

Dr hab. inż. Ryszard Wyczółkowski, prof. PŚ  
Katedra Budowy Maszyn  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Politechnika Śląska  
Ul. Konarskiego 18A  
44-100 Gliwice

## **Recenzja**

rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Szyszki pt. „Opracowanie metodyki szybkiej oceny dokładności ustawienia 5-osiowych, wielozadaniowych centrów obróbkowych, kompensacji zdiagnozowanych błędów i potwierdzenia zdatności obrabiarki do realizacji operacji technologicznych”

Promotor pracy: prof. dr hab. inż. Jarosław Sęp

Recenzję opracowano na podstawie umowy o dzieło nr NN/530/158/2023 na recenzję (prawa autorskie) z dnia 08 grudnia 2023.

### **1. Formalna prezentacja rozprawy i uwagi ogólne.**

Przedstawiona do recenzji rozprawa liczy 163 stron tekstu zawartego we wprowadzeniu i sześciu rozdziałach, siedmiu załącznikach oraz bibliografii zamieszczonej na końcu rozprawy.

Bibliografia liczy 98 pozycji (uwaga: pozycje w bibliografii nie są uporządkowane w kolejności alfabetycznej).

Układ pracy, sposób ujęcia tematu w poszczególnych rozdziałach można uznać za poprawny.

W pracy, pod względem zawartych treści, można wyróżnić kilka części. Na część pierwszą, poświęconą przedstawieniu rozważanego problemu, składają się rozdziały 1 do 3. Rozdział 1 prezentuje obrabiarki 5-osiowe, ze zwróceniem uwagi na automatyczne, dotykowe systemy pomiaru przedmiotu obrabianego. Omówiono w nim również zastosowania tych obrabiarek w Pratt & Whitney Rzeszów, zwracając uwagę na problemy jakie są związane z obróbką kadłubów do silników turbinowych, związanych np. z

cienkościemnością obrabianego elementu, jednostkową liczbą sztuk w partii produkcyjnej czy też kosztem elementu obrabianego.

Rozdział 2. Poświęcony jest przeglądowi wiedzy związanej ze źródłami błędów obrabiarek oraz metodami ich diagnostyki i kompensacji.

W rozdziale 3 przedstawiono uzasadnienie podjęcia tematu oraz cel i zakres pracy. Punkty 3.2 i 3.3, zawierające odpowiednio cel pracy i zakres pracy stanowią naturalne przejście do części drugiej pracy.

Do części pierwszej, rozdział 1 i 2 nie mam uwag merytorycznych. Autor w sposób czytelny i zrozumiały przedstawił kontekst pracy, naświetlił problem który chce rozwiązać i uzasadnił celowość podjęcia działań. Pewne zastrzeżenia mam do sformułowania zakresu pracy. Jako cel pracy autor podaje „opracowanie metodyki szybkiej oceny dokładności ustawienia 5-osiowych, wielozadaniowych centrów obróbkowych, kompensacji zdiagnozowanych błędów i potwierdzenia zdolności obrabiarki do realizacji operacji technologicznych”. Tak sformułowany cel sugeruje, że jednym z pierwszych zadań do realizacji powinno być zaproponowanie sposobu diagnozowania – identyfikacji występujących błędów i oceny ich wielkości, co pozwala w następnych krokach realizować kolejne cele, np. wybór sposobu kompensacji zidentyfikowanych błędów i weryfikację nowych ustawień. Należy przy tym zauważyć, że trudno zakładać, iż jest jeden, najlepszy, oczywisty i uniwersalny sposób diagnozowania tych błędów, a co za tym idzie można oczekiwać, że autor dokona jakiegoś wyboru (najlepiej uzasadnionego) metod cząstkowych i przedstawi metodykę którą proponuje, lub przynajmniej jawnie wskaże, że korzysta z istniejącej metodyki (i postępowanie takie uzasadni). Tymczasem zakres pracy zaczyna się właściwie od badania już przyjętej metodyki, lecz wobec braku zaplanowanego miejsca na formalną jej prezentację rodzi się pytanie: jak ta badana metodyka wygląda, z jakich kroków się składa, itp. ?

Na część drugą składają się rozdziały 4, prezentujący metodykę podjętych badań oraz rozdział 5., zawierający wyniki badań i ich analizę.

