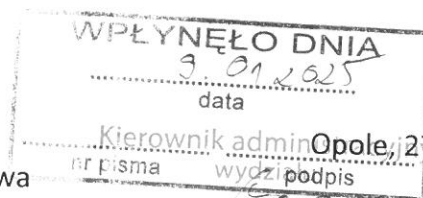


Dr hab. inż. Piotr NIEŚŁONY  
Katedra Technologii Maszyn i Materiałoznawstwa  
Wydział Mechaniczny  
Politechnika Opolska  
ul. Mikołajczyka 5  
45-271 Opole  
tel: +48 77 449 8460  
e-mail: p.nieslony@po.edu.pl



*mgr Kamila Czerniak*

## Recenzja

---

*rozprawy doktorskiej mgra inż. Bartłomieja Krawczyka pt.*

„Metodyka pomiaru gwintów zewnętrznych na tokarkach CNC”

Podstawą opracowania recenzji jest pismo zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 29 października 2024 roku (D/M.075.275.2024).

### 1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przemysł lotniczy jest jednym z głównych motorów napędowych nowoczesnego przemysłu wytwórczego, charakteryzującego się najbardziej innowacyjnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi jak i technologicznymi w obszarze budowy i wytwarzania elementów samolotów, w tym silników lotniczych. Rozwój konstrukcyjny w przemyśle lotniczym pociąga za sobą również rozwój technologii wykonania jak i kontroli podstawowych części konstrukcyjnych wchodzących w skład nowoczesnych elementów urządzeń i podzespołów samolotów. W tym też zakresie gwinty, zarówno wewnętrzne jak i zewnętrzne, z ich wymaganiami konstrukcyjnymi, jakością powierzchni, wytrzymałością i dokładnością są ważnymi elementami podlegającymi ocenie i ciągłej kontroli. Duże znaczenie w przemyśle lotniczym, związane z ich wykorzystaniem jak i problemami technologicznymi, mają gwinty typu Buttress. Gwinty te charakteryzują się niesymetrycznym profilem oraz wysokimi wymaganiami tolerancji wykonania. W trakcie ich wykonywania obserwowane są problemy związane z trudnością w utrzymaniu sztywności podczas obróbki takich cienkościennych elementów, co prowadzi do deformacji i drgań. Dodatkowo rozwój silników lotniczych, gdzie głównie wykorzystywane są tego typu złącza rozłączne, jest ściśle związany z możliwościami wytwórczymi przemysłu obróbkowego w zakresie kształtowania superstopów

żarowytrzymałych. Panujące w strefie gorącej silnika turbinowego warunki pracy determinują stosowanie materiałów zapewniających stabilną, pewną pracę w długich odcinkach czasu. Aktualnie tak wymagającym warunkom pracy są w stanie sprostać jedynie żarowytrzymałe stopy, głównie na osnowie niklu, kobaltu i żelaza, z fazami umocnieniowymi. Zgodnie z oczekiwaniami, ich wysoka wytrzymałość w szerokim zakresie temperatury wpływa na skrawalność, niestety znacząco utrudniając kształtowanie tego typu elementów maszyn obróbką ubytkową. Ten kluczowy aspekt kształtowania tego typu gwintów z trudnoskrawalnych materiałów, którego głównym przykładem może być stop niklu Inconel 718, został zauważony w niniejszej dysertacji i stał się tematem prac badawczych realizowanych przez Doktoranta.

Doktorant, mgr inż. Bartłomiej Krawczyk w swojej rozprawie doktorskiej zajął się bardzo ciekawą i aktualną tematyką możliwości wprowadzenia systemów pomiarowych zintegrowanych z procesem produkcji dla potrzeb kontroli kształtowanych toczeniem zewnętrznych gwintów typu Buttress. Szczegółowo przedstawiono i omówiono różnorodne metody pomiarowe, skupiając się na tradycyjnych technikach stykowych oraz nowoczesnych metodach bezstykowych. Doktorant potwierdził, że stykowe metody, takie jak sprawdziany do gwintów, oferują szybką weryfikację funkcjonalności gwintu, ale nie dostarczają szczegółowych danych wymiarowych. Metoda trójwałeczkowa pozwala na precyzyjne pomiary średnicy podziałowej, ale jest czasochłonna i wymaga operatora z dużym doświadczeniem. Z kolei metody bezstykowe, wykorzystujące mikroskopy optyczne, lasery lub kamery CCD, umożliwiają szybkie i dokładne pomiary, eliminując ryzyko uszkodzenia powierzchni gwintu, jednak ich integracja z systemami CNC (obrabiarkami CNC) jest ograniczona przez warunki panujące w strefie roboczej (ciecze chłodząco-smarujące, zanieczyszczenia, brak miejsca na instalację modułów optycznych itd.).

