

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Maj pt. *Analiza wpływu wybranych warunków obróbki na dokładność wymiarowo- kształtową przedmiotów wytwarzanych na frezarkach sterowanych numerycznie*

Promotor: dr hab. inż. Edward Miko, prof. PŚk

Recenzja została opracowana na podstawie pisma Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach dr hab. inż. Sławomira Błasiaka, prof. PŚk nr MAA-510/04/2022 z dnia 11.01.2022 i stosownej umowy o dzieło.

1. Tematyka rozprawy

W ujęciu ogólnym, tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej dotyczy określenia zależności pomiędzy parametrami procesu skrawania a dokładnością wymiarowo-kształtową obrabianych części maszyn oraz podejmuje próbę oszacowania wpływu wybranych parametrów obróbki na tolerancję geometryczną kształtu obrabianych przedmiotów.

Obróbka skrawaniem mimo upływu lat stanowi wciąż podstawową technikę wytwarzania części maszyn. Silna presja ze strony rynku wymusza ciągle doskonalenie procesów wytwarzania zmierzające zarówno w kierunku podnoszenia dokładności wymiarowo-kształtowej produkowanych części oraz polepszenia jakości ich powierzchni przy jednoczesnym zachowaniu wskaźników ekonomicznych produkcji. W tym miejscu należy podkreślić, że zdecydowana większość badań dotyczących wpływu parametrów procesu obróbki na dokładność wymiarową obrabianych części skupia się głównie na identyfikacji źródeł powstających błędów i ich wpływie na dokładność i chropowatość powierzchni. Tylko nieliczne prace rozważają kompensację błędów powstających po stronie obrabiarki, na przykład poprzez korektę toru ruchu narzędzia. W związku z tym, podjęta przez pana mgr inż. Piotra Maj tematyka rozprawy doktorskiej jest aktualna nie tylko z punktu widzenia poznawczego, lecz także w aspekcie użytkowym, technologicznym i eksploatacyjnym części maszyn. Należy podkreślić aktualność i oryginalność tematu podjętego w recenzowanej rozprawie doktorskiej. Stanowi ona kompleksowe opracowanie

ukazujące wpływ wybranych parametrów procesu skrawania na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotów frezowanych, oraz korelację pomiędzy badanymi parametrami a tolerancją wymiarową produkowanych części.

Podsumowując, podjętą tematykę rozprawy uważam za nowatorską i bardzo ważną w aspekcie pragmatycznym, a w ten sposób oceniam jak najbardziej pozytywnie.

2. Ogólna ocena treści, układu i zakresu rozprawy

Rozprawa liczy 138 stron i składa się z 7 rozdziałów, spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń i skrótów, spisu literatury obejmującego 84 pozycje, spisu tabel, oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Rozdział 1 **Wprowadzenie** do rozprawy doktorskiej, Autor rozprawy charakteryzuje problematykę dokładności wymiarowej przedmiotów obrabianych skrawaniem, a następnie wskazuje przedmiot zrealizowanych badań.

Rozdział 2 **Analiza zagadnienia** w sposób skrótowy przedstawia aktualny stan zagadnienia w oparciu o wyniki prac różnych badaczy. W pierwszej części tego rozdziału Autor omawia czynniki wpływające na dokładność wymiarowo-kształtową części po obróbce skrawaniem i dzieli je na czynniki wynikające z pracy maszyny, czynniki związane z realizowanym procesem obróbkowym oraz wynikające z pracy narzędzia. Dalej opisuje konieczność identyfikacji przyczyn powstawania błędów kształtu i wskazuje na znaczenie metodyki badania maszyn i procesu wytwarzania. Wymienia rodzaje błędów zazwyczaj poddawanych analizie i katalogowaniu, oraz dokonuje ich podziału na błędy dynamiczne i systematyczne. Autor podkreśla również wpływ samego narzędzia, a zwłaszcza jego zużycia na dokładność wymiarowo kształtową obrabianych przedmiotów i na chropowatość powierzchni obrobionej. W dalszej części rozdziału Autor skupia się na znaczeniu stanu technicznego obrabiarki i wspomina o możliwości kompensowania programowego toru ruchu narzędzia w celu podniesienia dokładności obróbki. Wskazuje również, że czynniki środowiskowe, a w tym temperatura mogą posiadać istotnym wpływ na dokładność obróbki. Zwraca też uwagę na możliwość wykorzystania pomiarów przedmiotu testowego do identyfikacji źródła błędu, oraz na fakt, że takie pomiary mogą być zależne od użytego oprzyrządowania i zastosowanej metodyki pomiaru. Na koniec Autor wymienia jakie wielkości badacze zazwyczaj zbierają i analizują, oraz akcentuje, że zwykle działania te skupiają się na oszacowaniu ich wpływu na chropowatość powierzchni. Jednocześnie wskazuje na niedobór wiedzy w zakresie wyznaczenia korelacji między poszczególnymi parametrami obróbki a dokładnością wymiarowo-kształtową w odniesieniu do tolerancji błędów geometrycznych obróbki.