Rozdział 4, metodyka badań, jest obszerny, liczy 41 stron. Autor w siedmiu podrozdziałach szczegółowo opisuje kolejno: przedmiot badań, charakterystykę stanowiska, oprzyrządowanie badawcze, metodykę i warunki akwizycji danych procesowych, metodykę badań wstępnych, metodykę badania automatycznej kompensacji położenia środka obrotu stołu, metodykę analizy porównawczej badania sond przedmiotowych o odmiennych konfiguracji technologicznej. Zaproponowana struktura rozdziału jest generalnie prawidłowa i pozwala prześledzić zaproponowane i zastosowane przez Autora rozwiązania. Trzeba jednak stwierdzić, że Autor zawarł w tekście dużo różnych informacji, których znaczenie dla opisu proponowanej metodyki jest różne. Powoduje to, że jest on przeładowany treścią i trudny w lekturze. Przykładem mogą być tabele zawierające specyfikacje techniczne centrów obróbkowych, które były wykorzystane do prowadzenia

badania. W mojej opinii, znaczna część tych informacji mogła trafić do załączników. Jednocześnie uważam, że z pożytkiem dla czytelności pracy byłoby wprowadzenie podrozdziału wprowadzającego samą metodykę, pokazującego jej elementy składowe, uzasadnienie ich zastosowania a w przypadku zaadoptowania metod innych autorów (np. ocena precyzji układu pomiarowego) uzasadnienie wyboru i precyzyjne wskazanie, na czym polegały i z czego wynikały zmiany w metodach wprowadzone przez Autora. Brakuje też (nie ma ani w rozdziale czwartym ani w podsumowaniu i wnioskach) wniosków dotyczących stosowalności metodyki – na ile może być ona bezpośrednio zastosowana w stosunku do innych maszyn lub jakie jej elementy i w jakim zakresie musiały by być w takim przypadku zmodyfikowane.

Rozdział 5 prezentuje uzyskane wyniki badań i ich analizę i liczy 78 stron. W rozdziale tym Autor przedstawił wyniki badań weryfikacyjnych przeprowadzonych dla każdego z przedstawionych w rozdziale 4. kroków metodyki. Autor szczegółowo przedstawia wyniki pomiarów weryfikacyjnych dla każdego kroku proponowanej metody, ilustrując je tabelami i wykresami zbiorczymi. Podobnie jak w rozdziale 4, czytelność pracy poprawiłoby lepsze ustrukturyzowanie treści, rozdzielenie poszczególnych etapów pomiarów, wyróżnienie i podsumowanie działań dodatkowych, podejmowanych po uzyskaniu wyników nieoczekiwanych (np. porównanie wyników sondy T9 z wynikami pozostałych sond), a w szczególności umieszczenie syntetycznych podsumowań i wyraźne wyróżnienie wniosków z kolejnych etapów realizacji pomiarów.

Z uwag szczegółowych należy zwrócić uwagę na braki w opisach i symboli oznaczeń na niektórych rysunkach (strzałki, ramki). Znaczenie tych oznaczeń jest przedstawiane w tekście, ale umieszczenie ich na rysunkach ułatwiłoby lekturę pracy.

Rozdział 6, ostatni, stanowi podsumowanie pracy i zawiera wnioski i kierunki dalszych badań.

## **2. Ocena zamierzenia badawczego.**

Wybór problematyki badawczej oceniam jako trafny. Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy zagadnienia ograniczania powstawania wyrobów wadliwych w procesie obróbki skrawaniem z użyciem 5-osiowych wielozadaniowych centrów obróbkowych, związanymi z błędami obrabiarek. Zagadnienie to wpisuje się w koncepcję „fabryki bez ludzi” - zarządzanej przez inteligentny system informatyczny, który samodzielnie steruje procesami produkcyjnymi na halach, bez udziału lub z ograniczonym udziałem osób dozoru bezpośredniego.

Jak Autor rozprawy słusznie zauważył, ważność tego zagadnienia nie jest związana tylko z koncepcjami przyszłych systemów produkcyjnych. Zagadnienie jest istotne w warunkach

produkcji takich jakie znajdujemy obecnie w PWR, tj. produkcji nisko seryjnej, wysokim koszcie materiału wejściowego, wymagającej dużej dokładności obróbki skrawaniem w powiązaniu z problemami wynikającymi ze skrawalności obrabianego tworzywa, dużymi gabarytami obrabianych części w połączeniu z niewielkimi grubościami obrabianych ścian.

Należy ocenić, że Autor rozprawy trafnie zidentyfikował problem badawczy, rozpoznając zarówno potrzebę aktualną, związaną z koniecznością zapewnienia jak najmniejszej liczby produktów wadliwych jak i przyszły cel jakim jest ograniczenie bezpośredniego udziału człowieka w procesie produkcyjnym. Przeprowadzone badania literaturowe pokazały, że problem ten jest ciągle aktualny, tj. brak rozwiązań pozwalających na skuteczne, automatyczne weryfikowanie stanu obrabiarki i jej zdatości do prowadzenia obróbki z wymaganą dokładnością oraz automatycznego kompensowania zidentyfikowanych błędów obrabiarki.