Produkcja lotnicza, jak i produkcja dla potrzeb przemysłu kosmicznego, jest jedną z najbardziej wymagających dziedzin wytwarzania. Główny aspekt kładziony jest na utrzymanie wysokich standardów jakościowych i zapewnienie niezawodności wyrobu. Doktorant, w swoim obszernym wprowadzeniu i analizie literatury omówił podstawowe kryteria podlegające ocenie w ramach monitorowania wytwarzania części lotniczych na których wykonywane są gwinty. Z tym też problemem związany jest istotny etap wdrażania technologii kształtowania tego typu powierzchni dla których ważnym jest proces uzyskiwania zatwierdzeń wytycznych do wdrażanych technologii.

Zgodnie z założeniami Doktoranta celem naukowym pracy była analiza dostępnych metod pomiaru gwintów zewnętrznych, ich weryfikacja pod kątem możliwości zastosowania bezpośrednio na tokarce CNC oraz opracowanie układu pomiarowego posiadającego cechy determinujące do zastosowania w warunkach produkcyjnych.

Do osiągnięcia tego celu Doktorant przewidział przeprowadzenie szeregu wstępnych zadań badawczych, gdzie w badaniach doświadczalnych ocenie podlegała:

- charakterystyka stanu wyjściowego powierzchni gwintów (topografia powierzchni istotnych) dla wytypowanych trzech typów gwintów,
- jakość warstwy wierzchniej gwintów wytworzonych w procesie toczenia,
- koncepcja możliwości zastąpienia klasycznych, ręcznych pomiarów średnicy podziałowej gwintów pomiarami z wykorzystaniem sond pomiarowych.

W ramach badań zasadniczych Doktorant prowadził prace polegające na weryfikacji automatycznych metod pomiaru gwintu proponowanych w dostępnej literaturze tematu. W tym zakresie wykonano adekwatne, dobrze przygotowane badania możliwości wykorzystania czujnika laserowego liniowego do pomiaru zarysu precyzyjnych gwintów zewnętrznych, jak również badania dokładności i powtarzalności pozycjonowania obrabiarki CNC, która to cecha implikuje możliwość wykorzystania automatycznych metod pomiaru w realnym środowisku wytwórczym. Pan mgr inż. Bartłomiej Krawczyk zauważył również ważny aspekt wpływu konstrukcji sond pomiarowych na możliwości pomiaru gwintów w przestrzeni roboczej obrabiarki CNC.

Zakres zaproponowanych i przeprowadzonych prac eksperymentalnych, przedstawionych w ocenianej dysertacji, należy ocenić bardzo pozytywnie, zarówno w ujęciu wiedzy pozyskanej z badań procesu pomiarowego, jak i umiejętności nabytych w trakcie implementacji zaakceptowanych rozwiązań do realnego środowiska technologicznego.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że:

- Ocenę możliwości realizacji pomiarów gwintów zewnętrznych na obrabiarkach CNC prowadzono dla grupy gwintów o różnych zarysach, co wpływa na uniwersalność tych metod i potwierdza użyteczny charakter prac prowadzonych w ramach dysertacji.
- Dokonano oceny szeregu metod automatycznych pomiarów gwintów na obrabiarkach CNC, wyselekcjonowanych w oparciu o przegląd literatury, przy uwzględnieniu ich funkcjonalności w realnych warunkach pracy.
- W sposób kompleksowy oceniono możliwości wykorzystania układów pomiarowych obrabiarek CNC do pomiarów gwintów, głównie poprzez uwzględnienie szeregu parametrów zakłócających jak i parametrów pracy członów roboczych obrabiarek, w celu odwzorowania realnych warunków funkcjonowania maszyn.

W tym kontekście uważam, że wybór tematu rozprawy dotyczącej metodyki pomiaru gwintów zewnętrznych na tokarkach CNC jest jak najbardziej trafny i uzasadniony.

