

Zasady dobrej praktyki metrologicznej, zapewniające wiarygodne wyniki pomiarów struktury geometrycznej powierzchni

Principles of good metrological practice in order to ensure reliable measurements of the surface structure

STANISŁAW ADAMCZAK
JACEK ŚWIDERSKI
TATIANA MILLER
MICHAŁ WIECZOROWSKI
IRENEUSZ CHMIELIK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.12.196>

Przedstawiono najważniejsze czynniki wpływające na uzyskiwanie wiarygodnych wyników pomiarów struktury geometrycznej powierzchni. Omówiono zasady doboru metody pomiarowej, dostosowanej do charakteru mierzonej powierzchni i cech poszczególnych przyrządów pomiarowych – ich zalet, wad i ograniczeń. Podano zasady dobrej praktyki metrologicznej podczas przygotowywania przyrządu do pomiarów oraz sposób prawidłowego prowadzenia analizy otrzymanych wyników pomiaru w celu obliczenia parametrów struktury geometrycznej powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: niepewność pomiaru, profilometria stykowa ostrzem odwzorowującym, struktura geometryczna powierzchni

The most important factors influencing obtaining reliable results of surface structure measurements are presented. The article presents the rules for the selection of an appropriate measurement method adapted to the nature of the measured surface and the advantages, disadvantages and limitations of measuring instruments. Principles of good metrological practice during the preparation of the device for carrying out measurements and performing the analysis in order to calculate the parameters of the of the surface structure were discussed.

KEYWORDS: measurement uncertainty, contact stylus scanning, surface texture

Stan struktury geometrycznej powierzchni jest jednym z ważniejszych czynników decydujących o prawidłowym funkcjonowaniu wyrobów, a współczesne technologie pozwalają na odpowiednie kształtowanie tej struktury w celu uzyskania wymaganych właściwości. Weryfikacja spełnienia wymagań stawianych strukturze geometrycznej powierzchni następuje na podstawie pomiarów i wyzna-

czonych parametrów charakteryzujących jej właściwości. Wraz z rozwojem technologii wytwarzania w ostatnich latach nastąpił dynamiczny rozwój nowych metod pomiarów struktury geometrycznej powierzchni i przyrządów pomiarowych wykorzystujących te metody. Te rozwiązania są coraz powszechniej stosowane zarówno w praktyce przemysłowej, jak i w badaniach naukowych.

Zgodnie z systemem klasyfikacji przedstawionym w PN-EN ISO 25178-6:2011 [1] metody pomiarów struktury geometrycznej powierzchni dzielą się na trzy klasy:

- metody profilowania liniowego,
- metody topografii przestrzennej,
- metody zintegrowanego obszaru.

Przedstawiona w artykule analiza dotyczy dwóch pierwszych klas metod – ze względu na fakt, że metody należące do pierwszej klasy dostarczają dane w postaci profilu liniowego $z(x)$, a należące do klasy drugiej – dane w postaci topografii przestrzennej $z(x, y)$.

Prawidłowo wykonany pomiar powinien się charakteryzować spójnością, wiarygodnością i użytecznością.

Przez spójność pomiarową należy rozumieć właściwość wyniku pomiaru, przy której ten wynik może być powiązany z odniesieniem poprzez udokumentowany, nieprzerwany łańcuch wzorcowań, z których każde wnosi swój udział do niepewności pomiaru [2]. W przypadku pomiarów struktury geometrycznej powierzchni odniesieniem jest definicja jednostki miary długości poprzez jej praktyczną realizację.

Przewodnik PKN-ISO/IEC Guide 99 Międzynarodowy słownik metrologii. Pojęcia podstawowe i ogólne terminy z nimi związane (VIM) nie podaje definicji wiarygodnego wyniku pomiaru. Przez to pojęcie należy rozumieć taki wynik, w którego przedziale $x \pm U$ (gdzie: x – wartość wielkości zmierzonej, U – niepewność pomiaru rozszerzona) znajduje się wartość wielkości prawdziwa, a więc wynik, do którego można mieć zaufanie. Za użyteczny wynik pomiaru należy uznać taki, który może posłużyć do podjęcia określonej decyzji. Jedynie wiarygodne i użyteczne wyniki pomiarów mogą być podstawą do wnioskowania o zgodności lub braku zgodności ze specyfikacją albo o poprawności przyjętych hipotez naukowych.

* Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak (adamczak@tu.kielce.pl), mgr inż. Jacek Świdorski (swiderski@tu.kielce.pl) – Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej; mgr inż. Tatiana Miller (tatiana.miller@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania; prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski (michal.wieczorowski@put.poznan.pl) – Politechnika Poznańska; dr. inż. Ireneusz Chmielik (p.chmielik@taylor-hobson.pl) – Taylor Hobson

Elementem koniecznym do zapewnienia spójności, wiarygodności i użyteczności pomiaru jest rzetelne oszacowanie jego niepewności. Wymaga to zidentyfikowania potencjalnych źródeł błędów, które będą wnoszą największy udział do budżetu niepewności. Kolejnym elementem jest przestrzeganie zasad dobrej praktyki metrologicznej (zawartych w procedurach pomiarowych), aby zagwarantować, że przyjęte w budżecie niepewności przedziały zmienności poszczególnych składowych nie zostaną przekroczone.

