

Warszawa, dn. 18.03.2022 r.

prof. dr hab. inż. Adam Woźniak  
Politechnika Warszawska  
Wydział Mechatroniki  
Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej  
ul. św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa  
tel.: 22 234 8756, fax: 22 849 0395  
e-mail: [Adam.Wozniak@pw.edu.pl](mailto:Adam.Wozniak@pw.edu.pl)

**Recenzja**  
**Rozprawy doktorskiej mgra inż. Sławomira Jurkowskiego**  
**pt. „Metoda poprawy zdolności procesu wytwórczego poprzez korekcję błędu**  
**systematycznego współrzędnościowego ramienia pomiarowego”**

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Ksenia Ostrowska, prof. PK  
Podstawa opracowania recenzji: pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki  
Krakowskiej - prof. dra hab. inż. Jerzego Śładka z dnia  
16 grudnia 2021 r. (M.00-520-207/2021)

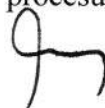
### 1. Skrócona charakterystyka zawartości rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Sławomira Jurkowskiego ujęta jest w sześciu rozdziałach o objętości wynoszącej (wraz ze streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz wykazem literatury, tabel i rysunków, najważniejszych skrótów i oznaczeń oraz załączników) łącznie 155 stron.

Dwustronicowy rozdział 1 obejmuje jedynie dość ogólne wprowadzenie oraz przedstawiony w punktach zakres planowanych prac.

W równie krótkim rozdziale 2 przedstawiono cel pracy: *„Celem pracy jest sformułowanie metody określenia błędu systematycznego pomiaru, realizowanego z wykorzystaniem współrzędnościowego ramienia pomiarowego oraz metody analizy wpływu korekcji błędu systematycznego na poprawę zdolności procesu produkcyjnego, a następnie zaimplementowanie niniejszego rozwiązania do wirtualnego redundantnego systemu pomiarowego”*. W rozdziale tym ponownie przedstawiono w siedmiu punktach oraz dwóch tabelach (Tab. 2.1 i 2.2) zakres pracy.

Rozdział 3 zawiera omówienie istniejącego stanu wiedzy zarówno w zakresie badania dokładności i wyznaczania niepewności współrzędnościowych systemów pomiarowych, jak również teorii inżynierii jakości, z uwzględnieniem wskaźników zdolności procesu



produkcyjnego oraz modeli matematycznych w sterowaniu jakością produkcji. W ostatnim akapicie tego rozdziału Doktorant przedstawił tezę rozprawy w brzmieniu: „*Korekcja procesu wytwórczego przeprowadzona w oparciu o dane z pomiarów realizowanych WRP w połączeniu z WWRP z uwzględnieniem błędu systematycznego generuje poprawę zdolności procesu wytwórczego*”.

Rozdział 4, choć nazwany dość myląco „Zakres wykonywanych prac – badania wstępne”, dotyczy w gruncie rzeczy identyfikacji głównych błędów pomiarów przy użyciu współrzędnościowego ramienia pomiarowego z zaznaczeniem szczególnej wagi błędów wprowadzanych przez operatora (tzw. czynnik ludzki). W dalszej części rozdziału bardzo skrótowo przedstawiono ideę opracowanego wcześniej w Politechnice Krakowskiej wirtualnego współrzędnościowego ramienia pomiarowego.

Najważniejszym z punktu widzenia oryginalności pracy jest rozdział 5, w którym po przedstawieniu krótkiej historii produkcji lokomotyw spalinowych w Polsce, następuje właściwa część zawierająca badania własne Doktoranta związane z realizacją celu i zakresu rozprawy.

Rozdział 6 to podsumowanie, w którym Doktorant zreasumował swoje osiągnięcia naukowo-badawcze zamieszczone w pracy oraz przedstawił kierunki dalszych badań.

Rozdział 7 stanowi bibliografia, która zawiera 95 pozycji bibliograficznych w wydawnictwach książkowych, artykułach w czasopismach i materiałach konferencyjnych oraz norm i wytycznych. Z wymienionych i cytowanych w rozprawie artykułów naukowych mgr inż. Sławomir Jurkowski jest autorem 2 i współautorem 1 publikacji w języku angielskim.

