

Stanisław ADAMCZAK<sup>1</sup>  
Tatiana MILLER<sup>2</sup>  
Jacek ŚWIDERSKI<sup>3</sup>  
Michał WIECZOROWSKI<sup>4</sup>  
Radomir MAJCHROWSKI<sup>5</sup>  
Aneta ŁĘTOCHA<sup>6</sup>

## ZAŁOŻENIA DO OCENY WIARYGODNOŚCI POMIARÓW TOPOGRAFII POWIERZCHNI W RÓŻNYCH SKALACH

W referacie przedstawiono podstawowe założenia projektu „Badania i ocena wiarygodności nowoczesnych metod pomiaru topografii powierzchni w skali mikro i nano”. Celem realizacji projektu jest oszacowanie różnic w wynikach pomiarów topografii powierzchni w grupach przyrządów stykowych i bezstykowych oraz między grupami. Pozwoli to określić wiarygodność pomiarów wykonywanych różnymi przyrządami zarówno w praktyce przemysłowej jak i w badaniach naukowych oraz wskazać optymalny dobór metod do różnych zastosowań. Odpowiedni poziom wiarygodności uzyskiwany podczas pomiarów struktury geometrycznej powierzchni jest niezbędny podczas badań naukowych oraz w przemyśle do podejmowania decyzji dotyczących sterowania jakością wyrobów.

## THE ASSUMPTIONS TO CREDIBILITY ASSESSMENT OF SURFACE TOPOGRAPHY MEASUREMENTS IN VARIOUS SCALES

The paper presents a concept of the project: “Research and evaluation of reliability of modern methods of surface topography measurements in micro and nano scale”. The aim of the project is to estimate the differences in the results of the surface topography measurements in two groups: contact and non-contact devices, and between the groups as well. It allows to define reliability of measurements which are performed by different devices both in industrial conditions and research, and to point out optimal selection of the methods for different applications. The proper level of reliability obtained during surface geometrical structure measurements is necessary during research and in the industry to make proper decision regarding the quality control of the product.

### 1. WSTĘP

Postęp naukowy i technologiczny w dziedzinie poprawy jakości mikro i nanostruktury powierzchni elementów obrabianych różnymi metodami wymaga stosowania coraz bardziej dokładnych i uniwersalnych metod badania stanu wykonywanych części maszyn. Podstawowym problemem w technologii budowy maszyn i części maszyn jest sterowanie geometrią powierzchni, a w szczególności powierzchni współpracujących. Ponieważ istnieje wiele metod i urządzeń realizujących pomiary struktury geometrycznej powierzchni [1 ÷ 5], w tym chropowatości, w przemyśle często powstają nieporozumienia między wykonawcą i odbiorcą związane z różnicą w ocenie jakości wyrobów i interpretacją wyników pomiaru.

Problem pomiarów chropowatości powierzchni jest często bagatelizowany lub niedostrzegany. Powszechnie uważa się, że prosty pomiar warsztatowym profilometrem i sprawdzenie parametru  $Ra$  są wystarczające. Jednakże dla niektórych powierzchni nie zawsze jest to właściwy sposób oceny, co wynika z niejednorodnej struktury i nakładających się na chropowatość innych składowych wpływających na jej jakość. Dobór procesu technologicznego pociąga za sobą konieczność zrozumienia strukturalnych wymagań powierzchni dla zapewnienia właściwości i związanych z nią oczekiwanych parametrów użytkowych.

Celem realizacji projektu jest oszacowanie różnic w wynikach pomiarów topografii powierzchni wykonywanych różnymi metodami i przyrządami w grupach przyrządów stykowych i bezstykowych, między grupami:

<sup>1</sup> Politechnika Świętokrzyska, 25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, adamczak@tu.kielce.pl

<sup>2</sup> Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, ul. Wrocławska 37a, 30-011 Kraków, tatiana.miller@ios.krakow.pl

<sup>3</sup> Politechnika Świętokrzyska, 25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, swiderski@tu.kielce.pl

<sup>4</sup> Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, Michal.Wieczorowski@put.poznan.pl

<sup>5</sup> Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, Radomir.Majchrowski@gmail.com

<sup>6</sup> Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, ul. Wrocławska 37a, 30-011 Kraków, aneta.letocha@ios.krakow.pl