## 2. Zawartość pracy

Rozprawa zawiera 132 strony i składa się z 6 rozdziałów. Rozdziały są czytelnie, logicznie ułożone, a większość z nich zawiera szereg dobrze zdefiniowanych podrozdziałów.

Praca jest bardzo obszernie zilustrowana. Zawiera 109 rysunków oraz 28 tabel. Spis literatury jest bardzo wyczerpujący i obejmuje aż 164 pozycje. Doktorant wykazał w literaturze rozprawy doktorskiej swój ciekawy, bardzo bogaty dorobek naukowy, podając aż 13 współautorskich swoich prac, zarówno artykułów jak i wystąpień na konferencjach naukowych. Podkreślić należy, że są to artykuły publikowane w dobrych czasopismach o tematyce całkowicie zbieżnej z tematyką swojej rozprawy doktorskiej.

Dysertacja rozpoczyna się spisem treści oraz wykazem ważniejszych oznaczeń i skrótów. Wykaz skrótów jest bardzo pomocny w zrozumieniu treści pracy, szczególnie w przypadku skrótów technicznych i terminologii, która może nie być powszechnie znana, lub jej zastosowanie w pracy nie zawsze jest jednoznaczne.

Pierwszy, numerowany rozdział pracy doktorskiej jest wprowadzeniem, gdzie Doktorant w klarowny sposób opisuje znaczenie połączeń gwintowych w budowie maszyn oraz specyfikę ich zastosowań, szczególnie w przemyśle lotniczym. Podkreślono wagę stosowania stopów żarowytrzymałych oraz omówiono wyzwania związane z ich obróbką mechaniczną, szczególnie w kontekście współczesnych technologii CNC. Historyczne tło oraz nawiązania do współczesnych wyzwań stanowią solidną bazę do zrozumienia dalszych badań.

W drugim rozdziale rozprawy Doktorant przeprowadził studium literaturowe podzielone na kilka podrozdziałów, w ramach których dokonał charakterystyki gwintów, podając podstawowe definicje, podział gwintów oraz ich znaczenie w różnych gałęziach przemysłu, podał metody wytwarzania gwintów w ujęciu technologicznym koncentrując się na takich metodach jak toczenie, frezowanie czy walcowanie gwintów, z naciskiem na ich zalety i ograniczenia, omówił problemy wynikające z materiałów kształtowanych części maszyn, odnosząc się do analizy superstopów niklu i kobaltu, ich właściwości oraz wyzwań związanych z ich obróbką oraz sklasyfikował systemy pomiarowe zarówno klasyczne jak i nowoczesne dedykowane do pomiaru gwintów, w tym metody stykowe i bezstykowych, oceniając również ich zastosowanie w technologii Przemysłu 4.0. Rozdział został zakończony podsumowaniem, w którym wskazano luki badawcze oraz potrzebę dalszych badań w celu doskonalenia procesów technologicznych.

Trzeci rozdział rozprawy zawiera cel i hipotezę pracy. Doktorant w czytelny sposób przedstawia cel pracy, którym jest opracowanie metodyki pomiaru gwintów bezpośrednio na tokarce CNC. Przedstawiono tezę badawczą, gdzie podkreślono możliwość zastosowania zasady „closed door manufacturing”.

Badania wstępne omówił Doktorant w rozdziale czwartym. W rozdziale tym zostały przedstawione badania zaplanowane do realizacji w celu racjonalnego przygotowania się do badań zasadniczych. W ramach tych badań przewidziano analizę topografii gwintów wraz z oceną metodologii ich wykonania, badaniach metalograficzne wyselekcjonowanych gwintów oraz ocenę porównawczą cech geometrycznych gwintów za pomocą wybranych metod pomiarowych. Należy podkreślić, że w każdym przypadku metodyka badań została szczegółowo opisana, a wyniki przedstawiono w formie adekwatnych tabel i wykresów. Rozdział kończy się wnioskami, które stanowią podstawę do dalszych badań.

Najbardziej obszernym rozdziałem pracy jest rozdział piąty, w którym Doktorant przedstawił wyniki badań eksperymentalnych w kilku podrozdziałach. Przedstawiono wyniki badań z zastosowaniem czujnika laserowego liniowego, gdzie prowadzono analizę precyzji pomiarów oraz ich powtarzalności, również oceniano dokładność i powtarzalność pozycjonowania obrabiarki CNC (tokarki WFL M40). W kolejnym kroku w ramach tego rozdziału dokonano porównania sond pomiarowych, głównie w ujęciu oceny różnych rozwiązań technologicznych pod kątem ich efektywności oraz w ramach podsumowania przeprowadzono szacowanie niepewności pomiarowej, które to badania wykonano w oparciu o kompleksową analizę wpływu warunków pomiarowych na jakość wyników. Każdy podrozdział zawiera szczegółowe wyniki badań, omówienie oraz wnioski cząstkowe.