Kryteria doboru metody pomiaru struktury geometrycznej powierzchni

Podstawowymi kryteriami, którymi należy się kierować przy wyborze metody pomiaru struktury geometrycznej powierzchni, są (kolejno): gabaryty i masa mierzonego przedmiotu, właściwości fizyczne materiału, z którego wykonano badany element, oraz charakter mierzonej nierówności.

Pierwsze kryterium jest związane z możliwościami danego przyrządu, wynikającymi z jego przestrzeni pomiarowej oraz dopuszczalnej obciążalności stolika pomiarowego. Niespełnienie tego kryterium przez mierzonego przedmiot jednoznacznie wyklucza zastosowanie danego przyrządu.

Drugie kryterium dotyczy właściwości fizycznych powierzchni, takich jak twardość, oraz właściwości optycznych, takich jak refleksyjność czy absorpcja. Zastosowanie profilometrii stykowej ostrzem odwzorowującym do pomiarów elementów wykonanych z materiałów o niskiej twardości grozi uszkodzeniem powierzchni, nawet jeśli nie zostanie przekroczony dopuszczalny nacisk końcówki pomiarowej. Zastosowanie metod optycznych do pomiarów powierzchni o małej refleksyjności skutkuje występowaniem dużej liczby punktów niezmiernych, co wpływa na wzrost niepewności takiego pomiaru.

Trzecie kryterium jest związane z charakterem nierówności występujących na mierzonej powierzchni, które można opisać przez amplitudę, odległość nierówności czy nachylenie zboczy. W tym przypadku metodę pomiaru należy dobrać pod kątem możliwych do uzyskania kroków próbkowania w osiach OX i OY oraz rozdzielczości w osi OZ .

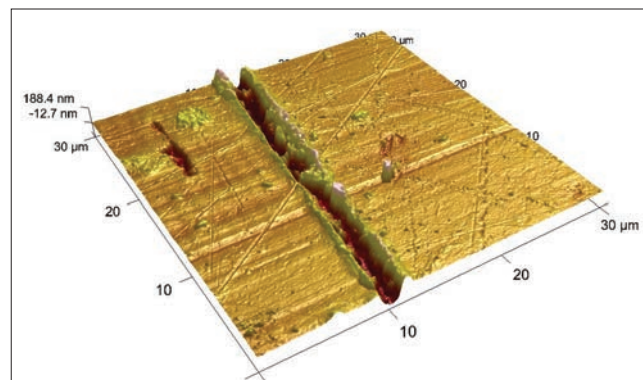
Generalnie należy przyjąć, że do pomiarów nierówności o najmniejszej amplitudzie i najmniejszej długości fali stosuje się mikroskopy z sondą skanującą, czyli np. mikroskopy sił atomowych. W przypadku grupy przyrządów optycznych i stykowych wybór nie jest tak jednoznaczny, ponieważ oprócz możliwości próbkowania poziomego i rozdzielczości w osi pionowej w grę wchodzi skuteczność odwzorowania zboczy i mechaniczna filtracja, wynikająca z geometrii ostrza odwzorowującego.

Przygotowanie profilometru stykowego do pomiarów

Pierwszą charakterystyką, którą należy zmierzyć przed przystąpieniem do właściwych pomiarów, jest siła nacisku ostrza odwzorowującego. Weryfikacja statycznej siły nacisku, wywieranej przez ostrze odwzorowujące na mierzoną powierzchnię, jest istotna ze względu na skutki zastosowania zbyt dużej lub zbyt małej wartości siły. Zbyt duża siła może spowodować odkształcenia plastyczne warstwy wierzchniej mierzonego przedmiotu i jej uszkodzenie (rys. 1), a zbyt mała siła w połączeniu z większymi prędkościami przesuwu końcówki pomiarowej może skutkować wystąpieniem chwilowej utraty kontaktu ostrza

odwzorowującego z mierzoną powierzchnią i tym samym błędne odwzorowanie nierówności.

Do kontroli siły nacisku wykorzystuje się wagę laboratoryjną o rozdzielczości 0,01 g. Pomiar siły nacisku należy wykonać w środkowym położeniu zakresu pomiarowego głowicy pomiarowej profilometru. Maksymalny dopuszczalny nacisk nie powinien przekraczać 0,75 mN.



Rys. 1. Uszkodzenie mierzonej powierzchni, wywołane zbyt dużą siłą nacisku ostrza odwzorowującego

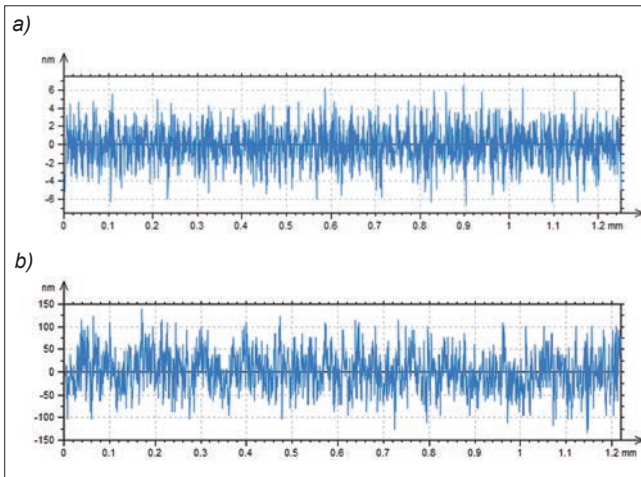
Sprawdzenie stanu ostrza odwzorowującego

