniosek taki powinien być również potwierdzony przykładowymi obrazami obrobionych powierzchni zamieszczonymi w rozprawie doktorskiej.

Uwagi dotyczące redakcji pracy

Praca napisana jest w sposób rzeczowy, układ rozdziałów jest logiczny. Edycja końcowa tekstu jest dobra. Elementy rozprawy, które mogłyby być uzupełnione/ poprawione to:

- a) Lista skrótów i symboli pomogła by w analizie rozprawy
- b) Rozdział 4.6 zawiera wypunktowane najważniejsze obserwacje/ wnioski. Szkoda, że nie ma takiego podsumowania po każdym podrozdziale w części 4. (Wyniki badań i dyskusja).
- c) Wprowadzenie artykułów kandydata do stopnia doktora do treści rozprawy (rozdziały: Wstęp, wyniki dyskusja)

3. Wnioski końcowe

Dokonując oceny osiągnięć wynikających z badań własnych Doktoranta, stwierdzam, że zaprezentowane wyniki badań są na wysokim poziomie merytorycznym. Optymalizacja i opracowanie metody łączącej mielenie wysokoenergetyczne ze spiekaniem iskrowo-plazmowym w celu uzyskania w pełni funkcjonalnych kompozytów WC/Ti w zupełności potwierdzają określoną motywację pracy, potwierdzoną wyciągnięciem konstruktywnych wniosków.

W podsumowaniu oceny merytorycznej rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Jakuba Wiśniewskiego można stwierdzić, że prezentując wyniki badań własnych z użyciem zaawansowanych metodyk technologiczno-badawczych, w zupełności zrealizował On założony cel pracy jakim było opracowanie technologii wytwarzania kompozytów WC/Ti, które mogą być konkurencyjne do obecnie stosowanych węglików z osnową kobaltu. Przeprowadzona przez Doktoranta analiza wyników badań stanowi oryginalne i wartościowe opracowanie z dużym potencjałem wiedzy materiałowo-technologicznej w zakresie wytwarzania metodami mielenia wysokoenergetycznego jak i spiekania iskrowo plazmowego odpornych na zużycie materiałów narzędziowych.

Pomimo z reguły zawsze nieuniknionych uwag o charakterze merytorycznym w pracach doktorskich, należy mieć na uwadze, że w opiniowanej monografii – mają one charakter dyskusyjny i stanowią sugestie dla dalszego kształtowania warsztatu naukowo-badawczego Doktoranta, który w mojej opinii wykazał się dobrą umiejętnością planowania eksperymentu w oparciu o znajomość zaawansowanych metodyk technologiczno-badawczych, których wyniki poddane zostały dyskusji merytorycznej z poprawnym wyciągnięciem wniosków końcowych.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone ustawą (Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce / Dz. U. 2018 r. poz. 1689 wraz z późniejszymi zmianami w zakresie nadawania stopni naukowych), wnioskując tym samym o dopuszczenie Pana mgr. inż. Jakuba Wiśniewskiego do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Poznańskiej.



Dokument podpisany
przez Tomasz Mościcki
Data: 2026.03.20
10:05:35 CET

