



Wiarygodność pomiarów wykonywanych w akredytowanym laboratorium IZTW w zakresie topografii powierzchni oraz geometrii wyrobów

Reliability of measurements performed in the IZTW accredited laboratory in the field of surface topography and product geometry

TATIANA MILLER
KRZYSZTOF GAJDA
ANETA ŁĘTOCHA*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.4.47>

Prezentowano zakres i wiarygodność pomiarów wykonywanych w akredytowanym laboratorium w Sekcji Pomiarów Długości i Kąta w Zakładzie Metrologii Wielkości Geometrycznych IZTW. Badania i pomiary przeprowadza się w bardzo szerokim zakresie związanym z analizą struktury geometrycznej powierzchni i dokładności wymiarowo-kształtowej oraz kontrolą jakości wyrobów. Scharakteryzowano możliwości wyposażenia i oprogramowania znajdującego się w laboratorium.

SŁOWA KLUCZOWE: akredytowane laboratorium badawcze, specyfikacja geometrii wyrobów, chropowatość, kształt, geometria, topografia powierzchni, pomiary współrzędnościowe

The scope and the reliability of measurements performed in the accredited laboratory in the Section of Length and Angle Measurements in Department of Geometrical Quantities Metrology of the IATM were presented. The scope of services include the performance of tests and measurements in a very wide range related to surface texture analysis, research tests of dimensional and shape accuracy and product quality control. The capabilities of equipment and software available in the laboratory were characterized.

KEYWORDS: accredited research laboratory, geometrical product specification, roughness, form, geometry, surface topography, coordinate measurements

Większość pomiarów wykonywanych w Zakładzie Metrologii Wielkości Geometrycznych jest realizowana w ramach akredytowanego laboratorium badawczego IZTW, w Sekcji Pomiarów Długości i Kąta. Od 1998 r. laboratorium ma akredytację nr AB 197 Polskiego Centrum Akredytacji na zgodność z wymaganiami PN-EN ISO/IEC 17025:2005.

Personel laboratorium ma wieloletnie doświadczenie w zakresie pomiarów wielkości geometrycznych oraz po-

miarów i analizy topografii powierzchni. Doświadczenie oraz wyposażenie pozwalają na realizację wielu złożonych zadań badawczych.

Szeroki zakres kompetencji jest potwierdzany przez coroczne audyty, przeprowadzane przez Polskie Centrum Akredytacji, i stale powiększany dzięki udziałowi w szkoleniach i konferencjach związanych z kontrolą jakości wyrobów.

Laboratorium (rys. 1 i 4) świadczy usługi dla przedsiębiorstw oraz jednostek badawczych. Jest otwarte na współpracę z przemysłem. W jego ofercie znajduje się realizacja zadań pomiarowych, często niemożliwych do wykonania w innych laboratoriach, oraz konstruowanie i wykonywanie urządzeń specjalnych.

Laboratorium korzysta z aparatury zapewniającej spójność pomiarową, poprzez stosowanie wzorców wzorcowanych przez laboratorium Głównego Urzędu Miar oraz obwodowych urzędów miar. Pomiary są wykonywane zgodnie z akredytowanymi przez PCA procedurami badawczymi. Dla każdego pomiaru wystawiane jest świadectwo (zgodne ze wzorem PCA), w którym do każdej mierzonej wielkości podawana jest niepewność pomiaru, wyznaczona zgodnie z normą PKN-ISO/TS 14253-2:2011.

TABLICA. Zakres akredytowanych pomiarów wykonywanych w Sekcji Pomiarów Długości i Kąta laboratorium IZTW

Wymiary geometryczne	zakresy: – długość do 200 mm (klasa IT2), do 700 mm (klasa IT5), – kąt w pełnym zakresie
Prostoliniowość i płaskość	– zakres pomiarowy dla odchyłki prostoliniowości: 5 mm na długości do 4000 mm, – zakres pomiarowy dla odchyłki płaskości: 3 mm na długości do 4000 mm
Parametry topografii powierzchni dla profilu chropowatości, falistości, profilu pierwotnego 2D oraz parametry stereometryczne 3D	zakresy: – oś X – do 120 mm, – oś Z – 2 mm, – oś Y – 25 mm
Przemieszczenia liniowe oraz błędy pozycjonowania	zakres: do 4000 mm