Diamentowe ostrze odwzorowujące profilometru stykowego jest elementem bezpośrednio stykającym się z mierzoną powierzchnią, więc od jego geometrii (kąta stożka α i promienia zaokrąglenia r_{tip}) oraz potencjalnych uszkodzeń zależy jakość odwzorowania profilu nierówności na mierzonym elemencie. Okresowe sprawdzenie stanu ostrza odwzorowującego jest konieczne ze względu na fakt, że nawet podczas prawidłowej eksploatacji przyrządu będzie występowało jego naturalne zużycie. Stan ostrza można sprawdzić z wykorzystaniem wzorca typu PRB – ostrza żyletki (*razor blade*) [3]. Pomiar wzorca należy wykonywać z najmniejszą możliwą dla danego przyrządu prędkością przesuwu.

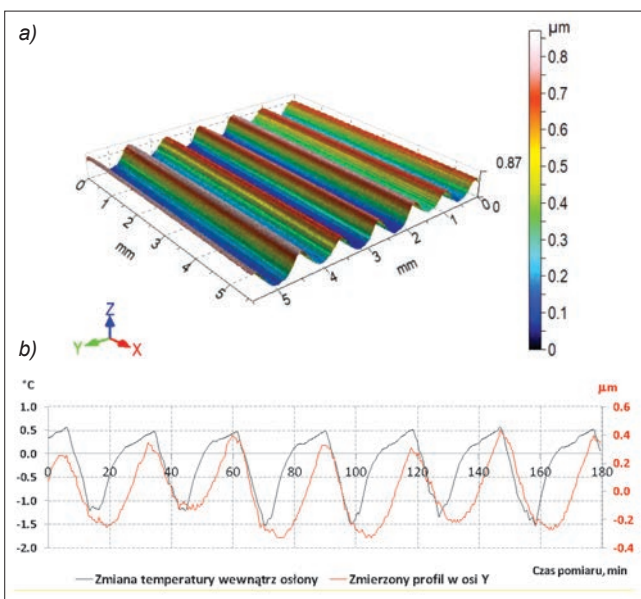
Sprawdzanie stanu ostrza odwzorowującego za pomocą analizy wyników pomiaru wykonywanego na ostrzu żyletki polega na wyznaczeniu promienia zaokrąglenia r_{tip} ostrza odwzorowującego. Promień zaokrąglenia żyletki nie przekracza 0,1 μm . Profil zarejestrowany podczas pomiaru ma promień będący sumą promieni ostrza odwzorowującego i żyletki. Ponieważ promień ostrza żyletki jest dużo mniejszy niż promień ostrza odwzorowującego, można przyjąć, że zarejestrowany promień jest w przybliżeniu równy promieniowi ostrza odwzorowującego. Na zarejestrowanym profilu będą również widoczne ewentualne uszkodzenia ostrza, które mogą być podstawą do jego wycofania z dalszej eksploatacji. Wartość promienia zaokrąglenia ostrza odwzorowującego ma duży wpływ na mechaniczne filtrowanie mierzonej nierówności oraz uzyskiwane wartości parametrów chropowatości.

Pomiar szumu dynamicznego

Pomiar profilu powierzchni wzorca typu AFL [3] (płaskiej płytki interferencyjnej klasy I, której dopuszczalna odchyłka płaskości wynosi 30 nm) umożliwia wyznaczenie szumu pomiarowego, który jest wypadkową drgań zespołu przesuwu profilometru, szumu generowanego przez zespół elektroniczny przyrządu oraz oddziaływania czynników zewnętrznych, np. drgań, na proces pomiaru. Na rys. 2 przedstawiono wyniki pomiarów szumu pomiarowego dla dwóch różnych profilometrów stykowych.



Rys. 2. Wyniki pomiaru szumu pomiarowego dla: a) profilometru z głowicą interferometryczną, b) profilometru z głowicą indukcyjną



Rys. 3. Wyniki pomiaru wzorca typu AFL: a) obraz izometryczny, b) wyodrębniony profil w osi Y oraz zmiany temperatury otoczenia

Wartości szumu dla tych przyrządów, oceniane parametrem Rq ($\lambda_c = 0,025$ mm), różnią się znacznie i wynoszą odpowiednio: dla pierwszego przyrządu – $Rq = 1,6$ nm, a dla drugiego – $Rq = 33,6$ nm.

Pomiar stereometrii powierzchni wzorca typu AFL pozwala na wyznaczenie wpływu cyklicznych zmian temperatury otoczenia na wyniki pomiarów stereometrii powierzchni. Takie wyniki w postaci obrazu izometrycznego i wyodrębnionego profilu w osi Y wraz ze zmianami temperatury otoczenia pokazano na rys. 3.