Wnioski z badań zostały przedstawione w logiczny i przejrzysty sposób w rozdziale szóstym. Doktorant wypunktował kluczowe informacje dotyczące metodyki pomiarowej oraz wpływu poszczególnych czynników na jakość gwintów dzieląc je na dwie grupy wniosków o charakterze poznawczym jak i użytecznym. Rozdział zawiera także propozycje dalszych kierunków badań oraz możliwości implementacji wyników w warunkach przemysłowych.

Dysertację zamykają nienumerowane rozdziały obejmujące streszczenie, również w języku angielskim oraz spis literatury.

### **3. Uwagi szczegółowe dotyczące pracy**

1. Analizując rozdział 2, w którym Doktorant przedstawił stan wiedzy na temat kształtowania gwintów zaobserwowano pewne nieścisłości. Proszę doprecyzować, jakimi parametrami różnią się np. typy gwintów przedstawione w tabeli 2.1, a opisane jako Metryczny ISO, MJ, UNJ (dla przemysłu lotniczego) czy rurowe? Z rysunków przedstawionych w tej tabeli wynika, że ich kształt jest taki sam.
2. Odnosząc się do danych literaturowych proszę doprecyzować, jaki był cel przedstawienia rysunku 2.11 w kontekście swojej dysertacji (schemat przekroju silnika odrzutowego)? Czy nie warto byłoby wskazać na tym rysunku obszarów (elementów

konstrukcyjnych silnika), które wymagają wytworzenia połączeń gwintowych omawianych w ramach tej pracy?

3. W pracy zacytowano intrygujące zdanie, które brzmi „Narzędzie skrawające podczas toczenia tego nadstopu szybko się zużywa, głównie z powodu wysokiej temperatury, jaką pochłania płytka, czego przyczyną jest żaroodporność [51]”. Proszę doprecyzować, co rozumie się pod stwierdzeniem temperatury pochłanianej przez płytkę? I czego dotyczy ta żaroodporność? Płytki skrawającej czy materiału obrabianego?
4. Interesujące informacje przedstawił Doktorant na str. 24, w kontekście możliwości pomiarów bezstykowych gwintów, jakie udało się uzyskać w pracach Autora E.S. Gadelmawla. Proszę jednak doprecyzować, co rozumiał Autor pod stwierdzeniem, że „Opracowany przez Gadelmawla system pomiarowy oparty o kamerę CCD pozwala na ocenę aż 18 cech gwintu z dokładnością odbiegającą od standardowych metod pomiarowych o  $\pm 5,4 \mu\text{m}$ ” Dotyczy to odniesienia do metody pomiarowej niezależnie od wymiarów nominalnych mierzonych gwintów, czy zostało to opracowane dla gwintów o ustalonej np. średnicy podziałowej, a jeżeli tak, to jakiej?
5. Dyskusyjne jest sformułowanie opisu celu pracy. Czy celem rozprawy doktorskiej może być analiza metod pomiaru gwintów? Czy nie lepiej wskazać, że analiza jest pewnym etapem osiągnięcia celu, jakim jest określenia racjonalnej metody pomiaru gwintu „na maszynie CNC”, w trakcie procesu jego wykonywania?
6. Przedstawiając w rozdziale 4.1 wyniki swoich badań topografii powierzchni gwintów (bok czynny i bierny) Doktorant prowadził ocenę wyselekcjonowanych parametrów topografii takich jak  $S_a$ ,  $S_q$ ,  $S_{sk}$ ,  $S_{ku}$ ,  $S_p$ ,  $S_v$  oraz  $S_z$ . Na jakiej podstawie wyselekcjonowano właśnie ten zestaw parametrów? I jaki był cel prowadzenia dokładnej analizy parametrów  $S_a$  i  $S_q$ , skoro Doktorant prawidłowo zauważył, że istnieje pomiędzy nimi jednoznaczna korelacja, „co jest naturalne, gdyż parametry te są wzajemnie powiązane ze względu na ich matematyczny opis” (str. 39)?
7. Interesującą obserwację zapisał Doktorant w wnioskach w podrozdziale 4.1.3. Stwierdził, że „Badanie topografii powierzchni metodami optycznymi wymaga prowadzenia pomiarów prostopadle do ocenianej powierzchni. W przypadku gwintów ta powierzchnia nie jest bezpośrednio dostępna, co oznacza, że aby dokonać pomiaru topografii, element musi zostać zniszczony poprzez przecięcie, co z pewnością ogranicza powszechne stosowanie tej metody”. Czy prowadzono badania pomiaru tych powierzchni metodami stykowymi? Czy próbując odwzorować powierzchnię mechaniczną możemy spodziewać się mniej problemów niż w przypadku omawianej powierzchni elektromagnetycznie?

