



POLITECHNIKA POZNAŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ
ZAKŁAD PROJEKTOWANIA TECHNOLOGII

Prof. dr hab. inż. Stanisław LEGUTKO
prof. h. c.

ul. Piotrowo 3 60-965 Poznań
tel. (0-61) 665-25-77, fax
(061) 665-22-00
e-mail: stanislaw.legutko@put.poznan.pl

Poznań, 10.03.2022r.

Recenzja nr 49/dr/SL
rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Maja pt.
Analiza wpływu wybranych warunków obróbki na dokładność wymiarowo-kształtową
przedmiotów wytwarzanych na frezarkach sterowanych numerycznie

Podstawa opracowania recenzji: pismo Dyrektora Naukowego dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach dra hab. inż. Sławomira Błasiaka prof. PŚk. nr MAA-510/03/2022 z dnia 11.01.2022 oraz stosowna umowa o dzieło.

1. Analiza rozprawy

Obserwowane obecnie coraz powszechniejsze używanie terminu inżynieria prowadzi siłą tego faktu do rozszerzania jego konotacji poza tradycyjnie dotąd ukształtowany zakres. W przedziale znaczeniowym tego słowa mieści się również i takie jego rozumienie, które wskazuje na możliwość sterowania cechami obiektu technicznego. Jeżeli przyjmie się, że celem badań w dziedzinie nauk praktycznych, a więc m.in. tzw. nauk inżynieryjno-technicznych, jest nie tyle i nie tylko wyjaśnianie rzeczywistości lecz również jej projektowanie, to zrozumiałby stanie się wyżej przedstawiony sens słowa inżynieria. Cechy obiektu ukształtowane w fazie technologii determinują jego cechy użytkowe. Stąd ważna jest identyfikacja tych cech na obu wymienionych etapach oraz znajomość łączących je relacji. Na etapie preużytkowym pomocne okazuje się prognozowanie właściwości użytkowych na drodze identyfikacji właściwości tribologicznych systemów składowych obiektu. Uzasadnionym jest badanie wpływu czynników technologicznych na właściwości użytkowe w sposób bezpośredni, bądź też przez identyfikację cech tribologicznych. Z drugiej strony poziom cech użytkowych można kształtować również na etapie eksploatacji, a w szczególności w trakcie użytkowania przez modyfikację funkcjonujących cech tribologicznych. Tego typu działania poznawcze pozwalają na spełnienie podstawowego postulatu, przyjętego przeze mnie rozumienia inżynierii, jakim jest sterowanie cechami obiektu technicznego.

Analizowana rozprawa doktorska wpisuje się swoim metatechnicznym założeniem oraz swoją treścią w nurt poczynąń poznawczych i użytkarnych stanowiących istotę inżynierii. Fakt ten jest potwierdzeniem trafności wyboru tematyki badawczej z punktu widzenia tak szeroko zarysowanej perspektywy. W węższej perspektywie trafność tego wyboru potwierdzona jest przez aktualność problemów kształtowania coraz to wyższego poziomu jakości użytkowej części maszyn i całych maszyn. Jednym z punktów docelowych na tej drodze jest określenie relacji między szeroko rozumianymi czynnikami procesu skrawania a uzyskanymi efektami tegoż procesu, w analizowanym przypadku – jest to identyfikacja wpływu wybranych czynników na dokładność wymiarowo-kształtową części obrabianych na frezarkach sterowanych numerycznie.

Recenzowaną rozprawę doktorską można, z naukowawczego punktu widzenia, usytuować w tzw. warstwie merytorycznej współczesnej technologii maszyn, w której wyróżnia się technologie objętościowe, ubytkowe, przyrostowe, ulepszające, łączące i miernicze. W analizowanym przypadku - w jej fragmentach określanych, jako ubytkowa obróbka skrawaniem na obrabiarkach sterowanych numerycznie (Computerized Numerical Control - CNC). Identyfikacja usytuowania niniejszej pracy na tym tle oraz zarysowanie głównych dróg rozwoju tego obszaru, w którym ona się mieści, pozwoli na osądzenie, czy Autor trafnie wybrał tematykę badawczą.

