

Kielce, dnia 30 maja 2023 r.

mgr inż. Tomasz Dobrowolski

## **Streszczenie rozprawy doktorskiej**

### **Analiza metrologiczna wzorców stosowanych do pomiarów chropowatości powierzchni**

W latach 2013-2017 realizowany był projekt badań porównawczych z wykorzystaniem przyrządów pomiarowych reprezentujących metody stykowe i optyczne, przeprowadzanych na wzorcach i próbkach po różnych rodzajach obróbki PBS2/A6/20/2013 Narodowego Centrum Badań i Rozwoju "Badania i ocena wiarygodności nowoczesnych metod pomiaru topografii powierzchni w skali mikro i nano". W oparciu o analizę otrzymanych wyników stwierdzono występowanie znaczących różnic w uzyskiwanych wynikach pomiarów pomimo realizowania ich zgodnie z dobrą praktyką metrologiczną, z zachowaniem wytycznych do realizacji pomiarów i procedur analizy. Wyniki tych badań stały się inspiracją do zainteresowania się tematyką szczególną grupą wzorców stosowanych w pomiarach wielkości geometrycznych jakimi są wzorce wykorzystywane w pomiarach struktury geometrycznej powierzchni. Jednym z motywów realizacji tej pracy jest poprawa wiarygodności tego typu pomiarów.

Głównym celem pracy była analiza metrologiczna obecnie stosowanych wzorców do wzorcowania charakterystyk metrologicznych przyrządów do pomiarów struktury geometrycznej powierzchni. Stała się ona punktem wyjścia do opracowania wytycznych nowego typu wzorca materialnego do wzorcowania przyrządów stykowych umożliwiających pomiary przestrzenne. Jego zaprojektowanie, wykonanie i przeprowadzenie badań.

Do zrealizowania tak postawionego celu głównego przyjęto następujące cele szczegółowe:

- przeprowadzenie analizy metrologicznej wybranych typów wzorców 2D oraz weryfikacja ich charakterystyk metrologicznych,
- wykonanie badań porównawczych wzorca C/PPS z uwzględnieniem przyrządów stykowych i optycznych,
- przeprowadzenie analizy metrologicznej wybranych typów wzorców 3D oraz weryfikacja ich charakterystyk metrologicznych,
- opracowanie wytycznych i zaprojektowanie nowego typu wzorca,
- wykonanie wzorca,
- analiza charakterystyk metrologicznych nowopowstałego wzorca.

W rozdziale pierwszym przedstawiono najważniejsze informacje dotyczące wielowiekowej historii jednostek długości. Opisano również powstanie układu jednostek miar, pierwszą definicję metra oraz redefinicje jednostki metra, jakie miały miejsce na przełomie kilkuset lat.. Zaprezentowano również metody pomiaru struktury geometrycznej powierzchni wg podziału na metody profilowania liniowego, metody topografii przestrzennej oraz metody zintegrowanego obszaru. Opisano także dokumenty normalizacyjne charakteryzujące przyrządy do pomiarów struktury geometrycznej powierzchni. Omówiono znaczenie zagadnienia spójności pomiarowej w aspekcie pomiarów struktury geometrycznej powierzchni. Opisano parametryczną ocenę struktury geometrycznej powierzchni w aspekcie zmian jakie nastąpiły w najnowszych dokumentach normalizacyjnych. Zaprezentowano również problematykę związaną z wzorcowaniem przyrządów do pomiarów SGP. Skupiono się przede wszystkim na profilometrii stykowej z ostrzem odwzorowującym ze względu na fakt, że dalsza część pracy dotyczy tej metody.

W rozdziale drugim przedstawiono przegląd literatury związany z charakterystykami metrologicznymi przyrządów pomiarowych zarówno stykowych jak i optycznych. Skupiono się także na przedstawieniu charakterystyk metrologicznych wszystkich typów wzorców do pomiarów chropowatości z przykładowymi wynikami pomiarów wykonanych w Laboratorium Komputerowych Pomiarów Wielkości Geometrycznych Politechniki Świętokrzyskiej. Przedstawiono najnowsze rozwiązania w dziedzinie wzorców przestrzennych. Omówiono zasady przeprowadzania wzorcowań

przyrządów stykowych i optycznych oraz wykorzystanie wzorców w międzylaboratoryjnych badaniach porównawczych.

W rozdziale trzecim opisano cel główny pracy oraz cele szczegółowe. Przedstawiono tok postępowania podczas realizacji pracy.

W rozdziale czwartym przedstawiono wyniki badań wykonanych przez autora wzorców typu A, C, D pod kątem zmienności geometrii powierzchni wzorca oraz powtarzalności przyrządu pomiarowego. Do analizy otrzymanych wyników badań została wykorzystana dwuczynnikowa analiza wariancji ANOVA. Zaprezentowano również wyniki badań porównawczych wzorca typu C przeprowadzane z wykorzystaniem pięciu profilometrów stykowych oraz sześciu przyrządów optycznych. Przeprowadzono analizę charakterystyk nowych typów wzorców przestrzennych ASP, ACG i AIR.

W rozdziale piątym przedstawiono założenia projektowe oraz koncepcję opracowanego nowego wzorca do wzorcowania profilometrów stykowych wyposażonych w stolik osi  $Y$ . Opisano budowę, zasadę działania oraz własności metrologiczne wzorca. Zaprezentowano model CAD zaprojektowanego wzorca oraz rysunki jego komponentów. Przedstawiono technologię wykonania prototypu wzorca, charakteryzując proces obróbki i nakładania powłoki ochronnej. Skupiono się na ocenie wymiarowo - kształtowej wzorca oraz elementów wchodzących w jego skład dokonując pomiarów:

- średnic oraz odchyłek okrągłości kulek ceramicznych,
- średnic oraz odchyłek kształtu gniazd pod kulki,
- płaskości powierzchni odniesienia,
- odległości pomiędzy płaszczyzną referencyjną wzorca a biegunami poszczególnych kul.

Zaprezentowano wyniki pomiarów wzorca na profilometrze stykowym wyposażonym w głowicę interferometryczną oraz na przyrządzie z głowicą indukcyjną. Ostatnim elementem było sprawdzenie wzorca pod kątem możliwości wyznaczania prostopadłości osi  $X$  i  $Y$  w profilometrach stykowych.

W rozdziale szóstym przedstawiono zebrane wnioski dotyczące przeprowadzonych badań. Zostały również zaprezentowane potencjalne kierunki dalszych badań.