Przeprowadzenie wzorcowania

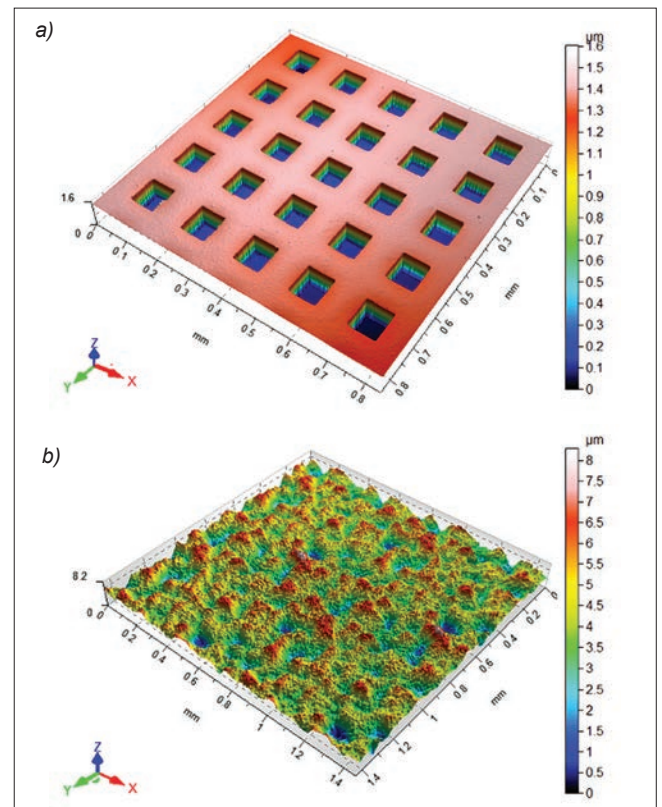
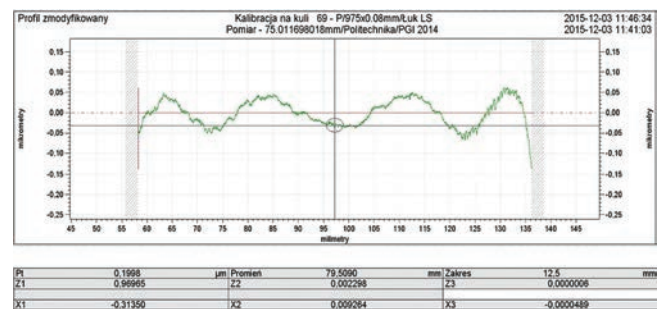
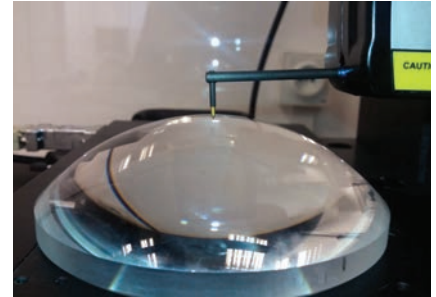
Przeprowadzenie wzorcowania przyrządu ma na celu zapewnienie spójności pomiarowej. Szeroki zakres wzorców do wzorcowania przyrządów do pomiarów topografii powierzchni przedstawiono w normach [3, 5, 6]:

- PN-EN ISO 25178-70:2014 SGP: Przestrzenna – Część 70: Wzorce materialne,
- PN-EN ISO 25178-701:2010 SGP: Przestrzenna – Część 701: Wzorcowanie i wzorce do przyrządów stykowych z ostrzem odwzorowującym,
- PN-EN ISO 5436-1:2000 SGP: Metoda profilowa – Wzorce – Część 1: Wzorce materialne.

Pierwszy z dokumentów normalizacyjnych przewiduje 24 typy wzorców materialnych profilu. Niektóre z nich mają swoje odpowiedniki w dwóch pozostałych dokumentach. Wzorcowanie jest niezbędne do przeprowadzenia ewentualnej adjustacji przyrządu, czyli wykonania zabiegów mających na celu doprowadzenie do sytuacji, że wartościom mierzonych wielkości odpowiadają właściwe wskazania. Po adjustacji układ pomiarowy należy poddać ponownemu wzorcowaniu [2].

Zakres wzorcowania i dobór wzorców materialnych zależą od zakresu pomiarowego oraz od tego, czy profilometr ma być wykorzystywany do pomiaru profilu, czy także do pomiaru stereometrii powierzchni. W przypadku

Rys. 4. Przebieg wzorcowania profilometru z wykorzystaniem wzorca typu ASP (po prawej) oraz wynik w postaci profilu po usunięciu nominalnego kształtu (poniżej)



Rys. 5. Wzorce do wzorcowania przyrządów do pomiarów stereometrii powierzchni: a) typu ACG, b) typu AIR

pomiarów profilu niezbędne jest przeprowadzenie wzorcowania w osiach X i Z z wykorzystaniem odpowiednio dobranych wzorców.

Dla profilometrów o dużym zakresie pomiarowym w osi Z wzorcowanie połączone z wyznaczeniem współczynników korekcyjnych przeprowadza się na wzorcu typu ASP (półkuli). Przebieg takiego wzorcowania i uzyskany profil po usunięciu nominalnego kształtu wzorca przedstawiono na rys. 4. Taki pomiar umożliwia też sprawdzenie poprawnego funkcjonowania głowicy pomiarowej oraz stanu ostrza odwzorowującego.

W przypadku pomiarów wyłącznie profilu wystarczające jest wykorzystanie wzorców typu A do wzorcowania osi Z oraz wzorców typu C do wzorcowania osi X . W przypadku pomiarów stereometrii powierzchni celowe jest zastosowanie wzorców z nowej grupy, np. typu ACG i AIR, których obrazy izometryczne zaprezentowano na rys. 5.