Istotny wzrost wymagań dotyczących dokładności wymiarowej, jakości powierzchni elementów i jakości całych produktów oraz wydajności produkcji w ostatnich latach stymulował konieczność głębszego zbadania prawidłowości procesów technologicznych w celu ich optymalizacji. Zatem, obecnie producent staje się konkurencyjny tylko przy zminimalizowaniu kosztów produkcji, zapewnieniu wydajności i jakości produkcji. Obniżenie kosztów narzędzi, mediów i energii jest priorytetem zarówno w warunkach produkcji jednostkowej, jak i seryjnej. Tendencje te należą do obszaru badań naukowych w zakresie inżynierii produkcji.

Współczesne tendencje rozwoju obróbki skrawaniem narzędziami o określonej geometrii ostrza wskazują, że przesuwa się obszar zastosowania sposobów i rodzajów skrawania w kierunku dużej dokładności wymiarowo-kształtowej wyrobów, wysokiej jakości technologicznej warstwy wierzchniej, obróbki materiałów trudno skrawalnych oraz, w związku z miniaturyzacją wyrobów – w kierunku mikro- i nanoskrawania. Wiąże się to z koniecznością zapewnienia dużej efektywności ekonomicznej i ekologiczności procesu skrawania, niezawodności narzędzi i komfortu obsługi stanowiska obróbkowego. Wymagania te są w coraz większym stopniu spełniane. Na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotów obrobionych na obrabiarkach sterowanych numerycznie wpływają takie czynniki jak: parametry skrawania, jakość stosowanych narzędzi, ich zużywanie oraz ustawienie i zamocowanie, cechy obrabiarki, w tym kinematyka obróbki, błędy geometryczne, błędy pozycjonowania oraz odkształcenia, właściwości materiału obrabianego, a także zjawiska występujące w strefie skrawania. Identyfikacja wpływu wymienionych czynników na uzyskiwane efekty obróbki pozwala na spełnienie postulatu przewidywalności uzyskanych rezultatów obróbki. Poznanie i opisanie istoty zjawisk determinujących skrawanie może więc dawać znakomitą perspektywę do świadomego sterowania nimi, a także stwarzać potencjał praktycznego zastosowania tej wiedzy na poziomie warsztatu.

Recenzowana dysertacja, w której Autor analizuje uwarunkowania procesu skrawania i sam proces wykonywany na frezarkach sterowanych numerycznie, mieści się przeto w zasadniczym nurcie współczesnych kierunków badań inżynierii maszyn. Ponadto, jeżeli zgodzić się ze stwierdzeniem, że wytwarzanie części maszyn, to transformacja kształtowo-wymiarowa materiału obrabianego z elementami transformacji narzędzia, to tematyka niniejszej pracy wpisuje się w ogólny nurt wysiłków badawczych mających na celu racjonalizację procesów wytwarzania.

Liczący się w społeczności nauk inżynierijno-technicznych ośrodek kielecki wnosi twórczy wkład, m. in. w rozwój tych warstw technologii maszyn, które określam jako metodyczną i merytoryczną. Inicjatywy profesorów Henryka Frąckiewicza, Jana Osieckiego i Stanisława Adamczaka są z powodzeniem rozwijane przez ich uczniów i doskonale znane w środowisku zainteresowanych specjalistów. Recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Piotra Maja napisana pod kierunkiem dra hab. inż. Edwarda Miko prof. Politechniki Świętokrzyskiej powstała, więc na starannie przygotowanej i w wysokiej kulturze utrzymywanej glebie wcześniejszego rozpoznania merytorycznego i metodycznego wydzielonego obszaru inżynierii maszyn.

Wymienione okoliczności poczytuję przeto za potwierdzenie **trafności i sensowności wyboru tematyki badawczej**. Uzasadnieniem tej opinii jest nie tylko sam fakt usytuowania pracy na szerszym tle formułowanych obecnie wyzwań i wykonywanych badań, ale i to, że podejmowana w rozprawie doktorskiej tematyka szczegółowa rokuje duże nadzieje epistemologiczne, a także, co

też ma szczególne znaczenie w kontekście rozpatrywanej tematyki, nadzieję na uzyskanie walorów użytecznych.

