



Lublin, 25/01/2022r.



POLITECHNIKA  
LUBELSKA  
LUBLIN UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY

Dr hab. inż. Jerzy JÓZWIK, prof. Uczelni  
POLITECHNIKA LUBELSKA  
WYDZIAŁ MECHANICZNY  
Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji  
Ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

Telefon: + 48/606 296 823; + 48 691 035 576; j.jozwik@pollub.pl

## RECENZJA

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr-a inż. Romana Michalskiego pt.: „Weryfikacja i reweryfikacja parametrów dokładnościowych frezarki w oparciu o procedury stosowane we współrzędnościowych systemach pomiarowych”, w związku z prowadzonym przez Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej przewodem o nadanie stopnia doktora. \_\_\_\_\_

### Zamawiający

Opinię wykonano na zlecenie dra hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP; Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna i jednocześnie Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej (pismo DIM.075.244.2021, z dn. 30/11/2021r., Umowa 0600/2021/285). \_\_\_\_\_

### Informacje ogólne

Recenzja obejmuje ocenę treści merytorycznych rozprawy, ocenę wartości naukowej, tezy i rozwiązanie problemu badawczego jak również ocenę redakcyjną rozprawy i wnioski końcowe. Promotorem rozprawy jest: prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski. Funkcję promotora pomocniczego pełni dr hab. inż. Bartosz Gapiński, prof. PP. Pracę przedstawiono na 237 stronach maszynopisu w układzie 8 rozdziałów i podrozdziałów wraz z załącznikami i streszczeniem, zarówno w j. polskim jak również w j. angielskim. Rozprawę poprzedza wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów, krótkie wprowadzenie, zaś kończy podsumowanie i wnioski oraz kierunki dalszych badań, wykaz literatury i załączniki.

### Temat, treść rozprawy, tezy i rozwiązanie problemu naukowego

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgr-a inż. Romana Michalskiego jest: „Weryfikacja i reweryfikacja parametrów dokładnościowych frezarki w oparciu o procedury stosowane we współrzędnościowych systemach pomiarowych”. Autor pracy podejmuje bardzo ważny i aktualny problem naukowy opracowania optymalnej strategii pomiarowej dedykowanej korpusom obrabiarek sterowanych numerycznie CNC. Produkcja coraz to nowocześniejszych i bardziej precyzyjnych maszyn CNC wymusza stosowanie precyzyjnych i skutecznych metod identyfikacji niedokładności geometrycznej części i podzespołów tych maszyn. Ważnym aspektem samego pomiaru jest jego wiarygodność, a także czas, w którym jest on zrealizowany. Ma to szczególne znaczenie w aspekcie wysokiej produktywności przedsiębiorstw wytwarzających obrabiarki. Autor

pracy stawia sobie za cel opracowanie takiej metody i strategii pomiaru wzorcowego elementu testowego za pomocą sondy inspekcyjnej (popularnie nazywanej „przedmiotową”), która pozwoli na istotne skrócenie czasu inspekcji. Zaproponowana metoda pomiaru bezpośrednio na maszynie może przynieść wymierne skutki użytkowe poprzez znaczące skrócenie czasu przygotowania do pomiaru, jak również realizacji fizycznej samego pomiaru. Niestety, Autor nigdzie w pracy nie podaje w ujęciu ilościowym, jakie wymierne korzyści osiągnięto w tym zakresie, tzn. jaki jest poziom skrócenia czasu realizacji procedur pomiarowych na obrabiarce CNC w stosunku do pomiarów z wykorzystaniem współrzędnościowej maszyny pomiarowej WMP?. W celu minimalizacji odkształceń sprężystych mierzonego korpusu i wyboru optymalnego rozwiązania dla strategii pomiarowej, Autor testuje różne sposoby ustalania 3 i 4 punktowego (standardowego i zmodyfikowanego), szczegółowo zdefiniowanego i opisanego w rozprawie. Testowaniu poddano również różnego rodzaju układy baz i strategii pomiarowych. To spowodowało, że opracowana przez Doktoranta koncepcja pomiaru elementu testowego bezpośrednio na frezarskim centrum obróbkowym stanowi nowatorskie rozwiązanie, niewykorzystywane dotychczas przez producentów obrabiarek CNC. Przedstawione w pracy tezy uznaję za uzasadnione i słuszne. Doktorant w oparciu o szereg bardzo rozbudowanych eksperymentów udowadnia tezę główną jak również tezy pomocnicze, integralnie z nią związane. W pracy szeroko omówiono budowę obrabiarek, tolerancje geometryczne, maszyny pomiarowe (wybrane konfiguracje), błędy maszyn i badania odbiorcze. Lektura pracy powoduje jednak pewien „niedosyt” informacji w zakresie światowych osiągnięć naukowych dotyczących tematu pracy oraz innych alternatywnych metod i strategii pomiarowych realizujących analizowane w pracy zagadnienia.