Wykonanie pomiaru

Prawidłowy sposób przeprowadzenia pomiarów decyduje o uzyskaniu wiarygodnych wyników. Przed przystąpieniem do wykonania pomiaru powierzchnię mierzonego elementu należy starannie oczyścić. Pozycjonowanie przedmiotu na stoliku profilometru powinno zapewnić przesuw ostrza odwzorowującego prostopadle do śladów obróbki. Przed uruchomieniem pomiaru trzeba sprawdzić stan systemu wibroizolacji przyrządu.

Główne parametry pomiaru, na które ma wpływ osoba go wykonująca, to: prędkość przesuwu ostrza odwzorowującego, odstęp próbkowania w osiach X i Y oraz długość odcinka pomiarowego.

Dostępne prędkości przesuwu ostrza odwzorowującego we współczesnych profilometrach zawierają się w granicach od 0,1 do 2 mm/s. Tendencja do stosowania większych prędkości przesuwu wynika z możliwości skrócenia czasu pomiaru stereometrii powierzchni – w przypadku zastosowania profilometrów stykowych czas pomiaru może bowiem wynosić nawet kilka godzin.

Zastosowanie zbyt dużej prędkości grozi utratą kontaktu końcówki pomiarowej z mierzoną powierzchnią i tym samym błędnym odwzorowaniem nierówności.

Skutki zastosowania zbyt dużej prędkości przesuwu ostrza przedstawiono na przykładzie pomiaru wzorca typu C. Na rys. 6 pokazano fragment profilu wzorca dla prędkości przesuwu $v = 0,25$; 0,5; 1 oraz 2 mm/s. Od prędkości przesuwu ostrza $v = 1$ mm/s na zmierzonym profilu uwidaczniają się efekty utraty kontaktu końcówki pomiarowej z mierzoną powierzchnią, a mianowicie zanikające pulsacje. Wpływ prędkości przesuwu na uzyskiwane wartości parametrów amplitudowych zaprezentowano w tabl. I.

Efekt zastosowania zbyt dużej prędkości przesuwu ostrza w stosunku do charakteru mierzonej powierzchni zilustrowano na rys. 7, przedstawiającym obrazy izometryczne powierzchni szlifowanej, uzyskane dla prędkości przesuwu $v = 0,5$ mm/s i $v = 2$ mm/s. W tabl. II podano wartości parametru S_a w zależności od zastosowanej prędkości przesuwu. Do prędkości przesuwu $v = 0,5$ mm/s wartości parametru S_a są do siebie bardzo zbliżone.

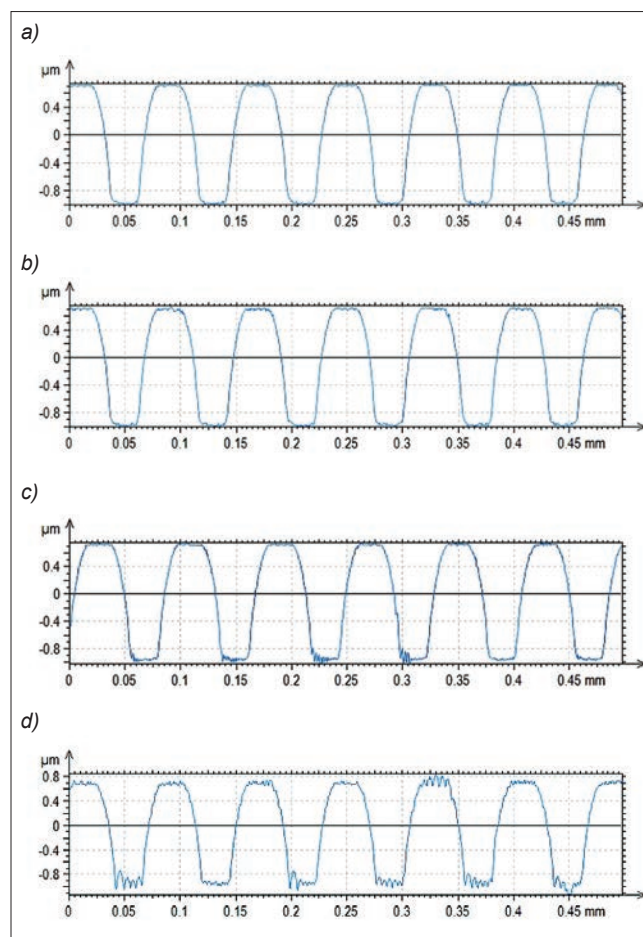
Prędkość przesuwu ostrza odwzorowującego ma również wpływ na wartość szumu pomiarowego. Wyniki pomiarów szumu, przeprowadzonych na wzorcu typu AFL, zestawiono w tabl. III. Jak widać, do prędkości przesuwu $v = 0,5$ mm/s wartość szumu mierzona wartością parametru R_q utrzymuje się na zbliżonym poziomie. Powyżej tego

poziomu prędkości wartość szumu pomiarowego wzrasta kilkakrotnie.

Istotnym parametrem, który ma wpływ na uzyskiwane wyniki, jest zastosowany odstęp próbkowania. Wpływ tego parametru przedstawiono dla profilu zmierzonego z odstępem próbkowania $\Delta x = 0,125$ μm – zob. rys. 8. Uzyskane parametry zawiera tabl. IV.