* Mgr inż. Tatiana Miller (tatiana.miller@ios.krakow.pl), inż. Krzysztof Gajda (krzysztof.gajda@ios.krakow.pl), mgr inż. Aneta Łętocha (aneta.letocha@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania



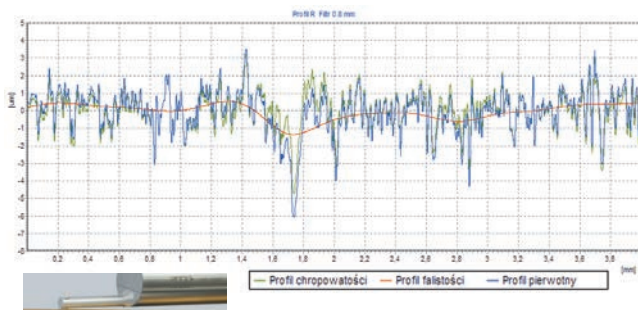
Rys. 1. Laboratorium Pomiarów Topografii Powierzchni

Pomiary mogą dotyczyć pojedynczych egzemplarzy wyrobów albo większej liczby jednakowych detali wybranych z produkcji seryjnej, elementów przeznaczonych do montażu lub złożonych geometrii zmontowanych stanowisk przeznaczonych do kontroli produkcji w zakładach przemysłowych.

Do pomiarów używane są m.in. opracowane w IZTW urządzenia, dla których w ramach prowadzonych prac badawczych i rozwojowych zweryfikowano wiele procedur pomiarowych oraz algorytmów obliczeniowych zawartych w dedykowanym oprogramowaniu.

Na uwagę zasługuje opracowany w IZTW system pomiarowy TOPO 02, przeznaczony nie tylko do prac badawczych, ale również do szerokiego zastosowania w przemyśle. System jest wyposażony w różne głowice pomiarowe, które umożliwiają kompleksowe badania metrologiczne:

- chropowości – w zakresie do 2 mm amplitudy nierówności powierzchni,
- wymiarów i kształtów elementów (w tym o bardzo małych gabarytach) – w zakresie do 50 mm amplitudy i poniżej 1 μm .



Rys. 2. Pomiar chropowości profilometrem TOPO 02

Na rys. 2 i 3 przedstawiono przykłady pomiarów wykonanych profilometrem i kształtografem TOPO 02.

Ze względu na różnorodność kształtów i często skomplikowaną geometrię badanych wyrobów szerokie zastosowanie znajduje głowica o zakresie 2 mm, pracująca z wymiennymi końcówkami pomiarowymi o różnej wysokości ostrza i promieniu zaokrąglenia 2 μm . Taka konstrukcja umożliwia zweryfikowanie jakości powierzchni próbek, których nie dało się zmierzyć z użyciem wcześniejszych (standardowych) rozwiązań. Głowica o zakresie 2 mm jest przeznaczona zwłaszcza do pomiarów chropowości w otworach, zagłębieniach i rowkach oraz do pomiarów mikrokształtów. Wymienne końcówki tej głowicy rozszerzają możliwości pomiarowe oraz ułatwiają pomiary zarysów małych elementów.

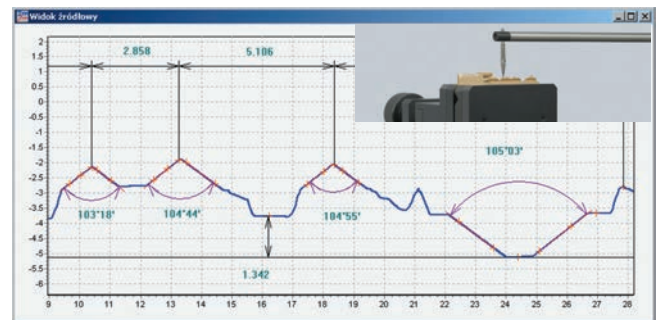
Opracowane w IZTW oprogramowanie do analizy wyników pomiarów systemu TOPO 02 pozwala na obliczanie praktycznie wszystkich zawartych w normach ISO i PN-ISO parametrów opisujących badane powierzchnie

oraz mających związek z ich właściwościami użytkowymi. Jest w pełni zgodne z przedstawionymi w normach zaleceniami dotyczącymi pomiarów topografii powierzchni.

