

# Wpływ zastosowania osłony termicznej profilometru stykowego na wyniki pomiarów stereometrii powierzchni

An analysis of the application of the protective chamber of the stylus profilometer on measurement results of the surface texture

STANISŁAW ADAMCZAK  
JACEK ŚWIDERSKI  
TOMASZ DOBROWOLSKI\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.2.28>

Przedstawiono wpływ zmiany temperatury w czasie na wyniki pomiarów stereometrii powierzchni oraz skuteczność zastosowania osłony profilometru stykowego w celu zmniejszenia wahań temperatury oddziałującej na przyrząd pomiarowy, co decyduje o pojawieniu się składowej falistości w osi Y.

**SŁOWA KLUCZOWE:** struktura geometryczna powierzchni, profilometria stykowa

*The article presents an impact of the temperature change in time on measurement results of the surface texture and efficiency of the application of the protective chamber of the contact profilometer in order to minimize variations of the temperature affecting measuring instrument.*

**KEYWORDS:** surface texture, contact profilometry

W praktyce przemysłowej do opisu stanu powierzchni coraz częściej wykorzystuje się analizę przestrzenną, ponieważ pomiar pojedynczego profilu nie daje pełnej informacji o strukturze geometrycznej powierzchni badanego przedmiotu. W pomiarach przestrzennych struktury geometrycznej powierzchni znajdują zastosowanie m.in. metody profilometryczne, polegające na akwizycji danych pomiarowych poprzez skanowanie powierzchni w dwóch prostopadłych kierunkach [1, 2].

Podstawową wadą metod profilometrycznych jest długi czas pomiaru, który jest uzależniony od: mierzonego obszaru, prędkości przesuwu ostrza odwzorowującego wzdłuż osi X, prostopadłej do śladów obróbki, oraz gęstości próbkowania wzdłuż osi Y (liczby zmierzonych profili). Wielkość obszaru podlegającego pomiarowi jest zdeterminowana przez chropowatość powierzchni danego elementu – powierzchnie o większej chropowatości wymagają przeprowadzenia pomiarów na większym obszarze. Typowe prędkości przesuwu głowicy w stykowych przyrządach profilometrycznych zawierają się w przedziale 0,1÷2 mm/s. W przypadku prędkości powyżej 0,5 mm/s istnieje ryzyko wystąpienia zjawiska tzw. lotu, czyli utraty kontaktu ostrza odwzorowującego z mierzoną powierzchnią. Pomiar zbyt małej liczby profili w kierunku osi Y może skutkować utratą istotnych informacji o mierzonej powierzchni.

Przytoczone wymagania i ograniczenia wpływają na czas pomiaru struktury geometrycznej powierzchni – może on wynosić od kilkudziesięciu minut do kilku godzin. Z tego względu podczas budowania budżetu niepewności pomiaru należy zwrócić szczególną uwagę na zmiany temperatury otoczenia, które w warunkach laboratoryj-

nych wynikają z charakterystyki pracy klimatyzacji (okresowa zmiana temperatury o amplitudzie uzależnionej od precyzji zastosowanej klimatyzacji).

Potencjalne źródła błędów w pomiarach stykowych struktury geometrycznej powierzchni dotyczą obszarów związanych z: przyrządem pomiarowym i wzorcami użytymi do jego kalibracji, warunkami środowiskowymi, właściwościami mierzonego elementu, oprogramowaniem użytym do wyznaczania parametrów oraz metrologiem wykonującym pomiar [4, 5].

W artykule omówiono wpływ cyklicznych zmian temperatury otoczenia na wiarygodność wyników pomiarów struktury geometrycznej powierzchni oraz skuteczność ograniczania tego wpływu dzięki zastosowaniu standardowej osłony, w jaką wyposażony jest profilometr stykowy [3].