W celu uzyskania innych odstępów próbkowania ze zmierzonego profilu usuwano kolejno co drugi wiersz z pliku tekstowego, zawierającego współrzędne profilu. Dzięki temu uzyskano profile z krokami próbkowania: $\Delta x = 0,25$ μm , $\Delta x = 0,5$ μm i $\Delta x = 1$ μm . Na rys. 9 zaprezentowano fragment profilu pomiędzy 0,5 a 0,6 mm dla odstępów próbkowania $\Delta x = 0,125$ μm i $\Delta x = 1$ μm . Z porównania obu zarysów wynika, że profil uzyskany dla mniejszego odstępów próbkowania zdecydowanie lepiej odwzorowuje nierówności mierzonej powierzchni.

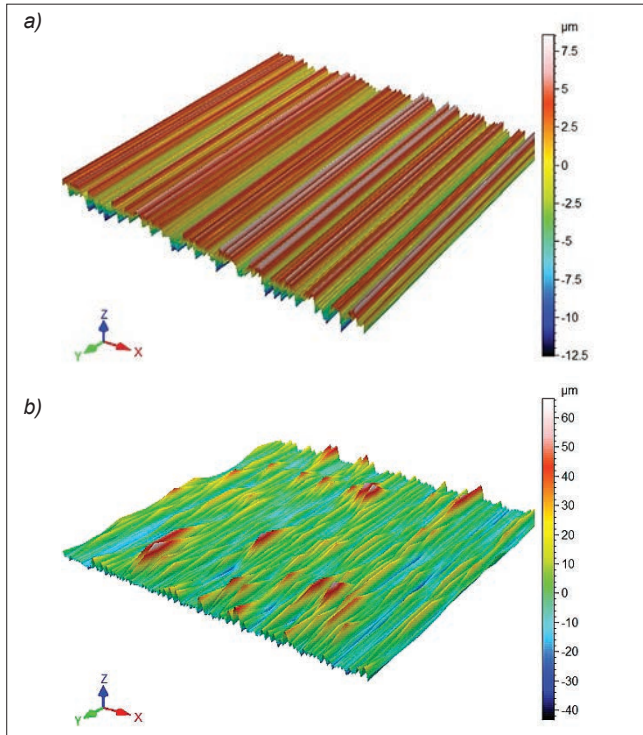
Na rys. 10 porównano parametry obliczone na podstawie danych uzyskanych dla odstępów próbkowania $\Delta x = 0,25$; 0,5 i 1 μm w stosunku do parametrów obliczonych na podstawie zmierzonego profilu z odstępem próbkowania $\Delta x = 0,125$ μm . Wszystkie parametry amplitudowe profilu chropowatości – R_p , R_v , R_z , R_c , R_t , R_a i R_q – oraz parametr R_dq ulegają zmniejszeniu w miarę zwiększania odstępów próbkowania. Największa zmiana występuje dla parametru R_dq – aż o 32,8%. W przypadku parametrów R_{sk} , R_{ku} i R_{Sm} następuje wzrost ich wartości w miarę zwiększania odstępów próbkowania. Najbardziej czuły na zmianę odstępów próbkowania jest parametr odległościowy R_{Sm} – w tym przypadku wzrost jego wartości wynosi 36,5% w stosunku do wyjściowego odstępów próbkowania.



Rys. 6. Zmierzony profil wzorca typu C dla prędkości przesuwu ostrza: a) $v = 0,25$ mm/s, b) $v = 0,5$ mm/s, c) $v = 1$ mm/s, d) $v = 2$ mm/s

TABLICA I. Wyniki pomiarów wzorca typu C w funkcji prędkości przesuwu ostrza

	v, mm/s				
	0,1	0,25	0,5	1	2
Rp, μm	0,772	0,774	0,776	0,821	0,953
Rv, μm	0,986	0,986	0,988	1,005	1,077
Ra, μm	0,668	0,067	0,666	0,666	0,661



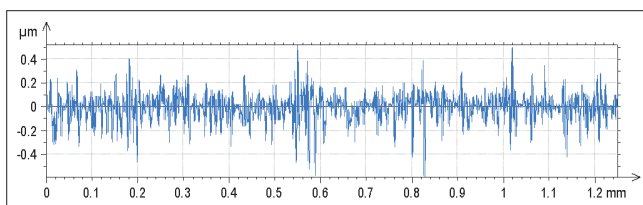
Rys. 7. Obraz izometryczny powierzchni szlifowanej, uzyskany w wyniku pomiaru z prędkością przesuwu ostrza odwzorowującego: a) $v = 0,5$ mm/s, b) $v = 2$ mm/s

TABLICA II. Wyniki pomiarów parametru Sa dla powierzchni szlifowanej w funkcji prędkości przesuwu ostrza odwzorowującego

	v, mm/s				
	0,1	0,25	0,5	1	2
Sa, mm	2,923	2,941	2,960	3,791	10,703

TABLICA III. Wyniki pomiarów szumu pomiarowego w funkcji prędkości przesuwu ostrza odwzorowującego