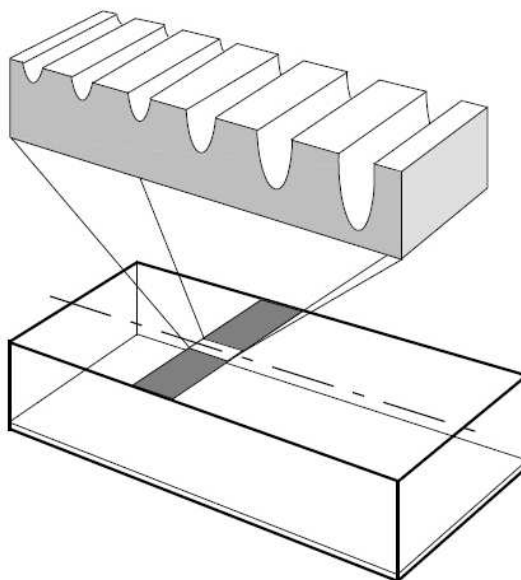
stykowe – bezstykowe oraz próba znalezienia i zdefiniowania źródeł powstawania tych różnic. Pozwoli to określić wiarygodność pomiarów wykonywanych różnymi przyrządami zarówno w praktyce przemysłowej jak i w badaniach naukowych oraz wskazać optymalny dobór metod do różnych zastosowań.

## 2. STAN WIEDZY

Niejednokrotnie prowadzone były już prace mające na celu porównanie wyników pomiarów chropowatości wykonywanych profilometrami kilku firm. Badania te, mimo że przeprowadzone zostały z dużą starannością w doborze metod i przebiegu realizacji badań, wykazały różnice między wynikami, w niektórych przypadkach dość istotne. Programem badań objęte były tylko profilometry stykowe. Badaniom poddane były powierzchnie po różnych rodzajach obróbki oraz nieliczne wzorce, które posłużyły do sprawdzenia kalibracji przyrządów. W związku z innym charakterem tych badań, nie zostały wyjaśnione przyczyny zaistniałych różnic.

Dlatego w ramach projektu planowane jest przeprowadzenie badań w szerszym zakresie, wykonanych w znacznej części na materialnych wzorcach chropowatości różnych typów, o charakterystykach zgodnych z normą *PN-EN ISO 5436-1* oraz na wybranych powierzchniach po różnych rodzajach klasycznej obróbki materiałów jak również nowoczesnych metod wytwarzania różnego typu powłok i powierzchni z teksturą. Oparcie programu badań na wzorcach chropowatości i mikrozarysów różnego typu zapewni dużą odtwarzalność obszaru pomiarowego i nie wprowadzi zróżnicowania wyników, wynikającego z niejednorodnego obszaru, co będzie stanowiło bazę odniesienia dla analizy różnic na powierzchniach nie będących wzorcowymi.

Przykładowy wzorec wykorzystywany w badaniach pokazano na rysunku 1.



*Rys. 1. Przykładowy wzorec stosowany w badaniach [6]*

## 3. PROGRAM REALIZACJI PROJEKTU

Projekt realizowany będzie zgodnie z przedstawionym poniżej harmonogramem. Okresy realizacji poszczególnych etapów zachodzą na siebie z uwagi na istniejące zależności i sprzężenia między pracami które są realizowane w kolejnych zadaniach oraz możliwością realizacji kolejnych prac przez część zespołu, korzystając z już uzyskanych wyników, przy równoczesnej weryfikacji i kontynuacji nie zakończonych jeszcze zadań.

- Zadanie 1. Weryfikacja i selekcja metod pomiarowych z uwzględnieniem innowacyjnych rozwiązań.
- Zadanie 2. Opracowanie programu badań profilometrów stykowych i bezstykowych umożliwiającego identyfikację źródeł błędów wpływających na niepewność pomiarów struktury geometrycznej powierzchni.
- Zadanie 3. Przeprowadzenie badań w wyniku których powstanie baza danych do analizy źródeł błędów.
- Zadanie 4. Modelowanie wzorców programowych i walidacja oprogramowania.
- Zadanie 5. Analiza wyników i przeprowadzenie badań uzupełniających.
- Zadanie 6. Weryfikacja wyników badań, zdefiniowanie głównych źródeł błędów w pomiarach struktury geometrycznej powierzchni i ocena wiarygodnego zakresu zastosowań poszczególnych metod.

#### 4. ZAKRES BADAŃ

W ramach programu badań przewiduje się porównanie pomiarów wykonanych profilometrami stykowymi kilku firm z pomiarami bezstykowymi, wykonanymi urządzeniami mającymi funkcje profilometryczne i wykonującymi pomiary różnymi metodami.

Dodatkowo w przyrządach, które mają wymianę danych cyfrowych (formaty txt, smd i inne stosowane w profilometrach różnych firm), przewiduje się przeprowadzenie wymiany danych z pomiarów między przyrządami. Pozwoli to na porównanie wyników obliczeń wykonywanych przez programy analizy różnych firm, z tych samych danych pomiarowych.