Oprogramowanie umożliwia nie tylko analizę ilościową oraz statystyczną obliczanych parametrów, lecz także analizę jakościową opartą na szeregu wykresów, takich jak: widok stereometryczny powierzchni, mapa warstwowa, krzywa udziału materiałowego, wykresy zawierające oznaczenia rdzenia chropowości oraz parametrów związanych z objętością. Mocną stroną tego oprogramowania jest opcja różnorodnego przetwarzania zmierzonych danych. Oprócz standardowego filtra Gaussa program Topografia zawiera też algorytmy filtracji: morfologicznej, odpornej Gaussa, funkcjami sklejanymi oraz falkowej, dzięki czemu każdy użytkownik może dostosować analizę danych, tak aby uzyskiwać tylko istotne dla danego problemu badawczego informacje.

W wyniku prowadzonych w IZTW prac w systemie pomiarowym TOPO 02 wprowadzono modyfikacje w algorytmach przetwarzania danych pomiarowych, obejmujące korekcję prowadzenia głowic pomiarowych.

Pomiary kształtu wykonuje się kształtografem TOPO 02,



Rys. 3. Pomiar zarysu kształtu wykonany kształtografem TOPO 02

wyposażonym w głowicę cyfrową o zakresie pomiarowym 50 mm i rozdzielczości 0,1 μm .

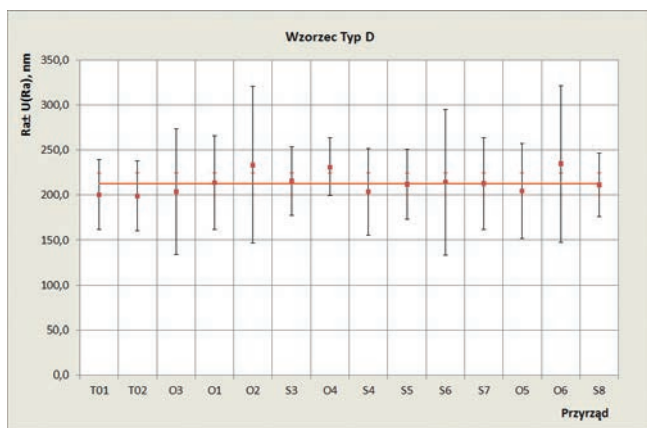
Program do analizy zarysu kształtu, zawierający algorytmy wymiarowania odległości, kątów i promieni oraz innych wielkości geometrycznych, jest bardzo przyjazny dla operatora. W przypadku pomiarów powtarzalnych wyrobów istnieje możliwość wykorzystania algorytmu wymiarowania automatycznego, co jest szczególnie przydatne przy kontroli produkcji seryjnej.