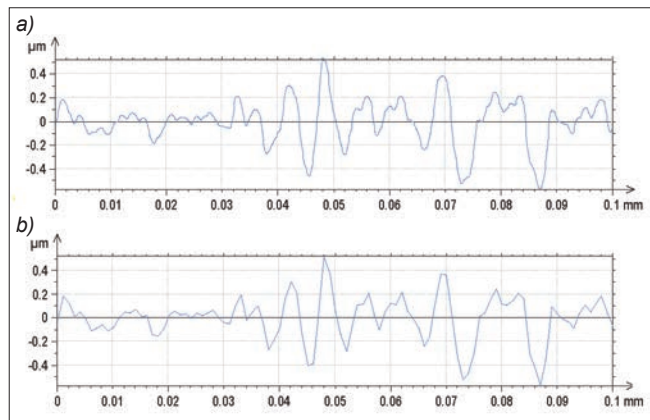
	v, mm/s				
	0,1	0,25	0,5	1	2
Rq, nm ($\lambda_c = 0,025$ mm)	2,97	2,59	2,95	6,40	12,83



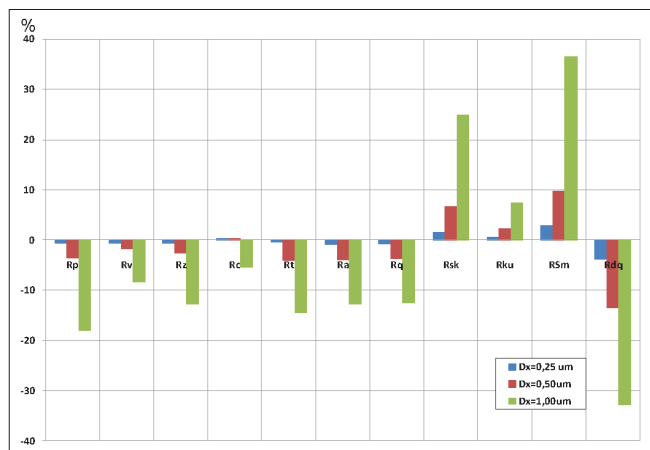
Rys. 8. Zmierzony profil z odstępem próbkowania $\Delta x = 0,125$ μm

TABLICA IV. Parametry zmierzonego profilu dla odstępów próbkowania $\Delta x = 0,125$ μm ($\lambda_s = 2,5$, $\lambda_c = 0,25$ mm)

Rp, μm	Rv, μm	Rz, μm	Rc, μm	Rt, μm	Ra, μm
0,419	0,476	0,895	0,300	1,130	0,086
Rq, μm	Rsk	Rku	RSm, μm	Rdq, $^\circ$	
0,121	-0,607	5,468	7,220	7,780	



Rys. 9. Fragment profilu pomiędzy 0,5 a 0,6 mm: a) dla odstępów próbkowania $\Delta x = 0,125$ μm , b) dla odstępów próbkowania $\Delta x = 1$ μm



Rys. 10. Procentowa zmiana wartości parametrów uzyskanych dla odstępów próbkowania $\Delta x = 0,25$ μm , $0,5$ μm i 1 μm w stosunku do odstępów próbkowania $\Delta x = 0,125$ μm

Bardzo istotnym parametrem, który należy dobrać przed rozpoczęciem pomiaru, jest długość odcinka pomiarowego. Zasady tego doboru wynikają z charakteru mierzonej powierzchni (powierzchnia okresowa lub losowa) oraz wstępnej oceny uzyskiwanych parametrów profilu chropowatości.

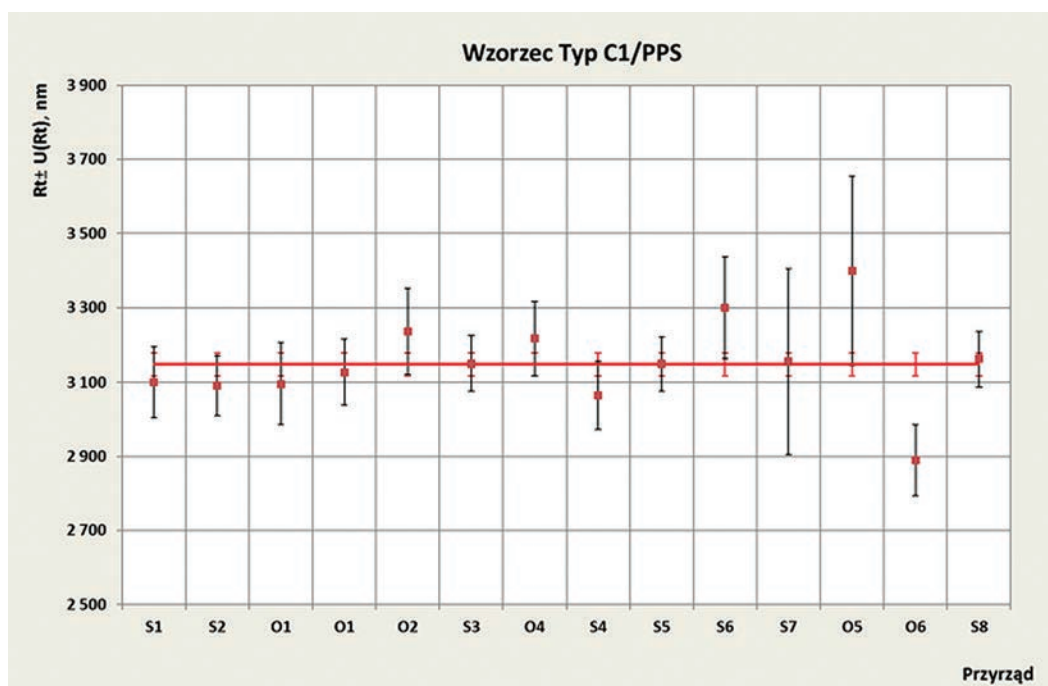
Sprawdzenie oprogramowania do analizy struktury geometrycznej powierzchni

