

Kielce, dnia 13.08.2019r.

Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak
Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Politechniki Świętokrzyskiej

Opinia

o rozprawie doktorskiej mgr. inż. Macieja Byszewskiego

pt. „Adaptacyjne mocowanie elementów nieszywnych w pomiarach współrzędnościowych”.

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Adam Woźniak

Podstawa opracowania recenzji: zlecenie Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej

1. Zakres i cel rozprawy.

Przedstawiona do recenzji rozprawa składa się z 6 rozdziałów, zawiera 124 stron, w tym 94 rysunki i 13 tabel. W pracy tej należy wyodrębnić dwie główne części.

Część I – obejmuje wprowadzenie do zagadnienia i istniejący stan wiedzy ze szczególnym uwzględnieniem dotychczas ustalonych źródeł błędów, opisujących dokładność pracy współrzędnościowej maszyny pomiarowej (WMP), istoty działania sił wewnętrznych charakteryzujących pomiary współrzędnościowe, warunków stosowania sond stykowych (czujników). W tej części autor wypuklił zagadnienia związane z pomiarami elementów nieszywnych oraz omówił wirtualne metody ich mocowania. Ta część pracy została przedstawiona w oparciu o analizę literatury. Są w niej zawarte istotne informacje przedstawiające cel i tezę pracy. Część II – obejmuje opracowanie właściwe, która przedstawia własne osiągnięcie autora pracy. Ta część zawiera:

- omówienie nowej metody mocowania adaptacyjnego z uwzględnieniem szczegółowych warunków i jej istotę;
- badania doświadczalne weryfikujące zalety zaproponowanej metody wraz z podsumowaniem pracy uwzględniającym wnioski końcowe.

Z przytoczonych 117 pozycji literaturowych zdecydowana większość odnosi się do zagadnień merytorycznych związanych z rozprawą, z czego 8 jest współautorskich Autora pracy.

W przedstawionych rozprawach naukowych daje się zauważyć dwa sposoby podania cytowanej literatury; jeden obszerny, który obejmuje oprócz literatury bezpośrednio związanej z prezentowaną problematyką, również takie pozycje bibliograficzne, które dotyczą całego obszaru badanych metod pomiarowych i zagadnień metrologii ogólnej, szczególnie dotyczącej analizy i syntezy błędów, a także właściwości użytkowych i metrologicznych narzędzi pomiarowych. Natomiast drugi obejmuje tylko literaturę, która dotyczy ściśle określonych problemów, niezbędnych do ustalenia aktualnego stanu wiedzy. Osobiście jestem zwolennikiem tego

pierwszego, częściej stosowanego przez autorów rozpraw, który umożliwia czytelnikowi poznanie szerszego spektrum naukowych problemów przedstawionych przez autora uwzględniających dodatkowo wydane podręczniki i normy. W opiniowanej pracy autor posłużył się drugim rozszerzonym wariantem, na podstawie którego mogłem stwierdzić, że dokonano wnikliwej analizy tematu dotyczącej zagadnień sposobów oceny stosowanych już mechanicznych metod mocowania elementów niesztynnych, a także używanych wirtualnych metod. W analizie tej zwrócono uwagę, że wiele problemów nie zostało rozstrzygniętych i z tego powodu występuje konieczność opracowania nowej metody.

Analizując tę część stwierdzam, że autor dokonał w sposób usystematyzowany przeglądu i analizy literatury, związanej bezpośrednio merytorycznie z tematem pracy. Poprawnie sformułował wnioski, będące podstawą dla przyjęcia celu, tezy pracy i zakresu podjętych własnych badań. Sądzę jednak, że w wykazie literatury oprócz podręczników i norm należało uwzględnić zrealizowane prace doktorskie (B. Juras- Politechnika Krakowska, A. Woźniak – Politechnika Warszawska, W. Płowucha – Akademia Techniczno-Humanistyczna Bielsko-Biała itp.), prace habilitacyjne (J. Śladek – Politechnika Krakowska, W. Jakubiec – Akademia T-H Bielsko-Biała, M. Poniatowska – Politechnika Białostocka itp.)