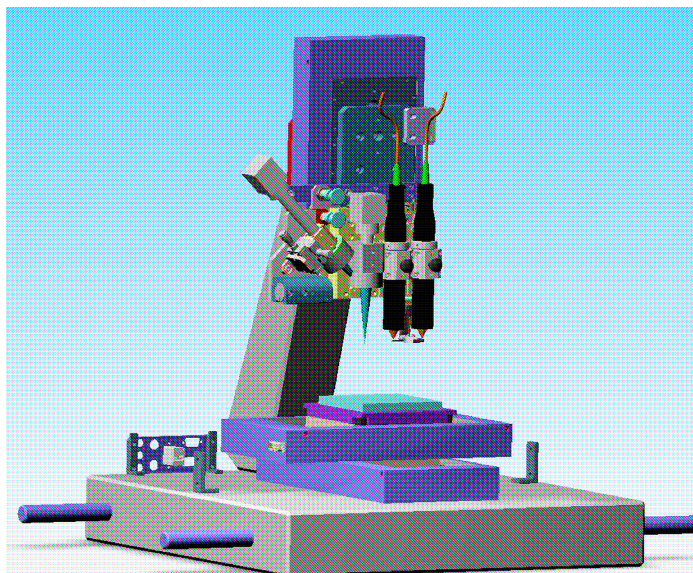
Opracowane zostaną modele matematyczne powierzchni o charakterze wzorcowym, w tym również w formacie zgodnym z formatem zawartym w normie *PN-EN ISO 5436-2 (smd)*. Pozwoli to na porównanie algorytmów programowych różnych profilometrów, niezależnie od porównania wyników pomiarów. Dla przyrządów, które nie obsługują tego formatu dane zostaną przetworzone do udostępnionych i obsługiwanych przez programy innych formatów tekstowych.

Otrzymane wyniki z tych badań stanowiąc będą element walidacji oprogramowania stosowanego przez różne firmy do analizy parametrów topografii powierzchni.

Przeprowadzenie pomiarów struktury geometrycznej powierzchni wykonywanych z wykorzystaniem profilometrów stykowych oraz bezstykowych, obejmie pełny zakres możliwości pomiarowych i zakresu analizy grupy wytwarzanych przyrządów.

#### 5. METODY I PRZYRZĄDY

Na rynku europejskim dostępne są przyrządy do pomiarów stykowych kilku firm, między innymi: Taylor-Hobson, Hommelwerke, Mahr, Zeiss, Mitutoyo, Altimet, Optacom, IZTW. Obecnie obserwuje się bardzo duże zainteresowanie przyrządami, które wykonują pomiary z wykorzystaniem bardzo różnych metod pomiarowych, w tym bezstykowych. Są to profilometry i mikroskopy z funkcjami profilometrycznymi takich producentów jak Taylor Hobson, Altimet, Mahr, Keyence, Bruker, Veeco, Nanofocus, Alikona, Nikon, Confovis, Nanovea, Soliton. Czasami jeden przyrząd ma kilka czujników pomiarowych różnego typu, co bardzo rozszerza zakres zastosowań i pozwala na dobór najbardziej właściwej metody pomiarowej dla danej powierzchni oraz na porównanie wyników pomiarów otrzymanych różnymi metodami (np. Altisurf firmy Altimet). Schemat takiego przykładowego systemu pokazany został na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat systemu pracującego w otwartej architekturze [7]

System ten posiada trzy gniazda do jednoczesnego zamocowania różnych głowic pomiarowych. Ich pozycje wzajemne są znane i ustalone, dzięki czemu możliwe są pomiary tej samej powierzchni za pomocą głowic wykorzystujących różne zasady fizyczne i nie tylko. Można zatem na przykład rozpocząć procedurę pomiarową od zastosowania kamery CCD w celu precyzyjnego określenia miejsca pomiaru, a następnie przeprowadzić inspekcję topografii powierzchni w wybranym miejscu za pomocą głowicy konfokalnej.