W Laboratorium Pomiarów Długości i Kąta (rys. 4) wy-

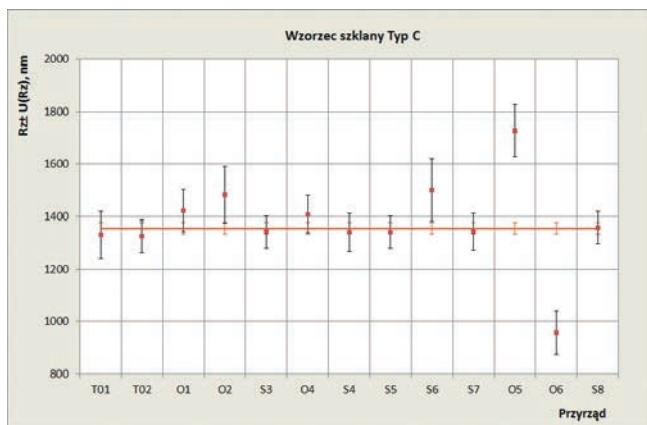


Rys. 4. Laboratorium Pomiarów Długości i Kąta

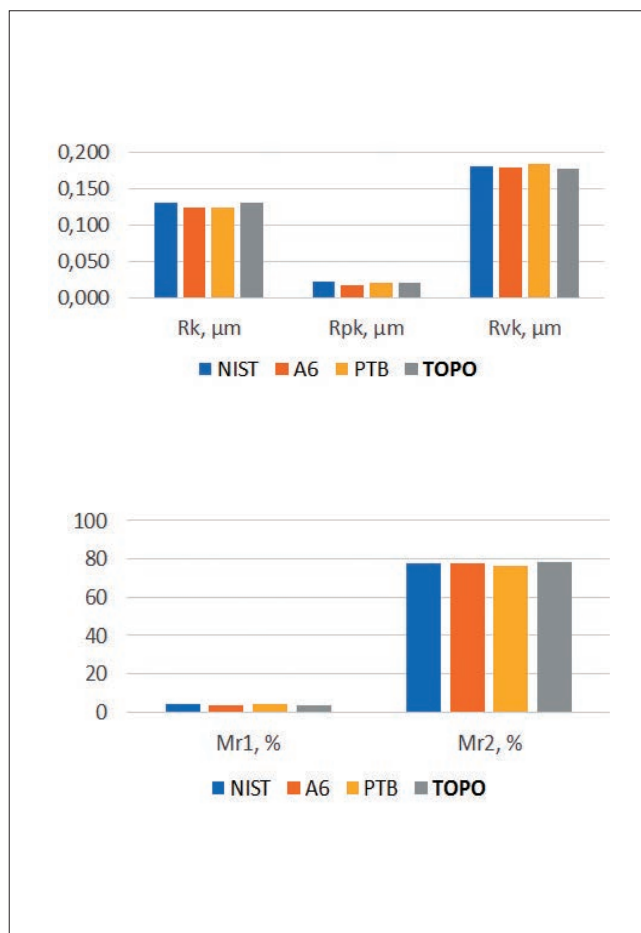
korzystywana jest opracowana w IZTW współrzędnościowa maszyna pomiarowa Linea 10.7.5 o zakresie pomiarowym 700 mm \times 1000 mm \times 500 mm. W oprogramowaniu maszyny stosowanej do pomiarów wykonywanych w ra-



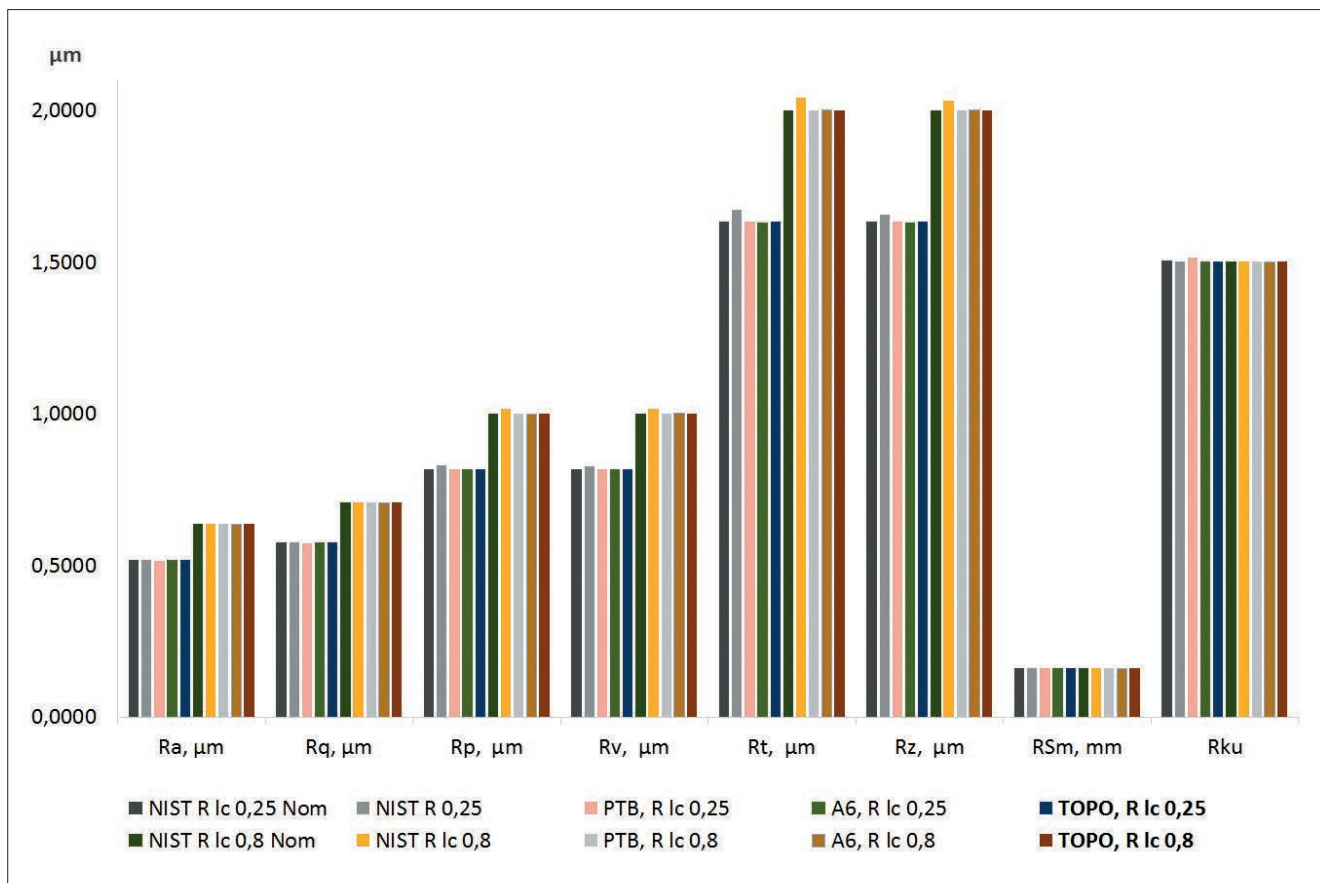
Rys. 5. Przykład porównania parametru Ra wyznaczonego dla wzorca typu D