Podsumowując rozdział 2 rozprawy mogę stwierdzić, że Autor w sposób wyczerpujący przedstawił istotę oraz przegląd metod identyfikacji czynników wpływających na dokładność wymiarowo-kształtową obrabianych części maszyn oraz na chropowatość ich powierzchni. Niemniej jednak poruszana problematyka, w mojej opinii, została przedstawiona zbyt pobieżnie i w sposób nieuporządkowany, zwłaszcza, że w literaturze znaleźć można bardzo wiele prac dotyczących identyfikacji i badania czynników wpływających na dokładność wymiarowo-kształtową i chropowatość powierzchni przedmiotów wytwarzanych z zastosowaniem obróbki wiórowej. W niniejszym rozdziale zabrakło np. tabelarycznego zestawienia metodyki badań, i konkretnych przykładów, których analiza mogłaby dostarczyć istotnych informacji dotyczących zjawisk oraz parametrów wejściowych wpływających na dokładność wymiarowo-kształtową i chropowatość powierzchni obrabianych przedmiotów.

Rozdział 3 **Cel i zakres pracy** zawiera trzy podrozdziały, w których Autor przedstawia hipotezy pracy, cel i zakres pracy oraz wskazuje elementy nowości zawarte z pracy.

W podrozdziale 3.1 Autor sformułował dwie hipotezy pracy. W moim odczuciu hipotezy zostały sprecyzowane szczegółowo i jednoznacznie.

W podrozdziale 3.2 przedstawiony jest cel pracy oraz składający się z 6 punktów zakres pracy. Sformułowany przez Autora cel i zakres rozprawy jest jednoznaczny i wskazuje na kompleksowość badań własnych, obejmujących badania eksperymentalne, szereg analiz oraz opracowanie modelu zależności.

W podrozdziale 3.3 Autor wymienia trzy elementy nowości zawarte w pracy. Wymienione elementy dobrze korespondują z całością założenia badawczego i będą stanowić unikalną wartość pracy.

Rozdział 4 **Opis metody eksperymentu** dotyczy charakterystyki planu badań. Doktorant opisuje tu kolejne etapy realizowanych badań, omawia założenia wstępne i uproszczenia przyjęte przy budowie modelu, zasady prowadzenia obliczeń, analiz matematycznych oraz wyznaczania korelacji pomiędzy badanymi parametrami.

Rozdział 5 **Metodyka badań doświadczalnych** składa się z ośmiu podrozdziałów i opisuje wykorzystywaną aparaturę badawczą oraz sposób prowadzenia badań eksperymentalnych.

W podrozdziale 5.1 Autor szczegółowo opisuje możliwości pomiarowe zastosowanej w badaniach aparatury badawczej. Uwagę swoją skupia na urządzeniach do pomiaru błędów maszyny, mikrogeometrii powierzchni i maszynowych pomiarach wymiarów przedmiotów testowych.

Podrozdział 5.2 poświęcony jest charakterystyce badanych maszyn obróbkowych. Autor szczegółowo opisuje tu każdą z trzech badanych frezarek oraz przytacza ich parametry techniczne i użytkowe.

Podrozdział następny (5.3) zawiera podstawowe informacje o materiale obrabianym oraz charakterystykę narzędzi wykorzystywanych w badaniach. Doktorant wymienia tutaj dwa frezy trzpieniowe i głowicę frezową w której montowane były wymienne ostrza węglkowe o dwóch rodzajach powłok ochronnych.