Tab. 1. Metody i przyrządy stykowe

<b>METODY STYKOWE</b>		
TYP PRYZRĄDU	PRODUCENT	UWAGI
Form Talysurf 1200 PGI	Taylor Hobson, Wielka Brytania	ostrze 2 $\mu\text{m}$ program TalyMap Platinum
FORM Talysurf	Taylor Hobson, Wielka Brytania	ostrze 2 $\mu\text{m}$ program TalyMap
Hommel Etamic T8000	Hommel-Etamic, Niemcy	ostrze 2 $\mu\text{m}$ program z grupy MountainsMap
Hommel Etamic nanoscan 855	Hommel-Etamic, Niemcy	ostrze 2 $\mu\text{m}$ program z grupy MountainsMap
Altisurf 500	Altimet, Francja	czujnik mikrośił ostrze 2 $\mu\text{m}$ program Altimap
Altisurf 520	Altimet, Francja	ostrze 2 $\mu\text{m}$ program Altimap
MarSurf XR 20	Mahr, Niemcy	ostrze 2 $\mu\text{m}$ program MarWin
TOPO 01	Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Polska	ostrze 2 $\mu\text{m}$ program Topografia IZTW
TOPO 02	Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Polska	ostrze 2 $\mu\text{m}$ program Topografia IZTW

Tab. 2. Metody i przyrządy bezstykowe

<b>METODY BEZSTYKOWE</b>		
TYP PRYZRĄDU	PRODUCENT	METODA / PROGRAM
<b>Interferencyjne</b>		
Talysurf CCI Lite	Taylor Hobson, GB	Interferometria skaningowa koherentna, program TalyMap Platinum
Wyko NT 1100	Veeco, USA	Interferometria skanowania pionowego, Program Wyko Vision 32
Altisurf 500	Altimet, Francja	Interferometria z przesunięciem fazy, program Altimap
<b>Konfokalne</b>		
Altisurf 500	Altimet, Francja	Mikroskopia konfokalna chromatyczna, program Altimap
LEXT OLS 4000	Olympus, Japonia	Confocal laser scanning microscope, LEXT 5.0 software
<b>Inne</b>		
diCaliber	Bruker, USA	Mikroskop sił atomowych (AFM)
Dimension Icon	Bruker, USA	Mikroskop sił atomowych (AFM)
Mikroskop holograficzny	Lyncee Tec, Szwajcaria	Mikroskopia holograficzna
InfiniteFocus Real3D	Alicona, USA	Mikroskop różnicowania ogniskowego, Program Infinite Focus

Przeprowadzona zostanie szczegółowa analiza najnowszych metod pomiarowych stosowanych w urządzeniach do pomiaru topografii powierzchni. W ramach zadania wytypowane zostaną przyrządy, które ujęte będą w programie badań oraz przeprowadzona zostanie pełna analiza możliwości pomiarowych i zakresu analizy danych wszystkich wytypowanych urządzeń, zgodnie z normami [8, 9, 10, 11]. Jest to konieczne ze względu na przygotowanie szczegółowego programu badań w sposób, który pozwoli ocenić odtwarzalność wyników

pomiarów, czyli stopień zgodności wyników tej samej wielkości mierzonej, otrzymanych w zmienionych warunkach pomiarowych. Aby odtwarzalność była jednoznaczna muszą zostać spełnione precyzyjnie określone warunki podlegające zmianom. Warunki, które będą podlegały zmianom mogą obejmować: zasadę pomiaru, metodę pomiaru, procedurę pomiarową, przeprowadzającego pomiary, zastosowany przyrząd pomiarowy, użyte wzorce, miejsce przeprowadzania pomiarów, warunki środowiskowe i czas.

Przewidywane do użycia w badaniach porównawczych metody i przyrządy stykowe zostały przedstawione w tabeli 1, natomiast w tabeli 2 zostały przedstawione metody i przyrządy bezstykowe.

Dlatego nie wystarczy pobieżne przeanalizowanie danych technicznych poszczególnych urządzeń. Konieczne jest szczegółowe zapoznanie się ze wszystkimi możliwymi do konfiguracji sprzętu i oprogramowania parametrami. Przygotowując urządzenia do badań zwrócimy szczególną uwagę na konfigurację i ustawienia parametrów sprzętu oraz na wszelkie możliwe do skonfigurowania parametry programów przeliczających, w szczególności stosowanie wszelkich filtrów [12,13], konfigurowanie rozdzielczości poszczególnych osi pomiarowych (odstępów próbkowania) - w tych przyrządach, które mają taką możliwość. Należy pamiętać że celem głównym projektu jest nie tylko sprawdzenie różnic w wynikach pomiarów, ale identyfikacja źródeł różnic w wynikach pomiarów i analiz, które spodziewamy się uzyskać. Dla niektórych urządzeń wskazane może być doposażenie ich w dodatkowe elementy składowe, które poprawią zakres i odtwarzalność przeprowadzenia badań porównawczych.

Przykładowy profilometr stykowy stosowany w badaniach pokazano na rysunku 3.



*Rys. 3. Przykładowy profilometr stykowy stosowany w badaniach [14]*

Przykładowy profilometr konfokalny zaprezentowano na rysunku 4.