Jednym z potencjalnych źródeł błędów w procesie pomiarowym są algorytmy zastosowane w oprogramowaniu analitycznym do wyznaczania parametrów struktury geometrycznej powierzchni. Dlatego w przypadkach wątpliwych celowe jest sprawdzenie używanego oprogramowania. W przypadku pomiarów struktury geometrycznej powierzchni do tego celu służą wzorce programowane, których charakterystykę przedstawiono w dokumentach normalizacyjnych [7, 8]:

- PN-EN ISO 5436-2:2013-04 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Metoda profilowa – Wzorce – Część 2: Wzorce programowane,
- PN-EN ISO 25178-71:2013-06 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 71: Wzorce programowane.

Normy te definiują pojęcie wzorca programowanego – jako danych odniesienia lub oprogramowania odniesienia – przeznaczonego do odtwarzania ze znaną niepewnością wartości mierzonych w celu sprawdzenia oprogramowania wykorzystywanego w przyrządzie pomiarowym do obliczania wartości wielkości mierzonej.

Rys. 11. Przykładowe wyniki badań międzylaboratoryjnych



W normach zdefiniowano wzorce programowane typu F lub S, służące do sprawdzania oprogramowania przyrządów pomiarowych w zakresie algorytmów filtrów i obliczania parametrów, które zostały podzielone na dwa typy: F1 i S1 oraz F2 i S2. Wzorce programowane typu F1 i S1 to pliki z danymi przedstawiającymi cyfrową reprezentację profilu pierwotnego lub powierzchni. Wzorce programowane typu F2 lub S2 to wzorcowe oprogramowanie odniesienia, które składa się ze spójnego oprogramowania komputerowego w stosunku do oprogramowania, w które jest wyposażony przyrząd pomiarowy.

Nieliczne narodowe instytucje metrologiczne (NMI) oferują wzorce programowane typu F1 i S1, czyli pliki z danymi, oraz typu F2 i S2, czyli referencyjne oprogramowanie do sprawdzania oprogramowania komercyjnego, dostarczanego z przyrządami do pomiarów struktury geometrycznej powierzchni. Do tych instytucji należą:

- National Physical Laboratory (NPL) – Wielka Brytania,
- National Institute of Standards and Technology (NIST) – Stany Zjednoczone (oprogramowanie eksperymentalne),
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) – Niemcy.

Z wykorzystaniem wzorców programowanych i oprogramowania referencyjnego można dokonać sprawdzenia komercyjnego oprogramowania, w które wyposażono przyrząd wykorzystywany do pomiarów.

Międzylaboratoryjne badania porównawcze

Ważnym elementem potwierdzania wiarygodności przeprowadzanych pomiarów jest uczestnictwo w międzylaboratoryjnych badaniach porównawczych. Jest to zewnętrzne narzędzie kontroli jakości pomiarów.

Przykładowe wyniki badań międzylaboratoryjnych, wykonanych dla sześciu przyrządów optycznych i ośmiu stykowych w ramach projektu badawczego, przedstawiono na rys. 11.

Podsumowanie

Pomiary struktury geometrycznej powierzchni należą do najtrudniejszych w grupie pomiarów wielkości geometrycznych. Wynika to: z różnorodności stosowanych

metod pomiaru – ich możliwości i ograniczeń, ze skali mierzonych nierówności – od nano do mikro, a także z wpływu warunków środowiskowych na proces pomiaru. Istotne jest więc wprowadzanie i powszechne stosowanie zasad dobrej praktyki pomiarowej – zarówno podczas pomiarów potwierdzających spełnienie wymagań specyfikacji wyrobów, jak i podczas prac badawczych.

Publikacja powstała na podstawie wyników uzyskanych w ramach finansowanego ze środków NCB projektu nr PBS2/A6/20/2013 „Badania i ocena wiarygodności nowoczesnych metod pomiaru topografii powierzchni w skali mikro i nano”.

Artykuł został sfinansowany z projektu realizowanego przez Fabrykę Łożysk Toczyńskich – Kraśnik S.A., finansowanego z programu operacyjnego Unii Europejskiej „Inteligentny Rozwój”, w którym wykorzystano ww. wyniki.

LITERATURA

1. PN-EN ISO 25178-6:2011 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 6: Klasyfikacja metod pomiaru struktury geometrycznej powierzchni.
2. PKN-ISO/IEC Guide 99:2010 Międzynarodowy słownik metrologii – Pojęcia podstawowe i terminy z nimi związane (VIM).
3. PN-EN ISO 25178-70:2014 SGP: Przestrzenna – Część 70: Wzorce materialne.
4. 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*. 65, 1 (2017): s. 53–61.
5. PN-EN ISO 25178-701:2010 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 701: Wzorcowanie i wzorce do przyrządów stykowych (z ostrzem odzworowującym).
6. PN-EN ISO 5436-1:2002 Specyfikacja geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Metoda profilowa – Wzorce – Część 1: Wzorce materialne.
7. PN-EN ISO 5436-2:2013-04 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Metoda profilowa – Wzorce – Część 2: Wzorce programowane.
8. PN-EN ISO 25178-71:2013-06 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 71: Wzorce programowane.