Strukturę rozprawy stanowi siedem rozdziałów, wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów, wykaz literatury, spis tabel, dziesięć załączników oraz streszczenie po polsku i angielsku. Autor mylnie używa słowo „skrót”, podczas gdy w tym przypadku powinno być użyte słowo „akronim” lub, co spotyka się rzadziej, „skrótowiec”. Niestety, skrótowiec dość powszechnie bywa mylony ze skrótem. Układ pracy jest prawidłowy - typowy dla prac analityczno-eksperymentalnych. Jest to bardzo spójna tematycznie praca. **Tytuł dysertacji** jest zgodny z jej treścią.

Cel pracy sformułowany w rozdziale trzecim na stronie 11 jest podany bardzo zwięźle, aczkolwiek jasno. **Zakres pracy**, zaprezentowany w syntetycznym zwięzłym ujęciu na tejże stronie, w kontekście badanego problemu i przedstawionej treści pracy uznaję jako kompletny. Mgr inż. Piotr Maj nie podjął próby wyraźnego określenia **problemu naukowego**. Na podstawie lektury pracy można stwierdzić, że rozważany w dysertacji problem naukowy, to relacja między wybranymi wskaźnikami dokładności obrabiarki i czynnikami procesu skrawania, a uzyskiwanymi efektami obróbki w postaci dokładności wymiarowo-kształtowej przedmiotów obrabianych i charakterystyki wybranych cech warstwy wierzchniej w kontekście zużywania się ostrzy narzędzi. Ten fragment pracy łącznie z analizą literatury odczytuję, jako fundament intelektualnej konstrukcji budowanej przez Autora. Sformułowane na stronie 11 **hipotezy pracy** są dobrze ugruntowane w przedstawionym wcześniej materiale i stanowią uzupełnienie tej konstrukcji.

Wprowadzenie do pracy napisane jest bardzo zwięźle i co do jego treści, oprócz potknięć stylistycznych, nie zgłaszam zastrzeżeń.

Analiza piśmiennictwa z zakresu podjętej tematyki została przedstawiona w rozdziale drugim. Autor bardzo zwięźle charakteryzuje state of the art w zakresie dokładności wymiarowo-kształtowej obrabianych części maszyn, a w szczególności jeżeli chodzi o obróbkę wykonywaną na obrabiarkach sterowanych numerycznie. Charakteryzuje cztery grupy czynników wpływających na dokładność przedmiotów obrabianych na obrabiarkach CNC. W końcowej części tego rozdziału identyfikuje lukę poznawczą i wylicza problemy, które Jego zdaniem są do rozpoznania. Dobór prezentowanych zagadnień jest prawidłowy i moim zdaniem pozwala na rekonstrukcję dotychczasowego stanu wiedzy w rozpatrywanym zakresie oraz stanowi solidną podstawę dla określenia obszaru badań własnych. Jest to także właściwa baza wiedzy do sformułowania zagadnienia badawczego. Wachlarz prac analizowanych przez Doktoranta jest dość obszerny i obejmuje 49 pozycji. Tę część rozprawy oceniam jako poprawną, choć mam zastrzeżenia, co do stylistyki.

Zasadniczą część rozprawy z punktu widzenia etapów badania naukowego stanowią rozdziały, w których Autor referuje **metodykę, wyniki i analizę wyników badań własnych**, tj. 4, 5 i 6. W rozdziale czwartym Doktorant przedstawił cybernetyczny model badań eksperymentalnych oraz model w formie wielomianu pierwszego stopnia do określenia wpływu czynników wejściowych na poszukiwane wartości wybranych czynników wyjściowych. Rozdział piąty poświęcony metodyce badań doświadczalnych podzielony jest na osiem następujących podrozdziałów: charakterystyka aparatury pomiarowej, opis frezarek CNC zastosowanych w badaniach, materiały obrabiane i narzędzia skrawające, metodyka pomiaru przemieszczeń osi stosowanych frezarek CNC, metodyka pomiarów błędów geometrycznych obrabiarki, metodyka identyfikacji dokładności wykonania czopa, sposób identyfikacji zużycia ostrzy narzędzi skrawających oraz metodyka określenia dokładności przedmiotu próbnego w kontekście dokładności zastosowanej frezarki CNC. Rozdział szósty zawiera przedstawienie wyników eksperymentalnych badań własnych i składa się z pięciu następująco zatytułowanych podrozdziałów: 1) analiza przemieszczeń poszczególnych elementów maszyny, w tym - ocena dokładności pozycjonowania, analiza przemieszczenia liniowego i kąтового oraz analiza

prostoliniowości przemieszczania się stołu obrabiarki, 2) analiza błędów geometrycznych, 3) ocena dokładności wykonania czopa, 4) analiza wpływu zużycia narzędzia, 5) dokładność wymiarowo-kształtowa przedmiotu próbnego. Prezentacji wyników każdorazowo towarzyszy ich analiza. Na podkreślenie zasługuje przedstawiona w podrozdziale 6.4, prawidłowa i stosunkowo obszerna analiza zużywania ostrzy oraz interpretacja wyników analizy poszczególnych zależności zaprezentowanych w podrozdziale 6.5. Moje zapytania i sugestie do tej części pracy są następujące:

- 1) str. 13, wiersz 2g - w zbiorze wielkości wyjściowych wymieniony jest kąt; nie jest jasne, o jaki kąt chodzi;
- 2) brakuje charakterystyki frezu ORION 16828;
- 3) metodyka opracowania wyników badań prezentowanych w podrozdziale 6.5 powinna być przedstawiona w metodycznej części pracy;
- 4) podrozdział 6.1 – której obrabiarki to dotyczy?
- 5) rysunki 49, 50, 51 są mało czytelne;
- 6) brak informacji, co oznaczają kolory i zaznaczone punkty na rysunkach od 63 do 67;
- 7) rys. 64 – brak opisu, gdzie znajdują się miejsca wejścia i wyjścia narzędzia;
- 8) tabela 13 – które strategie są które?
- 9) podrozdział 6.3 - rysunki przedstawiające profil powierzchni i topografię w wielu przypadkach są mało czytelne;
- 10) str. 68, wiersz 3g – jak należy rozumieć „błędy odchyłki pozycjonowania”?

Poza tym chciałbym postawić pytania i prośbę o wyjaśnienie o nieco ogólniejszym charakterze, które mogłyby być przedmiotem wyjaśnień ze strony doktoranta oraz dyskusji w trakcie obrony:

- 1) str. 66 - jakie jest uzasadnienie wyboru tych dwóch wskazanych miejsc wykonywania pomiarów?
- 2) które procedury wykonanych badań i ich wyniki mogłyby znaleźć zastosowanie w praktyce warsztatowej?

Na podstawie przeprowadzonej dotąd analizy można podjąć próbę rekonstrukcji **osiągnięcia naukowego rozprawy**. Jako elementy tego osiągnięcia widocznie odróżniające je od aktualnego stanu wiedzy w rozpatrywanej problematyce i w przyjętym zakresie badań oraz świadczące o oryginalności rozprawy uważam:

- wykazanie, że strategia obróbki ma wpływ na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotów obrabianych na frezarkach CNC;
- ustalenie, które parametry skrawania i warunki obróbki mają wpływ na dokładność wymiarową przedmiotu obrabianego w przyjętych warunkach obróbki;
- uszeregowanie czynników decydujących o wartości odchyłki okrągłości;
- określenie wpływu parametrów skrawania i warunków obróbki na wartość odchyłki walcowości.

Na podkreślenie zasługuje to, że Autor zastosował w swojej pracy adekwatne do potrzeb narzędzia formalne dotyczące opracowania i prezentacji wyników, a także nowoczesną aparaturę badawczą w pełni odpowiadającą założonym celom badań eksperymentalnych. Mgr inż. P. Maj wykazał się bardzo dobrym opanowaniem warsztatu badawczego. Program badań doświadczalnych jest bogaty, obfitujący dużą liczbą uzyskanych danych. Autor zastosował nowoczesny aparat metodyczny właściwy do założonych celów oraz wykonał solidne badania eksperymentalne. Przedstawił w zwartej formie bogaty materiał dowodowy.

Rozdział siódmy zatytułowany jest *Podsumowanie i wnioski końcowe*. W pierwszej części Autor przedstawił ogólne syntetyczne omówienie wyników swoich badań, a w drugiej sformułował zalecenia, co do kierunków dalszych badań. Mam tutaj dwa zapytania:

- str. 109, wiersz 13g – co to znaczy, że „odchyłka walcowości ulega pogorszeniu”?
- str. 109, wiersz 19g – co to znaczy, że „...pogarsza się wielkość...”?