*Rys. 4. Profilometr konfokalny stosowany w badaniach [15]*



Kolejnym wykorzystywanym systemem jest skaningowy interferometr koherentny. Przykładowy przyrząd wykorzystywany w analizie został pokazany na rysunku 5.



*Rys. 5. Skaningowy interferometr koherentny [16]*

W badaniach przewidziano również użycie mikroskopu różnicowania ogniskowego. Jego wygląd zaprezentowano na rysunku 6.



*Rys. 6. Mikroskop różnicowania ogniskowego [17]*

Przyrządy wytypowane zostały spośród wymienionych grup, z uwzględnieniem dostępności przyrządów, różnorodności metod pomiarowych stosowanych w przyrządach różnych firm: profilometria stykowa ostrzem pomiarowym, interferometria z przesunięciem fazy (PSI), interferometria skaningowa koherentna CS, mikroskopia konfokalna, mikroskopia konfokalna chromatyczna, mikroskopia zmienno ogniskowa, profilometria punktowa z automatycznym ogniskowaniem, mikroskopia elektronowa skaningowa kątowna SEM, mikroskopia tunelowa skaningowa STM, mikroskopia sił atomowych AFM.

## 6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza wyników badań pozwoli na zdefiniowanie głównych źródeł błędów w pomiarach struktury geometrycznej powierzchni oraz określenie wiarygodnego zakresu zastosowań poszczególnych metod. Może też dać nowy pogląd na wymagania jakie powinny być narzucane podczas przeprowadzania pomiarów oraz na dobór optymalnych metod pomiarowych.

Odpowiedni poziom wiarygodności danych pomiarowych uzyskiwanych podczas pomiarów struktury geometrycznej powierzchni jest niezbędny przy weryfikacji hipotez podczas badań naukowych oraz w przemyśle do podejmowania decyzji dotyczących sterowania jakością wyrobów i procesów wytwarzania.

Raport z wyników tych badań zostanie opublikowany w formie przydatnej użytkownikom przyrządów. Powinno to ułatwić przedstawicielom zakładów produkcyjnych zajmujących się oceną zgodności wyrobów ze specyfikacją dobór metod pomiarowych i urządzeń najlepiej dostosowanych do specyfiki produkcji.

Projekt nt. „Badania i ocena wiarygodności nowoczesnych metod pomiaru topografii powierzchni w skali mikro i nano”, realizowany jest w ramach Programu Badań Stosowanych i finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Adamczak S.: *Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość*, Wydawnictwa naukowo Techniczne, Warszawa 2008.
- [2] Oczóś K.E. Lubimow V.: *Struktura geometryczna powierzchni*, Rzeszów 2003.
- [3] Wieczorowski M.: *Wykorzystanie analizy topograficznej w pomiarach nierówności powierzchni*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2009.
- [4] Wieczorowski M.: *Metrologia nierówności powierzchni. Metody i systemy*, Wydawnictwo PPH ZAPOL, Szczecin 2013.
- [5] Zawada-Tomkiewicz A.: *Teoretyczne i doświadczalne podstawy monitorowania procesu toczenia z wykorzystaniem informacji o cechach stereometrycznych obrabianej powierzchni*. Koszalin 2012.
- [6] www.halle-normale.de
- [7] Wieczorowski M., Carras S., Śmierchalski D., Mathia T., Kucharski D., *Multisensor Solution in Platform Device for Surface Roughness Measurements*, w: *Development of Surface Metrology*, ed. P. Pawlus, University of Bielsko Biala, 2012, 35-44.
- [8] PN-ISO 4287: 1999/A1:2010P, *Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni*.
- [9] PN-ISO 4288: 2011, *Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Zasady i procedury oceny struktury geometrycznej powierzchni*.
- [10] ISO 25178-2: 2012, *Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Areal. Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters*.
- [11] ISO/FDIS 25178-3: 2012, *Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Areal. Part 3: Specification operators*.
- [12] Stępień K.: *Research on a surface texture analysis by digital signal processing methods*, *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette*, Volume 21, Issue 3, June 2014, Pages 485-493.
- [13] Stępień K., Makiela W.: *An analysis of deviations of cylindrical surfaces with the use of wavelet transform*, *Metrology and Measurement Systems*, Vol. XX (2013), No. 1, pp. 139–150.
- [14] T8000 Nanoscan, Hommel Etamic, Schwenningen, Niemcy, 2006.
- [15] Altisurf 520, Altimet, 2013.
- [16] CCI HD, Taylor Hobson, 2013.
- [17] Infinite Focus G4, Alicona, 2011.