### **Ocena wartości naukowej rozprawy**

Autor pracy podejmuje bardzo ważny i jednocześnie trudny do jednoznacznego rozwiązania problem naukowy, dotyczący implementacji procedur pomiarowych stosowanych na WMP do oceny zgodności na obrabiarce CNC z wykorzystaniem wewnątrz-obrabiarkowych systemów pomiarowych. Trudność ta jest związana z adaptacją opracowanych procedur pomiarowych na eksploatowanych obrabiarkach sterowanych numerycznie. Adaptacyjność wykorzystywanych procedur musi być każdorazowo dopasowana do stanu technicznego – eksploatowanej obrabiarki CNC i jej dokładności geometrycznej, jak również wykorzystywanych wewnątrz-obrabiarkowych systemów pomiarowo-kontrolnych (absolutnych, inkrementalnych, i innych). To ogranicza nieco uniwersalność opracowanych przez Doktoranta modeli. Każda maszyna sterowana numerycznie charakteryzuje się swoistym i niepowtarzalnym stanem geometrycznym (dokładnością struktury geometrycznej, dokładnością kinematyczną, podatnością termiczną, itp.), od którego będą uwarunkowane uzyskiwane wyniki pomiarów inspekcyjnych. Niezwykle ważne jest np. zidentyfikowanie prostoliniowości przesuwu w osiach sterowanych numerycznie samej maszyny, a także prostopadłości tych osi oraz jednoznaczna ocena, jak wyżej wymienione odchyłki wpływają na wynik pomiaru mierzonej powierzchni wzorcowego elementu testowego. Autor rozprawy wykorzystuje stykowe sondy przełączające, które nie są dedykowane „skanowaniu” na obrabiarce CNC. Jediną sondą inspekcyjną obrabiarkową - tego samego producenta, którego sondy wykorzystuje Doktorant na obrabiarce, jest szybka, umożliwiająca skanowanie, elektrostykowa sonda wykonana

w technologii SPRINT™. Sonda taka pozwala na precyzyjne skanowanie i jest wyjątkowo czuła na drgania powierzchni, wykrywa submikronowe przemieszczenia na końcówce trzpienia pomiarowego. Pojawia się zatem pytanie, jak Autor definiuje pojęcie „skaningu” i jak należałoby interpretować uzyskane w tym kontekście przez niego wyniki? (rys.145 + rys.170). Ponadto kluczowym zagadnieniem jest określenie i ustalenie temperatury pomiaru. Eksploatowane obrabiarki jako układy portalowe (lub inne) i wykorzystywane do pomiaru sondy, jak również sam pomiar na obrabiarce jest realizowany w temperaturze determinowanej stanem termicznym obrabiarki. Wymaga to uwzględnienia w opracowanych procedurach odkształceń cieplnych samej maszyny oraz ich wpływu na mierzone wartości. Autor zaplanował bardzo szeroki zakres prac badawczych obejmujących pomiary z wykorzystaniem zarówno współrzędnościowej maszyny pomiarowej, dla której maksymalny błąd graniczny dopuszczalny wskazania opisany jest zależnością:  $MPE_E = 1,9\mu\text{m} + L/300$  jak również sond inspekcyjnych na obrabiarce CNC. Jako cel pomocniczy autor postawił sobie wyznaczenie błędu granicznego  $MPE_{obr}$ . W pracy, wyznaczone dopuszczalne błędy graniczne  $MPE_{obr}$  uwarunkowane wartością mierzonej długości osiągają znacząco dużo wyższe wartości, niż dla WMP (rys. 259). Nasuwa się pytanie, czy wyniki pozyskane na podstawie takich pomiarów są porównywalne do współrzędnościowych pomiarów z wykorzystaniem WMP oraz czy zastosowane warunki pomiaru na maszynie są identyczne jak dla pomiarów na WMP? Zastanawiające jest również oczywiste stwierdzenie we wnioskach (str. 176), że możliwe jest wyznaczenie rozszerzonej niepewności pomiaru  $U$  centrum obróbkowego CMX70U wyposażanego w głowicę przedmiotową OMP400. Co autor miał na względzie definiując taki wniosek? Dość oczywistym jest także wniosek, że ustalenie wzorcowego elementu testowego trzema podporami wyznaczającymi płaszczyznę jest optymalnym rozwiązaniem. Z czego wynika tak zdefiniowany wniosek w kontekście pozostałych przyjętych w pracy sposobów ustalania? (str. 175).