Podrozdział 5.4 dotyczy metod pomiaru błędów wynikających z konstrukcji obrabiarki i składa się z trzech podrozdziałów, w których autor omawia kolejno: metodę pomiaru dokładności pozycjonowania osi, metodę pomiaru dokładności przemieszczeń liniowych i kątowych, oraz metodę pomiaru prostoliniowości przemieszczania się osi. W tym miejscu należy podkreślić dobre zilustrowanie omawianych zagadnień. Przykładowo, rysunek 29 przedstawia przebieg rzeczywistego przemieszczenia wykonanego w osi Y, w odniesieniu do drogi uznawanej przez obrabiarkę za rzeczywistą.

Podrozdział 5.5 zawiera opis metody prowadzenia pomiarów błędów geometrycznych obrabiarki z użyciem urządzenia Ballbar firmy Renishaw podczas wykonywania interpolacji kołowej. Autor przedstawia w sposób zwięzły i przejrzysty procedury dokonywania pomiarów ilustrując całość odpowiednimi zdjęciami.

W podrozdziale 5.6 Doktorant opisuje metodykę badań których celem było oszacowanie wpływu strategii obróbki na dokładność końcową frezowanego czopa. Przedstawiony opis nie budzi wątpliwości, jest precyzyjny i opatrzony dobrym materiałem ilustracyjnym.

W kolejnym podrozdziale (5.7) Autor skrótkowo pokazuje procedurę pomiarów zużycia narzędzia w wyniku którego ustalano następnie wpływ wybranych parametrów zużycia narzędzia na parametry chropowatości powierzchni obrobionej. W opisie wymienione zostały narzędzia skrawające, parametry obróbki, urządzenia pomiarowe oraz parametry procesu pomiarowego.

Podrozdział 5.8 z kolei przedstawia rysunek techniczny testowego przedmiotu obrabianego. Przedmiot ten wykorzystywany był do oszacowania wpływu zużycia narzędzia na wybrane parametry dokładności obrobionej powierzchni. Opis zawiera informacje o rodzaju materiału obrabianego, o narzędziu oraz tabelę z parametrami obróbki. Sprawdzenie rzeczywistych wymiarów przedmiotu obrabianego przeprowadzono na maszynie współrzędnościowej. W podobny sposób Autor opisuje metodykę wyznaczania zależności błędów średnicy od parametrów obróbki, takich jak: prędkość posuwu, prędkość obrotowa, czy zachodzenie narzędzia w kolejnych ścieżkach. W dalszej części, zamieszcza rysunek techniczny dodatkowego przedmiotu testowego, opis narzędzia, parametry obróbki oraz opis sposobu prowadzenia pomiarów.

W rozdziale 6 pod tytułem: **Wyniki badań i ich ocena** Doktorant zajął się opracowaniem i analizą uzyskanych wyników badań. Rozdział podzielony jest na pięć podrozdziałów, w których kolejno pokazane są: analiza przemieszczeń organów roboczych maszyny, analiza błędów geometrycznych maszyny, ocena dokładności wykonania czopa, analiza wpływu zużycia narzędzia oraz analiza dokładności wymiarowo-kształtowej przedmiotu testowego.

W pierwszym podrozdziale (6.1) Autor analizuje wykresy pozycjonowania organów roboczych maszyny dla każdej z osi i wskazuje zużycie eksploatacyjne oraz kolizje jako potencjalne przyczyny ich powstania. Następnie omówiona jest i dobrze zilustrowana na wykresach analiza przemieszczeń liniowych i kątowych w każdej z osi badanej maszyny oraz ich wzajemne oddziaływanie. Brak tu jednak próby wskazania źródła wykazanych błędów przemieszczeń. W dalszej kolejności Doktorant omawia błędy prostoliniowości przemieszczania się stołu obrabiarki. Szkoda, że Autor nie dokonał pogłębionej analizy uzyskanych wyników, gdyż wskazana przez niego przyczyna w postaci naprężenia układu lub brak jego sztywności nie uwzględnia wszystkich możliwych źródeł błędu. Badana maszyna to obrabiarka używana w przemyśle, dlatego pierwszym skojarzeniem wydaje się zużycie eksploatacyjne współpracującej pary śruba-nakrętka.

W drugim podrozdziale Autor pokazuje i omawia raporty diagnostyczne błędów geometrycznych wykonane dla płaszczyzn XY, YZ oraz ZX. W mojej ocenie przedstawiona analiza jednak niepełna, gdyż nie podjęto próby wskazania źródła zaistniałych błędów.