Jednym z istotniejszych problemów we współczesnej technice jest technologia, która stanowi ważną podstawę produkowania różnych maszyn i urządzeń mechanicznych. Powszechnie wiadomo, że rozwój technologii jest uzależniony od postępu w technice pomiarowej, która pozwala na kontrolę poprawności realizacji procesów technologicznych, z uwzględnieniem problemów sterowania cyklem produkcyjnym poszczególnych elementów maszyn. A głównie umożliwia ustalenie poprawności ich wykonania pod względem ustalonej specyfikacji geometrii. W związku z tym pojawia się stała konieczność prowadzenia badań naukowych i prac rozwojowych w zakresie nowoczesnych, nowych metod pomiarów, a także doskonalenia już istniejących, szczególnie w obszarze dotyczącym możliwości podwyższania dokładności pomiarów. Na tym odcinku - badań szczególnie od wielu lat - można zauważyć dużą aktywność działalności naukowej odnoszącej się do współrzędnościowej techniki pomiarowej. Ta technika pomiarowa stała się podstawą kontroli procesów wytwarzania maszyn i urządzeń mechanicznych, a także wytwarzania różnego rodzaju elementów mających zastosowanie w wielu dziedzinach nauki, techniki, np. w medycynie. Ważnym problemem tej techniki pomiarowej jest ustalenie dokładności pomiarów, chociażby z tego względu, że obecnie ustalono występowanie ponad 20 źródeł błędów składowych, które poprzez skomplikowany układ pomiarowy maszyny współrzędnościowej kumulują się w dość specyficzny sposób i z tego względu występują problemy w ustaleniu dokładności pomiarów. Jak wykazuje praktyka istotnym źródłem błędów WMP jest mierzony element z tego względu, że ma on znaczną podatność na odkształcenia spowodowane

własnym ciężarem, naciskiem pomiarowym sondy (czujnika) oraz siłami mocowania elementu na stole pomiarowym.

Dlatego też przedstawiony przez Autora cel pracy dotyczący opracowania nowej, adaptacyjnej metody mocowania elementów niesztynnych w pomiarach współrzędnościowym należy uznać pozytywnie z naukowego, jak i utylitarnego punktu widzenia.

2. Uzasadnienie podjęcia tematu

Współrzędnościowa technika pomiarowa realizowana za pomocą specjalistycznych maszyn, charakteryzuje się tym, że zasadniczym problemem jest sposób mocowania elementu na stole pomiarowym WMP. Jak wykazały dotychczasowe badania i praktyka metrologiczna, często pomijanym czynnikiem składowym dokładności maszyn są błędy pochodzące od tego ważnego źródła. Dotyczy to szczególnie elementów niesztynnych, gdyż są one w większości podatne na wspomniane odkształcenia mierzonego elementu pochodzące od własnego ciężaru, związanego z naciskiem pomiarowym stosowanej sondy (czujnika) oraz dotyczące występowania sił ustalających mierzony element na maszynie.

Na podstawie przeprowadzonej przez Autora wnikliwej analizy dotychczasowych prac naukowych dotyczących optymalnego ustalania mierzonego przedmiotu na maszynie współrzędnościowej wynika, że ważnym celem jest opracowanie nowej metody zwanej adaptacyjną tak, aby zminimalizować błędy znajdujące się w grupie: mierzony element. W ramach tego celu można ustalić problemy, które wymagają rozwiązania :

- opracowanie koncepcji praktycznej realizacji aktywnych podpór;
- opracowanie algorytmu lokowania aktywnych podpór z wykorzystaniem metody elementów skończonych;
- ustalenie procedury kalibracji aktywnych podpór;
- utworzenie stanowiska badawczego w celu weryfikacji opracowanej metody;
- przeprowadzenie badań eksperymentalnych w 3 konfiguracjach: mocowania adaptacyjnego, ustalenie orientacji pomiarów w stanie naprężonym, mocowania w sytuacji nieoddziaływującej na odkształcenia w wyniku grawitacji;
- dokonanie szczegółowych opisów badanych elementów, których konstrukcje są przydatne do ustalenia rozmieszczonych podpór;