Pomiary przeprowadzono za pomocą profilometru stykowego Form Talysurf PGI 1200 (rys. 1), który dzięki zastosowaniu głowicy interferometrycznej o zakresie pomiarowym 12,5 mm i rozdzielczości 0,8 nm umożliwia wykonywanie pomiarów stereometrii powierzchni z jednoczesnym uwzględnieniem konturu, falistości i chropowatości powierzchni. Przyrząd jest wyposażony w stolik pozwalający na przesuwanie mierzonego przedmiotu w osi Y z maksymalną rozdzielczością 1 μm oraz na pomiary z prędkością w zakresie 0,1÷2 mm/s. Aktywny system wibroizolacji izoluje przyrząd od drgań występujących w miejscu jego zainstalowania.

Do pomiarów wykorzystano głowicę z końcówką pomiarową z diamentowym ostrzem odwzorowującym, mającym postać stożka o kącie wierzchołkowym  $\alpha = 90^\circ$  i promieniu  $r_{tip} = 2 \mu\text{m}$ .

Pomiary przeprowadzono na wzorcu materialnym typu AFL – płaskiej płytce interferencyjnej pierwszej klasy dokładności [6].

Podczas pomiarów stereometrii powierzchni rejestrowano temperaturę: w laboratorium, wewnątrz osłony profilometru, kolumny oraz stolika umożliwiającego pomiar w osi Y.



Rys. 1. Profilometr stykowy Form Talysurf PGI 1200

\* Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak (adamczak@tu.kielce.pl), mgr inż. Jacek Świdorski (swiderski@tu.kielce.pl), mgr inż. Tomasz Dobrowolski (t.dobrowolski@tu.kielce.pl) – Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej

## Program badań

Aby określić wpływ cyklicznych zmian temperatury otoczenia na wyniki pomiarów struktury geometrycznej powierzchni oraz zbadać skuteczność ograniczania tego wpływu przez zastosowanie osłony profilometru, przeprowadzono następujące pomiary:

- sprawdzono prostoliniowość przesuwu stolika w osi Y,
- dokonano pomiaru płytki interferencyjnej na obszarze  $X \times Y$ :  $5,7 \text{ mm} \times 5,6 \text{ mm}$ , z odstępami próbkowania  $\Delta X = 0,5 \mu\text{m}$  i  $\Delta Y = 15,6 \mu\text{m}$  (360 profili), z prędkością przesuwu ostrza odwzorowującego podczas pomiaru  $V_{x+} = 0,5 \text{ mm/s}$  i podczas powrotu na pozycję początkową  $V_{x-} = 1,0 \text{ mm/s}$ . Przy tych parametrach czas pomiaru wyniósł dokładnie 180 min. Pomiar przeprowadzono dla dwóch przypadków warunków zewnętrznych: przy włączonej klimatyzacji w laboratorium i otwartej osłonie profilometru oraz przy włączonej klimatyzacji w laboratorium i zamkniętej osłonie profilometru.

## Analiza wyników

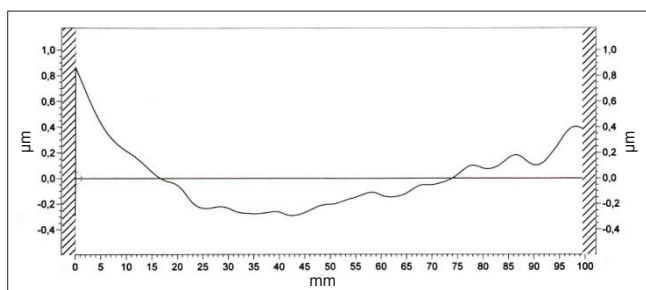
Wynik sprawdzenia prostoliniowości przesuwu stolika przedstawiono na rys. 2. Błąd prostoliniowości w całym zakresie pomiarowym 100 mm nie przekracza  $1,16 \mu\text{m}$ .

Wyniki pomiarów temperatury w poszczególnych punktach pomiarowych dla przypadku z otwartą i zamkniętą osłoną profilometru pokazano na rys. 3 i 4.