Podrozdział następny (6.3) dotyczy oceny dokładności wymiarowo-kształtowej wykonania czopa. W trakcie badań wyznaczano odchyłkę promieniową okrągłości, błąd walcowości oraz mikrogeometrię powierzchni po obróbce. Przedstawione wyniki badań pokazały, że dobór strategii obróbki ma istotny wpływ na końcową dokładność wymiarowo-kształtową obrabianych elementów. Niektóre strategie mogą powodować niekorzystne sumowanie się błędów maszyny, co w znaczący sposób obniża zarówno dokładność wymiarową obrabianych elementów oraz niekorzystnie wpływa na topografię ich powierzchni.

W podrozdziale 6.4 Doktorant pokazuje korelacje pomiędzy zużyciem ostrzy skrawających a pogorszeniem wybranych parametrów chropowatości powierzchni obrobionej. Zamieszczona analiza zawiera opis charakteru zużywania się badanych ostrzy o różnej konfiguracji powłok ochronnych, obrazy topografii powierzchni i krótkie omówienie wyników. W moim odczuciu w podsumowaniu pokazanych wyników brak jest wzajemnego porównania wyników uzyskanych dla obu badanych ostrzy.

Następny podrozdział (6.5) opisuje wpływ parametrów procesu obróbkowego na dokładności wymiarowo-kształtową przedmiotu testowego. Przedmiotem badania jest korelacja z odchyłką średnicy, wysokości, walcowości i współosiowości elementów osiowo symetrycznych. Ponadto, korelacja z odchyłką płaskości powierzchni,

wysokości sześcianu, prostopadłości i równoległości powierzchni oraz kąta i dystansu między powierzchniami. Autor przytacza wartości liczbowe wyników eksperymentalnych, pokazuje tok obliczeniowy, opisuje przebieg zmienności analizowanych parametrów i określa stopień ich zależności. Dodatkowo pod koniec rozdziału zamieszcza szczegółową analizę zależności odchyłki średnicy, okrągłości i walcowości od skojarzonych parametrów wejściowych f , a_p , oraz k .

Podsumowując ten rozdział rozprawy mogę stwierdzić, że Autor w sposób wyczerpujący i interesujący dla czytelnika przedstawił analizy wpływu parametrów procesu obróbkowego na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotów frezowanych. Uzyskane wyniki mogą znacząco pomóc w optymalizowaniu procesów technologicznych pod kątem zwiększenia dokładności obróbki. Niestety mankamentem tego rozdziału jest brak podsumowania.

Rozdział 7 przedstawia **Wnioski**, które stanowią podsumowanie rozprawy doktorskiej. Rozdział ten podzielony został na dwa podrozdziały.

W pierwszym nich (podrozdział 7.1) Autor formułuje 9 wniosków, w których w syntetyczny sposób przedstawia najważniejsze konkluzje wynikające z przeprowadzonych badań i analiz.

Podrozdział 7.2 to dalsze kierunki pracy, które są bardzo ważne dla rozwoju naukowego Autora, oraz co należy podkreślić, dla rozwoju opracowanej przez Autora koncepcji oceny wpływu wybranych parametrów procesu obróbkowego na dokładność wymiarowo-kształtową oraz mikrogeometrię powierzchni przedmiotów wytwarzanych na frezarkach CNC. Stanowi to podkreślenie walorów pragmatycznych rozprawy.

Literatura obejmuje zestawienie łącznie 84 pozycji, zarówno książek, artykułów naukowych, źródeł internetowych oraz norm ISO. Dobór literatury uważam za poprawny i aktualny. Słabą stroną prezentowanego wykazu jest brak daty dostępu w przypadku źródeł internetowych.

Ogólna kompozycja rozprawy zasługuje na ocenę pozytywną. Autor poprawnie przyjął kolejność rozdziałów i w większości przypadków dokonał prawidłowego podziału treści na rozdziały i podrozdziały. Praca zawiera jednak pewne błędy interpunkcyjne oraz językowo-stylistyczne. W mojej opinii niedociągnięcia te nie wpływają znacząco na czytelność i zrozumiałość treści, a w ten sposób nie umniejszają znaczących walorów naukowych pracy.

Podsumowując ogólną ocenę treści rozprawy chciałbym przedstawić jej najważniejsze zalety naukowe, wskazujące jednocześnie na osiągnięcia naukowe Autora:

- kompleksowe podejście do problemu badawczego obejmujące nie tylko przeprowadzenie badań doświadczalnych, szeregu obliczeń analitycznych oraz statystycznych niezbędnego do wyznaczenia korelacji badanych czynników,
- ustalenie istotnych związków pomiędzy warunkami i parametrami procesu obróbkowego, a dokładnością wymiarowo-kształtową obrabianych elementów,
- opracowanie zaleceń dotyczących doboru parametrów obróbkowych (f , a_p , k) w celu minimalizacji błędów obróbki takich jak: odchyłki wymiarów, okrągłości, walcowości czy błędy kształtu.