8. Co rozumie Doktorant pod stwierdzeniem, że „Powierzchnie boczne gwintów o zarysie trójkątnym wykazały gorszą jakość powierzchni, zwłaszcza jeśli chodzi o parametry średnie  $S_a$  oraz  $S_q$ ” (str.44)?
9. Doktorant przeprowadził, w podrozdziale 4.2.2, ciekawe podsumowanie oceny mikroskopowej badanych gwintów. Ocenę wykonano poprawnie, jednak dużym ułatwieniem byłoby dodanie odniesień na rysunki (np. ponumerowane strzałki), w celu łatwiejszej identyfikacji obszarów opisywanych w tej analizie.
10. Czy Doktorant prowadził w trakcie swoich badań toczenia gwintów pomiary siły skrawania? Na str.50 stwierdzono, że „na obszarach o dużych kątach zarysu występują istotne siły promieniowe” – skąd te informacje?
11. Bardzo istotne stwierdzenie zawarł Doktorant w podrozdziale 4.3.2, gdzie zapisał, że „maksymalna różnica pomiędzy metodą ręczną i automatyczną wynosi  $3\ \mu\text{m}$ , co potwierdza zasadność zamienności obu metod”. W jaki sposób przyjęto wielkość  $3\ \mu\text{m}$  za graniczną i akceptowalną? Czy można odwołać się w tym przypadku do norm lub innych ustaleń np. zakładowych?
12. Podsumowanie bardzo ciekawych analiz jakości odwzorowania profilu gwintu za pomocą metod bezstykowych przedstawiono w podrozdziale 5.1.2. W tych badaniach uwzględniano również stan powierzchni gwintu (matowa powłoka), czy pochylenie osi gwintu. Czy Doktorant zastanawiał się nad możliwością wyznaczenia skwantyfikowanych parametrów jakości odwzorowania tych powierzchni? W pracy podawano jedynie, że gwint został odwzorowany w dobrym lub gorszym stopniu. Czy możliwe byłoby wykorzystanie takich parametrów jak ilość punktów niemierzalnych lub procentowy udział nieciągłości profilu? Podobne uwagi można odnieść do oceny nie profilu, a chmury punktów (np. str. 74 i opis rys.5.24 oraz 5.25).
13. Czy Doktorant, na podstawie swoich doświadczeń uzyskanych w ramach prowadzonych eksperymentów, widzi możliwość wykorzystania metod bezstykowych w realnych procesach produkcyjnych, gdzie stosowanie cieczy chłodząco-smarujących jest konieczne i nie możliwe do wyeliminowania?
14. Bardzo zaawansowane i przemyślane badania dokładności układu pomiarowego maszyny CNC przeprowadził i omówił Doktorant w rozdziale 5.2. Na rys.5.39 wykazano ciekawy efekt pozycjonowania głowicy narzędziowej w zależności od wartości posuwu. Czy w warunkach praktycznych stosowanie tak dużych posuwów do pozycjonowania głowicy pomiarowej (czujnika) jest racjonalne i wykorzystywane w przemyśle?
15. Dużo uwagi poświęcał Doktorant ocenie warunków termicznych maszyny/układu pomiarowego. Czy można dokonać podsumowania wiedzy wynikającej z tych badań? Jaka jest propozycja Doktoranta odnośnie zapewnienia stabilizacji temperatury

procesu obróbkowego w ujęciu procesu wytwarzania jak i procedur pomiarowych prowadzonych „na maszynie”?