Zamknięcie osłony profilometru powoduje ok. pięciokrotne zmniejszenie amplitudy zmian temperatury wewnątrz osłony profilometru w stosunku do przypadku z osłoną otwartą (tabl. I). Jednocześnie następuje zmniejszenie amplitudy zmian temperatury podstawowych elementów profilometru, wchodzących w skład pętli pomiarowej (stolika, kolumny). Przy zamkniętej osłonie następuje również przesunięcie fazowe zmian temperatury punktów pomiarowych wewnątrz osłony w stosunku do zmian temperatury w laboratorium.

Wyniki pomiarów płaskiej płytki interferencyjnej dla obu przypadków objętych programem badań przedstawiono w postaci obrazu izometrycznego oraz wyodrębnionego profilu w osi Y (rys. 5 i 6).

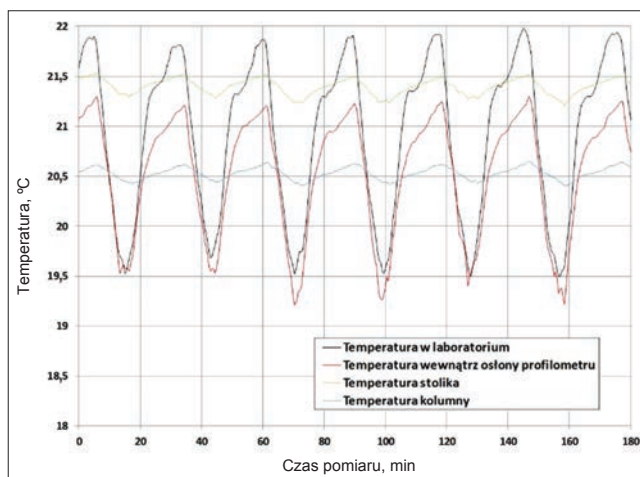
Na rys. 7 i 8 porównano zmiany temperatury wewnątrz osłony profilometru i zmierzonego profilu w osi Y dla przypadku otwartej i zamkniętej osłony.



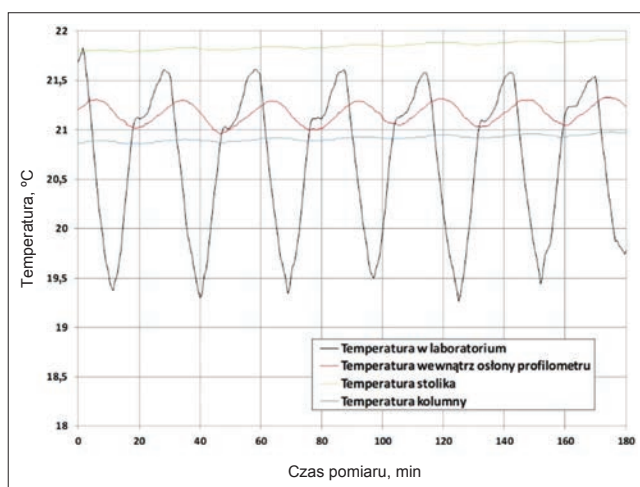
Rys. 2. Wynik pomiaru prostoliniowości przesuwu stolika w osi Y

**TABLICA I. Amplituda zmian temperatury w poszczególnych punktach pomiarowych w przypadku otwartej i zamkniętej osłony profilometru**