Rys. 6. Porównanie parametru Rz wyznaczonego dla wzorca szklanego typu C



Rys. 8. Parametry rdzenia chropowatości profilu R dla wzorca „polish” obliczone w różnych programach dla lc = 0,8 mm



Rys. 7. Parametry profilu R dla wzorca „cosinus” obliczone w różnych programach przy różnych filtracjach lc

mach akredytacji zastosowano procedury korekcji geometrii przestrzennej oraz kompensacji temperaturowej, które poprawiły parametry metrologiczne maszyny, a co za tym idzie – podniosły jakość pomiarów.

Badania prowadzone w IZTW w ramach prac badawczo-rozwojowych dotyczyły m.in. wpływu temperatury na stabilność maszyny oraz problemów związanych z wyznaczaniem mapy błędów i ich kompensacją [1, 2]. Podstawowymi parametrami definiowanymi w systemie kompensacji termicznej maszyn są współczynniki rozszerzalności termicznej (CTE) osi maszyny i przedmiotu mierzonego. Prawidłowe ich określenie stanowi podstawę poprawności pracy systemu, ponieważ niewłaściwie wprowadzone współczynniki w skrajnych przypadkach prowadzą do błędnych wyników, gorszych niż przy braku kompensacji termicznej. Podobne badania przeprowadzono w zakresie topografii powierzchni.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono przykładowe porównania wyników pomiarów wykonanych z użyciem przyrządów różnych firm w różnych laboratoriach. Oznaczenia *Si* dotyczą przyrządów, w których odwzorowywano powierzchnie z użyciem metod stykowych, oznaczenia *Oi* – z użyciem metod optycznych; *T01* i *T02* to oznaczenia systemów TOPO 01 i TOPO 02.

Na rys. 5 porównano parametr *Ra* wyznaczony dla wzorca typu *D* w pomiarach z użyciem różnych urządzeń i różnych programów, z którymi współpracują te przyrządy. Na podstawie porównania wyników badań można stwierdzić, że pomiary parametru *Ra* mieszczą się lub są zbliżone do wyznaczonego przedziału ufności oraz do wyznaczonej wartości średniej. Jednak podane przez niektóre laboratoria obszary niepewności są bardzo duże, czego przyczyną mogły być rozrzuty uzyskanych wyników.

Wyniki otrzymane dla parametru *Rz* wyznaczone z użyciem niektórych przyrządów, zwłaszcza optycznych, znacznie odbiegają od wyznaczonego przedziału ufności oraz wartości średniej (rys. 6). Może to być spowodowane materiałem badanej powierzchni (wzorec szklany).

Wyniki pomiarów wykonanych przyrządami IZTW są zbliżone do wartości średniej i zawierają się w przedziale ufności. Badania wykazały, że pomiary przeprowadzane przyrządami opracowanymi w IZTW nie zależą od rodzaju badanego materiału.

Na rys. 7 i 8 porównano obliczenia wykonywane w oprogramowaniu Topografia (TOPO) i w innych programach, takich jak oprogramowanie National Institute of Standards and Technology (NIST), Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) oraz Altimap (z grupy MountainsMap firmy Digital Surf – oznaczonej jako A6).

To dowodzi, że algorytmy obliczeniowe stosowane w programie Topografia do wyznaczania parametrów są prawidłowe. Oprogramowanie Topografia można uznać za wiarygodne w zakresie sprawdzonych algorytmów.