Za bardzo cenne i niezbędne do opracowania procedur adekwatnych do rozważanych w pracy problemów pomiarowych uznaję wykonane badania i eksperymenty. Autor jednak mało miejsca poświęcił dyskusji wyników badań i analizie, szczególnie w powiązaniu ze sobą wszystkich wykonanych badań. Takie opracowanie pozwoliłoby łatwiej wyciągnąć wnioski naukowe, poznawcze i użyteczne. We wnioskach Autor powinien odnieść się do rezultatów nie tylko jakościowych, ale i ilościowych. Analizując całokształt pracy, należy wskazać na wiele pozytywnych cech aplikacyjnych wykonanych badań. Mogą one przynieść dużo efektów użytecznych z zastosowania w praktyce. Biorąc pod uwagę całość pracy, zaprezentowane wyniki posiadają wymiar poznawczy i naukowy. Podsumowując aspekty naukowe pracy, pomimo jej niedoskonałości uważam, że autor osiągnął przyjęte w pracy założenia i pozyskał wystarczający materiał badawczy do udowodnienia postawionych w rozprawie tez (tezy głównej i tez pomocniczych). Uwzględniając całokształt przedstawionych treści merytorycznych zarówno w części teoretycznej jak i praktycznej pracy, oceniam je pozytywnie.

### **Ocena językowa i redakcyjna rozprawy**

Ocena redakcyjna rozprawy obejmuje: strukturę pracy, poprawność językową, stosowanie odpowiednich skrótów, odnośników i cytowań, zamieszczania rysunków, wzorów i tabel wraz z ich

właściwym opisem, podpisami i wyjaśnieniami, opracowanie literatury, normatywnych aktów prawnych i streszczeń w j. polskim i j. angielskim. Analiza rozprawy pod kątem redakcyjnym nie budzi większych zastrzeżeń, nie mniej jednak Autor nie ustrzegł się drobnych niedociągnięć i niedoskonałości. Do najważniejszych z nich należą: brak zachowanych proporcji rysunków w pracy (od bardzo małych do bardzo dużych), niejednorodne grubości linii na wykresach, szczególnie tych wykonanych przez Autora rozprawy, brak odniesień do literatury przy rysunkach i niektórych tabelach (rys. 4, 7, 8, 11-13, 14-43, 43-51, 79, tab. 3.1-3.2, 6, 14, i inne), wykaz literatury nie jest sporządzony wg przyjętych standardów, z wymieszanymi pozycjami (brak podziału na publikacje naukowe, normatywne akty prawne, instrukcje i przewodniki, zasoby internetowe), każda pozycja literaturowa jest sformatowana inaczej, brak niejednokrotnie wydawnictw lub są one źle wpisane, brak jednolitego sposobu zapisu rozdziałów, woluminów, stron, tytułów czy samych imion i nazwisk autorów. Podsumowując, przytoczone niedociągnięcia, mimo iż są liczne, nie obniżają wartości naukowej i poznawczej rozprawy. Struktura pracy i treści merytoryczne, odpowiadają wymaganym standardom stawianym rozprawom doktorskim. Podsumowując aspekty naukowe pracy, pomimo wielu jej niedoskonałości uważam, że autor osiągnął przyjęte w pracy założenia i pozyskał wystarczający materiał badawczy do udowodnienia postawionej w rozprawie tezy.

### **Podsumowanie i wniosek końcowy**

Uwzględniając przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską i jej naukowy wkład w Dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna stwierdzam, że zaprezentowana przez Pana mgr inż. Romana Michalskiego rozprawa stanowi oryginalne i wartościowe pod względem naukowym, ale także praktycznym osiągnięcie oraz rozwiązanie problemu określonego w tytule, celu i zakresie pracy.

Rozprawa spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789); 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) tekst ujednoczony z dnia 29 września 2014 r. wraz z późniejszymi rozporządzeniami z dnia 20 września 2018r.) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o jej przyjęcie oraz dopuszczenie Autora do publicznej obrony rozprawy.



Lublin, dnia 25 styczeń 2022r.