W odniesieniu do całości tekstu nasuwają mi się następujące uwagi:

- 1) wiele do życzenia przedstawia stylistyka i dający się odczuć brak korekty tekstu;
- 2) zdarza się niewłaściwe używanie niektórych słów i określeń, np.: „najniższe” zamiast „najmniejsze”, np. na stronie 64; „wielkość”, gdy powinno być „wartość”, np. na str. 16, 59, 109; „wykorzystanie” zamiast „zastosowanie” – w wielu miejscach pracy.

Bibliografia zamieszczona w końcowej części pracy zawiera 84 pozycje. Niektóre pozycje są niekompletne, np. [39], [45].

2. Ocena rozprawy

Przedstawiona analiza rozprawy zawiera wystarczające, moim zdaniem przesłanki do sformułowania oceny. Treść rozprawy jest zgodna z tematem zaakceptowanym przez Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Podjęty temat jest ważny zarówno z poznawczych, jak i praktycznych względów i opracowany został w sposób wyczerpujący. Sformułowane w niniejszej recenzji uwagi nie umniejszają wartości materiału dowodowego pracy, w większości albowiem odnoszą się do sposobu prezentacji uzyskanych wyników lub są kanwą do dyskusji z Autorem. Nie mogą więc stanowić podstawy do kwestionowania wartości pracy.

Pod względem metodycznym rozprawa jest poprawna. Literatura specjalistyczna została dobrana trafnie. Układ rozprawy i podział treści między poszczególne rozdziały jest logiczny. Zbiór pojęciowy, jakim posługuje się Autor, jest w zasadzie poprawny. Strona ilustracyjna pracy jest na ogół dobrej jakości, z wyjątkiem wskazanych przeze mnie przypadków. Redakcja rozprawy natomiast wykazuje niedociągnięcia. W dostarczonym do recenzji egzemplarzu stwierdziłem błędy korektorskie, stylistyczne, interpunkcyjne i drobne nieścisłości.

Godna podziwu jest pracowitość doktoranta. Mgr inż. Piotr Maj wykonał wartościową pracę badawczą i wykazał się dogłębną znajomością warsztatu naukowego. Doktorant rozwija twórczo dorobek promotora. W rozprawie zaplanował i wykonał badania eksperymentalne, w sposób czytelny przedstawił ich wyniki, wykonał analizę otrzymanych rezultatów opatrując je stosownymi komentarzami. Udowodnił zatem, że potrafi w skuteczny sposób dokonywać analizy subtelnych zjawisk towarzyszących skrawaniu metali.

Warunkiem dysertabilności rozprawy doktorskiej jest jej związek z problemem metodologicznym, metodycznym lub poznawczym bezpośrednio lub pośrednio wpływającym na stan wiedzy. W przypadku recenzowanej rozprawy warunek ten jest spełniony pod względem drugiego i trzeciego aspektu, co wykazałem w przedstawionej analizie. Praca jest w wystarczającym stopniu poprawna metodologicznie, gdyż zawiera elementy, które w metodologii nauk określa się jako etapy badania naukowego.

Na podstawie analizy rozprawy można stwierdzić, że jest On przygotowany do prowadzenia samodzielnej pracy naukowej. Doktorant wydatnie poszerzył swoją ogólną wiedzę dotyczącą warsztatu badawczego w zakresie identyfikacji i analizy dokładności wymiarowej i kształtowej przedmiotów obrabianych na obrabiarkach sterowanych numerycznie.

Podsumowując moją ocenę stwierdzam, że rozprawa:

- spełnia wymóg oryginalnego rozwiązania przez Autora zagadnienia naukowego,
- spełnia wymóg wykazania ogólnej wiedzy teoretycznej w uprawianej dyscyplinie,
- oraz wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Autora pracy naukowej.

3. Wniosek końcowy

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska opracowana została w sposób merytorycznie dobry. Jest oryginalnym osiągnięciem mgra inż. Piotra Maja i stanowi istotny wkład w rozwój badań nad szeroko pojętą dokładnością wymiarowo-kształtową przedmiotów obrabianych.

W świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa mgra inż. Piotra Maja pt. *Analiza wpływu wybranych warunków obróbki na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotów wytwarzanych na frezarkach sterowanych numerycznie* spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy (rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 poz. 261); ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668)) oraz tradycję akademicką i może stanowić podstawę do nadania jej Autorowi stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie *Inżynieria mechaniczna*. Może być, przeto dopuszczona do publicznej obrony.