W świetle przedstawionych dotychczas nie rozwiązanych zagadnień podjęcie rozprawy należy uznać za całkowicie uzasadnione pod względem naukowych i utylitarnym. W rezultacie przeprowadzanych na podstawie literatury wyników realizowanych prac badawczych analizy stanu wiedzy o mocowaniu na maszynach współrzędnościowych elementów niesztynnych, została przedstawiona ważna i właściwa

teza pracy: „**Możliwe jest opracowanie metody mocowania elementów niesztynnych w stanie quazi swobodnym, umożliwiającej pomiary współrzędnościowe z dokładnością większą niż w przypadku klasycznych metod pomiarowych.**”

3. Metodyka i program badań

Pod względem metodycznym w opiniowanej rozprawie doktorskiej dają się wyróżnić podstawowe niżej wymienione części:

1. Dokonanie analizy podstawowego stanu wiedzy, na podstawie którego ustalono „białe plamy” w pomiarach współrzędnościowych odnoszące się do pomiarów elementów niesztynnych;
2. Opis i ocena metrologiczna zaproponowanej metody adaptacyjnego pomiaru elementów niesztynnych na stole pomiarowym;
3. Przedstawienie wyników badań doświadczalnych, które pozwoliły dla pojedynczych, badanych elementów ustalić błąd zaproponowanej metody w aspektach porównawczych do mocowania klasycznego i do przemieszczenia mierzonego elementu wg zastosowanej metody elementów skończonych;
4. Przeprowadzenie elementów badań eksperymentalnych weryfikujących opracowaną metodę. Badania te przeprowadzone na specjalnie zbudowanym stanowisku, na którym podstawowym elementem były zaprojektowane i zbudowane aktywne podpory;
5. Opracowaniem w celu przeprowadzenia badań porównawczych wzorca płaskości.

Dokonując wnikliwej analizy poszczególnych części pracy można sformułować najważniejsze osiągnięcia Aurora tej rozprawy, do których należy zaliczyć:

1. **Dokonanie analizy istniejącego stanu wiedzy ze szczególnym uwzględnieniem już opracowanych sposobów adaptacyjnego mocowania;**
2. **Przedstawienie stanowiska badawczego do weryfikacji opracowanej metody;**
3. **Przeprowadzenie badań eksperymentalnych potwierdzających przydatność opracowanej metody.**

Oceniając pozytywnie recenzowaną pracę chciałabym przedstawić kilka uwag polemicznych i krytycznych:

1. Praca dotyczy opracowania nowej metody adaptacyjnego mocowania elementów niesztynnych na WMP. Jednak uważam na podstawie swojej praktyki pomiarowej, że zawsze występuje problem w zero-jedynkowym ustaleniu, czy mierzony element jest sztywny lub niesztynny. Z punktu widzenia wytrzymałości materiału – ustalenie sztywności elementu materiału jest elementem bardzo złożonym. Występują co prawda standardowe

współzależności, aby taki stopień sztywności ustalić. W praktyce metrologicznej w wielu przypadkach intuicyjnie przeprowadza się kwalifikację elementów, gdyż zacytowane w pracy założenia, że element jest sztywny, gdy odkształcenia nie przekraczają 5% tolerancji, a niesztywny, gdy odkształcenia znajdują się w przedziałach od 5 – 10%. Nasuwa się pytanie, jak w praktyce ustalić takie przedziały zmienności dla konkretnie mierzonego elementu.