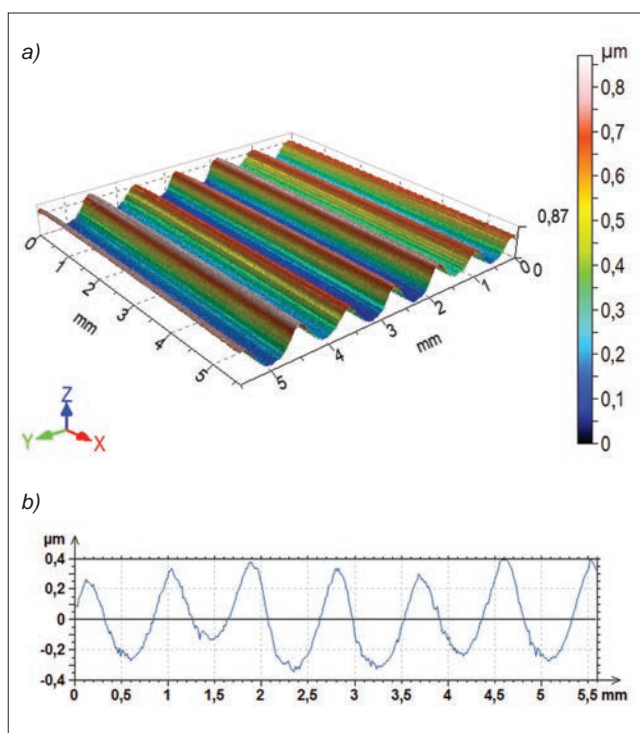
Osłona	Amplituda zmian temperatury, °C			
	laboratorium	osłona	stolik	kolumna
Otwarta	1,3	1,0	0,2	0,1
Zamknięta	1,3	0,2	0,06	0,06



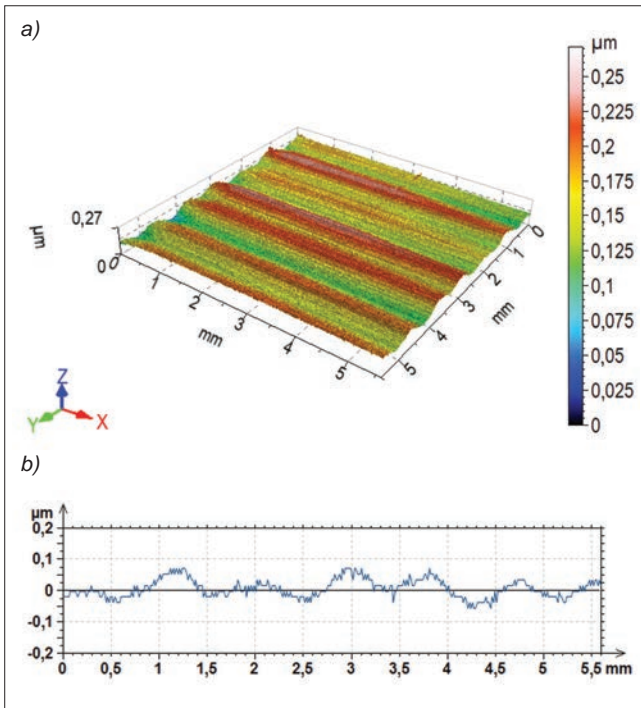
Rys. 3. Wyniki pomiarów temperatury w poszczególnych punktach pomiarowych w przypadku otwartej osłony profilometru



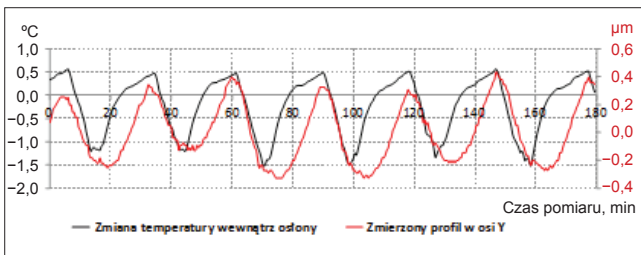
Rys. 4. Wyniki pomiarów temperatury w poszczególnych punktach pomiarowych w przypadku zamkniętej osłony profilometru