3. Uwagi do rozprawy doktorskiej

W niniejszej części recenzji zaprezentuję pewne uwagi, a także fragmenty rozprawy wymagające dodatkowych komentarzy i wyjaśnień ze strony Autora. Chciałbym zaznaczyć, iż w większości przypadków uwagi te mają charakter dyskusyjny, a nie stanowią bezpośredniego stwierdzenia niedociągnięć lub błędów.

- **Rozdział 2. „Analiza zagadnienia”, str. 7:** W moim odczuciu rozdział ten został opracowany zbyt pobieżnie i co najważniejsze brak w nim podsumowania z którego następnie wynika uzasadnienie dla przyjętego celu i zakresu pracy.
- **Rozdział 5.4.3. „Pomiar prostoliniowości przemieszczania się osi”, str. 34:** podpis pod rysunkiem 29, zwrot: *„droga wykonywana przez obrabiarkę”* jest błędny i powinien zostać zmieniony na: *„drga wykonywana przez organy robocze obrabiarki”*.
- **Rozdział 5.5. „Metoda pomiaru błędów geometrycznych obrabiarki”, str. 36:** zdanie: *„Celem odskoku było wychwycenie przez aparaturę odpowiednio początku pomiaru, zmianę kierunku wykonywania interpolacji kołowej i końca badania.”* powinno być sformułowane w następującej postaci: *„Celem odskoku było wychwycenie przez aparaturę odpowiednio początku pomiaru, zmiany kierunku wykonywania interpolacji kołowej i końca badania.”*.
- **Rozdział 5.7. „Pomiar zużycia ostrza”, str. 40:** zwrot: *„wybrane parametry dokładności powierzchni obrobionej”*. W moim odczuciu chodzi raczej o chropowatość powierzchni.

- **Rozdział 5.7. „Pomiar zużycia ostrza”, str. 41:** zwrot: „częstotliwość próbkowania wynosiła $0,125 \mu\text{m}$ ” jest nielogiczny, gdyż jednostką częstotliwości jest Hz.
- **Rozdział 6.1.1. „Ocena dokładności pozycjonowania”, str. 49:** zdanie: „Analiza raportu osi y (rys. 50)... .” posiada oznaczenie osi wpisane małą literą, tymczasem osie oznaczamy literami dużymi.
- **Rozdział 6.2. „Analiza błędów geometrycznych”, str. 59 i 60:** zwroty: „nieznacznie przekracza lub znacząco przekracza” są subiektywne i badaną wielkość określają w sposób nieprecyzyjny. Moim zdaniem te i podobne opisy powinny być uzupełnione wartością liczbową.
- **Rozdział 6.3. „Ocena dokładności wykonania czopa”, str. 64:** zdanie: „Dodatkowo dla próbek wykonanych w każdej strategii określono punkty wykonania pomiarów warstwy wierzchniej.”. Moim zdaniem Autor miał na myśli pomiary topografii i chropowatości powierzchni, a to nie jest tożsame z pomiarami warstwy wierzchniej.
- **Rozdział 6.3. „Ocena dokładności wykonania czopa”, str. 64:** zdanie: „Miejsce wejścia/wyjścia narzędzia (rys. 69), powierzchnia boczna (rys. 70) oraz miejsce zmiany przemieszczania się osi (rys. 71).” powinno być sformułowane w następującej postaci: „Miejsce wejścia/wyjścia narzędzia (rys. 69), powierzchnia boczna (rys. 70) oraz miejsce zmiany kierunku przemieszczania się osi (rys. 71).”.
- **Rozdział 6.3. „Ocena dokładności wykonania czopa”, str. 68:** zdanie: „Celem uzyskania najlepszych parametrów warstwy wierzchniej przy wykonaniu ruchu narzędzia po łuku zaleca się aby wykorzystywać podstawowe osie obrabiarki X i Y.” Nie jestem pewien co Autor miał na myśli - warstwę wierzchnią czy chropowatość (topografię) powierzchni?
- **Rozdział 6.4. „Analiza wpływu zużycia narzędzia”, str. 71:** zdanie: „Płytką z powłokami TiC/TiN, Ti(C,N)+Al₂O₃ jest dwa razy mniej podatna na zużycie niż płytką z powłoką Ti(C,N)+Al₂O₃.” powinno być sformułowane w następującej postaci: „Płytką z powłokami TiC/TiN jest dwa razy mniej podatna na zużycie niż płytką z powłoką Ti(C,N)+Al₂O₃.”.
- **Rozdział 6.4. „Analiza wpływu zużycia narzędzia”, str. 71:** zdanie: „Stwierdzono, że płytką z większą ilością powłok będzie dłużej skrawać