16. W trakcie szacowania niepewności pomiarowej wyliczono klasyczne wielkości statystyczne zebrane w tabeli 5.19. Czy podawanie tych wartości z dokładnością do 0,1 mikrometra jest poprawne?
17. Podsumowując, Doktorant przeprowadził bardzo interesujące analizy statystyczne możliwości oceny błędów pomiarowych średnicy podziałowej dla różnych typów gwintów jak i różnych obrabiarek. Daje to obraz sytuacji odnośnie realnych, utylitarnych zastosowań proponowanej metody pomiarowej. Proszę jeszcze określić czy rozważano, analizowano możliwość oceny innych parametrów gwintów, np. takich jak średnica zewnętrzna, średnica wewnętrzna, skok, kąt zarysu gwintu? Czy te parametry są uznawane w przemyśle lotniczym za istotne podczas oceny jakości produkowanych elementów na bazie Inconelu 718?
18. W wyniku bardzo ciekawych prac przeprowadzonych w ramach niniejszej dysertacji nasuwa się jeszcze pytanie z obszaru ekonomiki procesu. Czy byłoby możliwe określenie czasu realizacji pomiarów kontrolnych w ujęciu pomiarów klasycznych, to jest prowadzonych metodą trójwałeczkową, a pomiarów zautomatyzowanych? Możemy tu mówić zarówno o samym czasie wymaganym do realizacji samego pomiaru jak również o czasie obejmującym uwzględnienie wyników pomiaru do korekty programu obróbczego. Czy takie analizy były prowadzone, w szczególności w kontekście możliwości wdrożenia tej procedury pomiarowej do realnego procesu produkcyjnego jako wynik prac badawczych prowadzonych w ramach doktoratu wdrożeniowego?

#### **4. Uwagi redakcyjne**

Rozprawa jest napisana starannie. Właściwie nie znalazłem w niej większych błędów edytorskich. Rozdziały redagowane są czytelnie, zarówno pod względem stylistycznym jak i edycyjnym. W pracy zachowano jednorodny i dobrze przemyślany układ graficzny, co ułatwia jej zrozumienie. Czytając poszczególne rozdziały widoczna była szczególna staranność w zakresie estetyki informacji graficznych (rysunków, wykresów itd.). Dużo informacji przedstawiono w sposób tabelaryzowany, co ułatwia dokładną analizę danych, a ich interpretacja graficzna, głównie w oparciu o różnego typu wykresy, pozwala na łatwiejsze badania zależności i wyciąganie wniosków badawczych.

W celu uatrakcyjnienia szaty graficznej dobrze byłoby, aby Doktorant spróbował przedstawić informacje graficzne w ujednolicony sposób, dbając o zachowanie wielkości czcionek (np. rys. 5.53), zapewnienie podpisów pod rysunkami tłumaczącym symbole na nich zamieszczone (np.



rys. 2.2) czy pamiętając o problemach z interpretacją wykresów z krzywymi reprezentującymi dane różniące się jedynie kolorami (np. rys. 5.46 – odcienie koloru niebieskiego trudne do rozpoznania).

## 5. Ocena końcowa

Powyższe uwagi krytyczne nie podważają istotnej treści merytorycznej rozprawy ani nie umniejszają osiągnięć Doktoranta, który udowodnił, że posiada dużą wiedzę z zakresu obróbki ubytkowej, w szczególności obróbki skrawaniem oraz metrologii technicznej jak również bogatą wiedzę praktyczną związane z prowadzeniem procesów kształtowania ubytkowego trudnoskrawalnych materiałów lotniczych w warunkach produkcji przemysłowej. Dodatkowo Doktorant wykazał się znacznymi umiejętnościami z zakresu planowania i przeprowadzenia badań eksperymentalnych, jak i opracowania i merytorycznej analizy ich wyników.

Uważam, że uwagi zawarte w recenzji mogą być przedmiotem analiz w dalszej działalności badawczej i publikacyjnej Doktoranta. Podkreślam, że część uwag ma charakter pytań i sugestii do wykorzystania na przyszłość. Ponadto stwierdzam, że postawiony w pracy główny cel naukowy oraz wynikający z tego cel praktyczny zostały osiągnięte.

Doktorant wykazał się dużą praktyką w operowaniu warsztatem badawczym, a swoje eksperymenty prowadził w przemyślany, racjonalny sposób. Należy podkreślić, że badania i testy eksperymentalne, które Doktorat zaplanował na potrzeby realizacji tej pracy, obejmowały różne obszary badawcze odnoszące się między innymi do metrologii współrzędnościowej, zarówno obszarze pomiarów kontaktowych jak i bezkontaktowych, analizy obrazu, topografii powierzchni czy opracowań statystycznych.