## **2. Znaczenie podjętych badań**

Współrzędnościowe systemy pomiarowe, a wśród nich silnie rozwijające się odmiany w postaci redundantnych systemów pomiarowych takich, jak współrzędnościowe ramiona pomiarowe, należą obecnie do najbardziej uniwersalnych urządzeń pomiarowych w zakresie metrologii geometrycznej i są podstawową systemów kontroli jakości części maszyn i urządzeń produkowanych w przemyśle maszynowym, motoryzacyjnym, lotniczym, AGD i w wielu innych. Dzięki odpowiedniej kontroli wymiarów oraz odchyłek geometrycznych można uzyskać dobrą współpracę wyprodukowanych zespołów mechanicznych, a co za tym idzie - wysoką niezawodność wytworzonych urządzeń.

Wynik pomiaru wykonanego przy użyciu współrzędnościowego ramienia pomiarowego obarczony jest błędem, na którego wartość ma wpływ szereg czynników. W ogólnym ujęciu są



to niedoskonałości geometrii elementów składowych urządzenia, błędy wskazania przetworników pomiarowych, błędy głowicy pomiarowej, błędy związane z wpływem warunków zewnętrznych (z których dominujące to temperatura oraz drgania), błędy strategii pomiarowej oraz algorytmów obliczeniowych. Ze względu na przenikanie się poszczególnych źródeł błędów i wzajemne ich powiązania pełne odseparowanie ich jest utrudnione i nie zawsze jednoznaczne. Jest to szczególnie kłopotliwe w przypadku redundantnych współrzędnościowych urządzeń pomiarowych, dla których te same wskazania pomiarowe można uzyskać dla nieskończonej liczby wzajemnych położeń członów pomiarowych urządzenia.

Poza tym współrzędnościowe ramiona pomiarowe obsługiwane są ręcznie przez operatora, co sprawia, że czynnik ludzki w budżecie niepewności pomiaru może mieć również duże znaczenie.

W tym świetle należy stwierdzić, że podjęte przez Doktoranta badania dotyczące oceny dokładności pomiarów wykonywanych przy użyciu redundantnych współrzędnościowych urządzeń pomiarowych ze szczególnym uwzględnieniem czynnika ludzkiego w zastosowaniu do kontroli jakości procesu produkcyjnego wydają się ważne zarówno z naukowego, jak również utylitarnego punktu widzenia.

Intencją Doktoranta było poznanie dokładności całego systemu pomiarowego, użycie otrzymanych wyników badań w celu korekcji błędów systematycznych umożliwiających poprawę zdolności procesu wytwórczego.

### **3. Szczegółowa ocena rozprawy**

Dokonując analizy poszczególnych części rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Sławomira Jurkowskiego, można wyróżnić najważniejsze osiągnięcia Doktoranta zarówno natury poznawczej, jak również praktycznej. Do osiągnięć poznawczych należy zaliczyć próbę adaptacji znanych metod badania dokładności współrzędnościowych systemów pomiarowych do specyfiki pomiarów wykonywanych przy użyciu współrzędnościowego ramienia pomiarowego, ze szczególnym zwróceniem uwagi na czynnik ludzki. Utylitarny charakter ma niewątpliwie próba rozbudowania narzędzia do analizy systemów produkcyjnych o elementy uwzględniające czynniki wpływające na wynik pomiaru. Uzyskano również satysfakcjonujące Doktoranta wyniki w zakresie optymalizacji procesu pomiarowego, w tym zminimalizowaniu kosztów wynikających z produkcji wyrobów niezgodnych ze specyfikacją.



Biorąc pod uwagę wymienione efekty rozprawy, potwierdzające naukowy charakter prowadzonych badań w zakresie badań doświadczalnych i wnioskowania, wyrażam pozytywną opinię o pracy doktorskiej Pana mgr inż. Sławomira Jurkowskiego. Recenzowana rozprawa potwierdza wystarczający stopień teoretycznej wiedzy ogólnej autora w zakresie dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

Oceniając pozytywnie recenzowaną pracę, chciałbym przedstawić kilka uwag polemicznych i krytycznych.