O metodach postępowania ze sprzętem w laboratoriach oraz o błędach możliwych do popełnienia podczas wykonywania pomiarów opublikowano wiele artykułów i książek [3–9], ale nic nie zastąpi rzetelnej wiedzy, praktyki i doświadczenia. Dlatego potwierdzone kompetencje personelu wykonującego pomiary są niezwykle ważne i muszą spełniać najwyższe standardy.

Wysoka wiarygodność pomiarów wykonywanych w akredytowanym laboratorium IZTW została osiągnięta w wyniku prac badawczo-rozwojowych oraz projektów realizowanych w IZTW. W badaniach zweryfikowano również powtarzalność wyników w warunkach potwierdzonej odtwarzalności warunków pomiarowych, potwierdzono porównywalność wyników pomiarów z wynikami uzy-

skanymi z pomiarów tych samych próbek urządzeniami innych producentów, w innych laboratoriach, oraz porównywalność obliczonych parametrów topografii powierzchni poprzez porównanie z obliczeniami tych samych danych w innych programach. Przeprowadzone przez pracowników laboratorium badania i analizy wykazały, że wyniki uzyskane w laboratorium IZTW nie odbiegają od rezultatów uzyskanych z zastosowaniem innych urządzeń i programów do analizy struktury geometrycznej powierzchni, uznanych za poprawne i uwzględnionych w wyznaczaniu wartości średnich, zgodnie ze wskaźnikiem zgodności *En*.

Badania zrealizowano w ramach działalności statutowej IZTW, a analizy dotyczące porównania wyników pomiarów topografii powierzchni z pomiarami z użyciem innych urządzeń przeprowadzono w ramach projektu nr PBS2/A6/20/2013 „Badania i ocena wiarygodności nowoczesnych metod pomiarów topografii powierzchni w skali mikro i nano”, finansowanego przez NCBR.

LITERATURA

- Gogól J. „Zagadnienia termiczne w obrabiarkach i współrzędnościowych maszynach pomiarowych – różnice i podobieństwa”. *Mechanik*. 11 (2014): s. 892–895.
- Gogól J. „Analiza zjawisk termicznych we współrzędnościowych maszynach pomiarowych z użyciem systemów CAD”. *Mechanik*. 12 (2015): s. 950–953.
- Leach R.K., Giusca C.L., Haitjema H., Evans C., Jiang X. “Calibration and verification of areal surface texture measuring instruments”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 64, 2 (2015): s. 545–548.
- Miller T., Adamczak S., Świdorski J., Wieczorowski M., Łętocha A., Gapiński B. “Influence of temperature gradient on surface texture measurements with the use of profilometry”. *Bulletin of The Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*. 65, 1 (2017): s. 53–61. DOI: 10.1515/bpasts-2017-0007, impact factor 1,087 (2015), <https://www.degruyter.com/view/j/bpasts.2017.65.issue-1/issue-files/bpasts.2017.65.issue-1.xml>.
- Miller T. „Źródła niewiarygodności pomiarów topografii powierzchni”. *XVI Krajowa VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Metrologia w technikach wytwarzania” MWTW, 22–23.09.2016, Opole*. *Mechanik*. 11 (2016): s. 1722–1723.
- Pawlus P., Wieczorowski M., Mathia T. “The errors of stylus methods in surface topography measurements”. Szczecin: ZAPOL, 2014.
- Vorbuerger T.B., Renegar T.B., Zheng A.X., Song J.-F., Soons J.A., Silver R.M. “NIST Surface Roughness and Step Height Calibrations, Measurement Conditions and Sources of Uncertainty”, www.nist.gov/pml/div683/grp02/upload/nistsurcalib.pdf (dostęp: 19.03.2014).
- Wieczorowski M., Gapiński B., Grochalski K., Miller T. „Badania doświadczalne wybranych źródeł błędów w profilowych pomiarach nierówności powierzchni” (“Experimental research of selected sources of errors in profile measurements of surface asperities”). *Mechanik*. 4 (2017): s. 339–343.
- Wieczorowski M., Gapiński B., Grochalski K., Miller T. „Teoretyczne aspekty analizy wybranych źródeł błędów w profilowych pomiarach nierówności powierzchni” (“Theoretical aspects of analysis of selected sources of errors in profile measurements of surface asperities”). *Mechanik*. 4 (2017): s. 335–338. ■