Przedłożona rozprawa jest doktoratem wdrożeniowym, z czym wiąże się dodatkowy wymóg nie tylko rozwiązania zidentyfikowanego problemu ale również wdrożenia opracowanego rozwiązania. Również ten warunek został przez Autora rozprawy spełniony.

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Grzegorza Szyszki mieści się w dziedzinie nauk Inżynieryjno-Technicznych, dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna.

Rozwiązanie problemu zawiera elementy oryginalne, w szczególności opracowane metody akwizycji danych procesowych oraz czynnej kompensacji automatycznej położenia środka obrotu stołu roboczego.

### **3. Ocena metodyczna rozprawy**

Praca doktorska potwierdza umiejętności Doktoranta w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Pan mgr inż. Grzegorz Szyszka wykazał się umiejętnością zidentyfikowania luki badawczej, rozpoznania problemu badawczego, formułowania celów naukowych, dokonania analizy literatury, prawidłowego doboru metod badawczych oraz wnioskowania.

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i zawiera nowe elementy w temacie oceny zdatości wieloosiowych centrów obróbkowych do realizacji operacji technologicznych i kompensacji zidentyfikowanych błędów. Praca ma potencjał aplikacyjny.

Doktorant przedstawił logiczną koncepcję badań, w której poszczególne elementy były wzajemnie powiązane. Na każdym etapie badań zastosował odpowiednie metody badawcze i wyciągnęła adekwatne wnioski.

Cel pracy został poprawnie sformułowany pod względem merytorycznym i pomyślnie osiągnięty.

#### **4. Uwagi szczegółowe i pytania do Autora**

1. Rysunek 4.17 przedstawia schemat metodyki zapisu danych pobieranych z parametrów systemowych układu sterowania obrabiarki CNC. Czy Autor mógłby przedstawić analogiczny schemat metodyki akwizycji danych procesowych, czy też należy uznać tożsamość tych dwóch metodyk (akwizycji danych i zapisu danych)?
2. W rozdziale 4.5 *Metodyka badań wstępnych* Autor zaznaczył, że „schemat działania bazuje na metodyce zaproponowanej w artykule [13] z wprowadzonymi zmianami wynikającymi z charakteru i konfiguracji stanowiska”. Czy Autor może przybliżyć istotę tych zmian oraz wskazać czynniki wpływające na ich charakter?
3. Czy Autor mógłby przedstawić założenia konstrukcyjne przyrządu kontrolno-ustawczego? Czy zaproponowany przyrząd jest uniwersalny (może być stosowany do badania różnych maszyn)? Czy Autor może podać jakieś wytyczne odnośnie konfigurowania (określenia postaci) takiego przyrządu w zależności od przewidywanego zastosowania (cechy konstrukcyjne obrabiarki, przewidywane rodzaje obróbki)? Pytanie to dotyczy również tych części artefaktu, które wykorzystywane są w badaniu sond przedmiotowych (rozdział 4.7 *Metodyka analizy porównawczej badania sond przedmiotowych o odmiennej konfiguracji technologicznej*)
4. W jakim zakresie opracowane i przedstawione w pracy metody są uniwersalne i czy mogą być zastosowane w stosunku do innych centrów obróbkowych?
5. W rozdziale 5.4 Autor przedstawił metodę analizy stanu obrabiarki na podstawie danych procesowych. W rozdziale tym stwierdza, że „głównym zadaniem i celem przeprowadzonych analiz było poszukiwanie możliwych zależności, wzajemnej korelacji parametrów kompensacyjnych oraz korelacji z innymi kluczowymi parametrami ...”. Czy Autor mógłby sformalizować korzyści użyteczne (zarówno te spodziewane jak i faktycznie osiągnięte) które były motorem podjęcia się tych analiz?
6. Czy Autor mógłby przedstawić schemat wykonywania tych analiz? Np. czy prowadzono jakieś analizy wstępne, np. zmierzające do redukcji wymiarowości problemu, badano możliwość zastosowania regresji wielorakiej, itp.?

#### **5. Wniosek końcowy**

Recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Grzegorza Szyszki pt. „Opracowanie metodyki szybkiej oceny dokładności ustawienia 5-osiowych, wielozadaniowych centrów obróbkowych, kompensacji zdiagnozowanych błędów i potwierdzenia zdatności obrabiarki do realizacji operacji technologicznych” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Rozprawa potwierdza umiejętność Doktoranta w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Zamieszczone w punkcie 4 uwagi szczegółowe i pytania do

Doktoranta mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają wartości naukowej i użytecznej pracy.

Praca doktorska mieści się w dziedzinie nauk Inżyniersko-Technicznych i dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna i spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych o stopniach i tytułach w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami), również dodatkowe wymagania stawiane tzw. doktoratom wdrożeniowym.

W oparciu o powyższe, oceniam pozytywnie pracę doktorską i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Gliwice, 03.05.2024

Ryszard Wyciołkowski