powierzchnię.” jest mylące, gdyż trwałość powłok ochronnych nie zależy od ilości warstw ochronnych lecz od ich konfiguracji.

- **Rozdział 6.4. „Analiza wpływu zużycia narzędzia”, str. 76:** zdanie: „Na podstawie wyników (rys. 85) stwierdzono, że po 2520 sekundach rozpoczął się proces ścierania zewnętrznych powłok płytki skrawającej.” powinno być sformułowane w następującej postaci: „Na podstawie wyników (rys. 85) stwierdzono, że po 2520 sekundach skrawania rozpoczął się proces utraty zewnętrznych powłok płytki skrawającej.”
- **Rozdział 6.5. „Dokładność wymiarowo kształtowa przedmiotu próbnego”, str. 87:** zdanie: „Analiza modelu po oszacowaniu parametrów strukturalnych wykazała liniową zależność zmian parametrów wejściowych względem wyjściowych.” powinno być sformułowane w następującej postaci: „Analiza modelu po oszacowaniu parametrów strukturalnych wykazała liniową zależność zmian parametrów wyjściowych od wejściowych.”
- **Rozdział 6.5. „Dokładność wymiarowo kształtowa przedmiotu próbnego”, str. 88:** zdanie: „Ocena zebranych danych (tabela... . . .” powinno rozpoczynać się w następujący sposób: „Ocena zebranych danych (tabela... . . .”
- **Rozdział 6.5. „Dokładność wymiarowo kształtowa przedmiotu próbnego”, str. 104:** zdanie: „Model zachowania f i a_p ” powinno rozpoczynać się w następujący sposób: „Przebieg zmienności odchyłki walcowości w zależności od parametrów f i a_p ”. Autor w wielu innych miejscach używa słowa „zachowanie” do opisu zależności, a to może utrudniać analizę omawianych wyników.
- **Rozdział 6.5. „Dokładność wymiarowo kształtowa przedmiotu próbnego”, str. 105:** zwrot: „wraz ze zwiększeniem kroku narzędzia” moim zdaniem powinien być inaczej sformułowany, np.: „wraz ze zmniejszeniem zachodzenia narzędzia”.
- **Rozdział 7.2. „Kierunki dalszych badań”, str. 109:** zdanie: „Opracowanie zbiorczego zestawienia zachowania czynników” powinno rozpoczynać się w następujący sposób: „Opracowanie zbiorczego zestawienia oddziaływania czynników”

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując recenzję stwierdzam, że mgr inż. Piotr Maj zdefiniował, a następnie rozwiązał istotny i aktualny problem naukowy dotyczący wpływu wybranych warunków obróbki na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotów wytwarzanych na frezarkach sterowanych numerycznie. W ramach badań własnych zaproponował metodykę wyznaczania korelacji pomiędzy parametrami procesu obróbkowego a dokładnością wymiarowo-kształtową obrabianych części oraz opracował modele matematyczne opisujące wpływ tych parametrów na odchyłki wymiarów i kształtu przedmiotu. Sformułowanie tych modeli wymagało od Autora dużej wiedzy w dziedzinie obróbki skrawaniem, dynamiki procesu oraz dobrej znajomości środowiska obliczeniowego SMath Studio Desktop. Świadczy to o wysokim poziomie naukowym Doktoranta i jednocześnie potwierdza jego gotowość do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dyscyplinie inżynierii mechanicznej.

W świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa mgr. inż. Piotra Maj pt. *Analiza wpływu wybranych warunków obróbki na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotów wytwarzanych na frezarkach sterowanych numerycznie* w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy (art. 13 ust. 1 Ustawa z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21.06.2016r., poz. 882)) i może stanowić podstawę do nadania Autorowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Może być, zatem dopuszczona do publicznej obrony.