1. Tytuł rozprawy *„Metoda poprawy zdolności procesu wytwórczego poprzez korekcję błędu systematycznego współrzędnościowego ramienia pomiarowego”* sformułowany jest nieprecyzyjnie. O jaki błąd systematyczny tu chodzi?
2. Przeprowadzone w rozprawie badania poprzedziło sformułowanie tezy rozprawy w brzmieniu: *„Korekcja procesu wytwórczego przeprowadzona w oparciu o dane z pomiarów realizowanych WRP w połączeniu z WWRP z uwzględnieniem błędu systematycznego generuje poprawę zdolności procesu wytwórczego”*. Tak postawiona teza wydaje się być oczywista. Zawsze korekta błędu systematycznego zwiększa dokładność pomiaru. Co dalej - również w oczywisty sposób przekłada się na poprawę sterowania procesem produkcyjnym. Czy może być inaczej?
3. W rozdziale 4.1 Doktorant omówił najpierw ogólny podział źródeł błędów pomiarów wykonywanych przy użyciu współrzędnościowych ramion pomiarowych, by następnie przejść do ich dokładniejszego przedstawienia. Problem polega na tym, że zamiast usystematyzować ów podział, dokonano z jednej strony pomieszania różnych pojęć, z drugiej - pominięcia ważnych czynników. Rozpoczynając od punktu 1 *„Układ stykowy ramienia pomiarowego”* Doktorant wymienia: *„(a) rodzaj zastosowanej końcówki pomiarowej, (b) sztywność trzpienia pomiarowego, (c) zamocowanie końcówki pomiarowej w głowicy, (d) kompensacja długości trzpienia”*. Wśród wymienianych brakuje najważniejszego: rodzaju przetwornika głowicy pomiarowej. Z kolei *„kompensacja długości trzpienia”* powinna się znaleźć w punkcie 6 *„Oprogramowanie”* razem z korekcją promieniową (promienia) końcówki pomiarowej, której również brakuje w tym wykazie. Jeżeli chodzi o punkt 5 *„Połączenia ruchome”* nie jest zrozumiałe, czym są *„błędy kształtu i położenia członami”*. W punkcie, gdzie wymienione są czynniki związane z oddziaływaniem otoczenia, osobnym punktem jest *„temperatura”* i osobnym *„źródła ciepła”*. To tylko niektóre przykłady. Mam nadzieję, że Doktorant uporządkuje podział źródeł błędów pomiarów współrzędnościowych, choćby korzystając z dobrych wzorców książkowych.



Oprócz przedstawionych uwag polemicznych, w pracy dostrzegam także szereg usterek terminologicznych, nieścisłości, braków, pomyłek i błędów literowych. Przedstawiam tylko ważniejsze z nich.

1. W pracy zamieszczono wykaz oznaczeń i skrótów, co z założenia powinno umożliwić jednoznaczne przypisanie użytego oznaczenia do jego opisu. Niestety wykaz sporządzono niestarannie. Występują np. dwa różne oznaczenia „AACMM” i „WRP” współrzędnościowego ramienia pomiarowego, a inny ważny skrót „WWRP”, występujący w tezie pracy, w ogóle nie występuje w wykazie, przez co teza pracy dla wielu czytelników może być niezrozumiała.
2. W pracy występują ogromne braki interpunkcyjne. Nie sposób je wymieniać w recenzji. Dlatego zaznaczyłem je bezpośrednio w tekście rozprawy.
3. Równanie (5.2) i akapit po nim następujący na str. 100 jest powtórzeniem równania (3.50) akapitu po nim następującego na str. 54.
4. W pracy zamieszczono niewiele znaczące rysunki, np. rys. 5.1, 5.2, przedstawiające widok lokomotyw spalinowych, czy rys. 5.18 zawierający pusty widok formularza danych.
5. Wiele rysunków zawiera wykresy, których osie pozbawione są jednostek miary, np. rys. 4.8, 4.9, 5.8, 5.9 i 5.10.
6. Podobnie wiele tabel prezentujących wyniki badań pozbawione są jednostek miary, np. tab. 4.2, 5.2.
7. Brak pierwszej pozycji spisu literatury.

Przedstawione uwagi nie wpływają w sposób znaczący na pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej.

#### **4. Ocena końcowa rozprawy**

Na podstawie powyższych stwierdzeń wyrażam opinię, że przedstawiona rozprawa doktorska mgra inż. Sławomira Jurkowskiego pt. *„Metoda poprawy zdolności procesu wytwórczego poprzez korekcję błędu systematycznego współrzędnościowego ramienia pomiarowego”* spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r. w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i tym samym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