Jak w każdym, dobrze prowadzonych badaniach eksperymentalnych, także i w tym przypadku Autor zauważył niedociągnięcia i braki, które proponuje uzupełnić w ramach dalszych badań. Jest to godna podkreślenia pozytywna cecha naukowca, który wie i rozumie, że nie ma możliwości takiego zaplanowania eksperymentu, aby całkowicie wyczerpać problem badawczy.

Podsumowując należy stwierdzić, iż wśród wielu nowych zagadnień spotykanych w nowoczesnej obróbce skrawaniem trudnoskrawalnych materiałów konstrukcyjnych Pan mgr inż. Bartłomiej Krawczyk potrafił znaleźć istotny, z punktu widzenia naukowego, użyteczny jak i aplikacyjny, obszar badawczy, w ramach którego możliwe stało się określenie jak najbardziej racjonalnej metody automatycznego pomiaru gwintów zewnętrznych na tokarce CNC.

Wynikiem pracy Doktoranta jest dysertacja, która stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a zawarte w niej informacje potwierdzają dużą, ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i umiejętność samodzielnego prowadzenia

prac naukowych. **Potwierdzam, że przedstawiana do oceny rozprawa doktorska wpisuje się, w zakresie zaprezentowanej wiedzy teoretycznej jak i badań naukowych, w dyscyplinę inżynieria mechaniczna.**

Dodatkowo należy zauważyć i podkreślić, że poprzez zastosowanie szeregu metod badawczych, obejmujących badania metrologiczne, metalograficzne, oceny wpływu dynamiki procesu pozycjonowania na dokładność układów roboczych czy wpływu budowy przyrządów pomiarowych, Autor uzyskał kompleksową wiedzę umożliwiającą wdrożenie najbardziej racjonalnego rozwiązania pomiaru gwintu na obrabiarkach CNC do realnej praktyki przemysłowej. Potwierdzeniem tego faktu mogą być publikacje w renomowanych czasopiśmie, w których Doktorant przedstawił ważniejsze wyniki swoich badań zawartych w rozprawie tj.:

- Bartłomiej Krawczyk, Piotr Szablewski, Michał Mendak, Bartosz Gapiński, Krzysztof Smak, Stanisław Legutko, Michał Wieczorowski, Edward Miko: Surface Topography Description of Threads Made with Turning on Inconel 718 Shafts, Materials - 2023, vol. 16, iss. 1, s. 80-1-80-13,
- Bartłomiej Krawczyk, Piotr Szablewski, Bartosz Gapiński, Michał Wieczorowski, Rehan Khan: On-Machine Measurement as a Factor Affecting the Sustainability of the Machining Process, Sustainability - 2024, vol. 16, iss. 5, s. 2093-1-2093-14

Należy również zauważyć, że wybitna jak na doktoranta aktywność publikacyjna pozwoliła mu osiągnąć znaczące wskaźniki bibliometryczne. Aktualnie indeks Hirscha Pana Bartłomieja Krawczyka to 5, a wskaźnik cytowań to 51. Tym samym chciałbym zgłosić rozprawę Pana Bartłomieja Krawczyka do wyróżnienia w trybie przewidzianym zgodnie z regulaminem postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna na Politechnice Poznańskiej.

## 6. Wniosek końcowy - konkluzja

Całość rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Bartłomieja KRAWCZYKA pt. „Metodyka pomiaru gwintów zewnętrznych na tokarkach CNC” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, zarówno w aspekcie technologicznym jak i praktycznym, a przedstawione w dysertacji rozwiązanie problemu naukowego potwierdza bardzo dobrą ogólną wiedzę teoretyczną jak i praktyczną Doktoranta z inżynierii mechanicznej i wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa doktorska opatrzona jest odpowiednim streszczeniem w języku angielskim. Wypełnienie tych wymogów umożliwia sformułowanie wniosku o spełnieniu warunków określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.). W związku z powyższym wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna w Politechniki Poznańskiej o **przyjęcie tej rozprawy i o dopuszczenie Autora**, Pana mgra inż. Bartłomieja KRAWCZYKA, do publicznej obrony w ramach **dyscypliny inżynieria mechaniczna**.