2. W pracy przedstawiono nową metodę mocowania elementów na stole maszyny pomiarowej. Postuluję, aby zaproponowaną metodę zaszeregować do jednej z wielu definicji zaproponowanej przez profesora T. Kotarbińskiego zawartej w książce pt. „ O pojęciu metody”, PWN 1960 rok.
3. Z punktu widzenia metrologii opracowując nową metodę należy precyzyjnie, w ramach istniejących środków, a przede wszystkim stosując statystykę matematyczną ustalić eksperymentalny błąd metody wychodząc z metrologicznej definicji metody pomiarowej, że jest to sposób porównywania do zastosowania w pomiarach. Z tego względu opracowana metoda należy porównać z istniejącymi – ustalając metodę wzorcowa, odniesieniową. Może to być metoda adaptacyjnego mocowania, już wcześniej opracowana. Dopiero po takim podejściu można uznać wyższość zaproponowanej metody.
4. W analizie stanu wiedzy zwrócono uwagę na różne, już istniejące metody, których autentyczność powinna być ustalona na podstawie przeprowadzonej analizy patentowej. Trąka analiza byłaby przydatna, aby oryginalność zaproponowanej metody była potwierdzona zgłoszeniem patentowym;
5. Autor rozprawy przedstawił pracę w postaci zwartej, co należy ocenić pozytywnie, ale taka wersja pracy wymaga, aby przedstawić wykaz oznaczeń i stosowanych skrótów, co w sposób zasadniczy ułatwiłoby zapoznanie się z treścią pracy.

W pracy dostrzegłem również usterki stylistyczne i niezbyt precyzyjne sformułowania. Większość z nich przekazałem bezpośrednio autorowi i sądzę, że zostaną uwzględnione w kolejnych opracowaniach. **Należy również stwierdzić, że przedstawione uwagi polemiczne i krytyczne nie umniejszają dużej wartości ocenianej pracy.** Mogą być one uzupełnieniem realizowanych przez autora dalszych prac badawczych i mogą być rozszerzeniem podsumowania pracy i sformułowania przedstawionych dość lakonicznych wniosków. Mogą być również zaliczone przez autora, jako kierunki dalszych prac, które w przedstawionych wnioskach się nie znalazły.

Wykonana praca potwierdza wysoką pozycję naukową zespołu kierowanego przez profesora Adama Woźniaka, będącego kontynuatorem uprawianych od wielu lat badań naukowych realizowanych przez Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej Wydziału Mechatroniki PW, a zapoczątkowanych przez profesora Eugeniusza Ratajczyka.

4. Ocena końcowa pracy.

Analizując opiniowaną pracę, oceniam, że kompleksowa jej ocena jest pozytywna. Na taką ocenę składają się niżej podane stwierdzenia:

1. Zaopiniowana rozprawa doktorska dotyczy ważnych problemów pomiarów współrzędnościowych i oceny dokładności tych sposobów z uwzględnieniem mierzonych elementów, które należą do istotnych czynników wpływających na oszacowanie dokładności.
2. Badania zostały przeprowadzone poprawnie pod względem metrologicznym, a wnioski wynikające z tych badań zostały właściwie sformułowane, chociaż są niekiedy okólnikowe i lakoniczne.
3. Praca wnosi szereg uwag z zakresu możliwości stosowania nowych metod mocowania mierzonych nie sztywnych elementów na maszynach współrzędnościowych.
4. Wyniki przeprowadzanych badań współrzędnościowych, mogą mieć duże znaczenie użyteczne, gdyż będzie można dokonać minimalizacji występujących błędów co umożliwi stosowanie opracowanej nowej metody mierzenia przedmiotów na stole pomiarowym.

Autor w pracy wykazał się także:

- bogatą wiedzą w zakresie współrzędnościowych metod pomiarów;
- umiejętnością korzystania z literatury naukowo-technicznej;
- umiejętnością opracowania właściwego programu badawczego, przyjęciem właściwej metody badań teoretycznych, a zwłaszcza eksperymentalnych
- zdolnością poprawnego wnioskowania;

Na podstawie powyższych stwierdzeń wyrażam opinię, że rozprawa doktorska pt. „ Adaptacyjne mocowanie elementów nie sztywnych w pomiarach współrzędnościowych” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zawartych w dokumentach ustawowych o stopniach i tytułach naukowych i wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. Macieja Byszewskiego do publicznej obrony.

S. Adamczyk