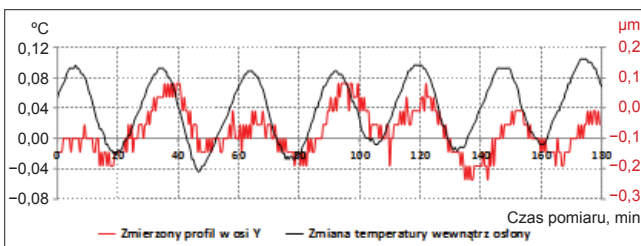
Rys. 5. Wyniki pomiarów płytki interferencyjnej w przypadku otwartej osłony profilometru: a) obraz izometryczny powierzchni, b) wyodrębniony profil w kierunku osi Y



Rys. 6. Wyniki pomiarów płytki interferencyjnej w przypadku zamkniętej osłony profilometru: a) obraz izometryczny powierzchni, b) wyodrębniony profil w kierunku osi Y



Rys. 7. Porównanie zmian temperatury i profilu w osi Y w przypadku otwartej osłony profilometru



Rys. 8. Porównanie zmian temperatury i profilu w osi Y w przypadku zamkniętej osłony profilometru

Z porównania zmian temperatury i zarysu falistości w osi Y wynika, że przyczyną występowania nierówności w tej osi są cykliczne zmiany temperatury oddziałujące na elementy pętli pomiarowej profilometru stykowego. Pomimo znaczącego wyłumienia amplitudy zmian temperatury w przypadku zamkniętej osłony profilometru to niekorzystne zjawisko nadal występuje, lecz jego skala jest zdecydowanie mniejsza. Obliczone współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy profilem w osi Y oraz zmianami temperatury – wynoszące  $r = 0,63$  dla otwartej osłony oraz  $r = 0,46$  dla osłony zamkniętej – potwierdzają tę zależność.

W tabl. II i III przedstawiono obliczone parametry struktury geometrycznej powierzchni dla obu przypadków przewidzianych w planie badań (dla osłony otwartej i zamkniętej). Zaprezentowane wyniki dotyczą powierzchni

niefiltrowanych – powierzchni S-F (tabl. II), zawierających składowe wynikające ze zmian temperatury, oraz powierzchni filtrowanych filtrem Gaussa 0,08 mm – powierzchni S-L (tabl. III) [7].

TABLICA II. Wyniki obliczeń parametrów struktury geometrycznej powierzchni niefiltrowanych

Osłona	Parametry, mm				
	Sa	Sq	Sp	Sv	Sz
Otwarta	0,19	0,21	0,45	0,42	0,87
Zamknięta	0,02	0,03	0,11	0,16	0,27

TABLICA III. Wyniki obliczeń parametrów struktury geometrycznej powierzchni filtrowanych filtrem Gaussa 0,08 mm

Osłona	Parametry, mm				
	Sa	Sq	Sp	Sv	Sz
Otwarta	0,006	0,008	0,098	0,14	0,24
Zamknięta	0,006	0,007	0,074	0,11	0,19

Po odfiltrowaniu składowych wynikających ze zmian temperatury obliczone wartości parametrów struktury geometrycznej powierzchni są do siebie bardzo zbliżone.

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdziły znaczący wpływ cyklicznych zmian temperatury środowiska podczas długotrwałych pomiarów struktury geometrycznej powierzchni na uzyskiwane wyniki. Ten wpływ ujawnia się w postaci falistości występującej w osi Y. Skutecznym sposobem minimalizacji tego oddziaływania jest zastosowanie osłony termicznej, która wyraźnie tłumi amplitudę zmian temperatury, a w konsekwencji zdecydowanie zmniejsza amplitudę falistości w osi Y, stanowiącą systematyczny błąd temperaturowy.

**Publikacja w ramach projektu PBS2 (nr PBS2/A6/20/2013) „Badania i ocena wiarygodności nowoczesnych metod pomiaru topografii powierzchni w skali mikro i nano”, finansowanego z NCBR.**

## LITERATURA

- Adamczak S. „Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość”. Warszawa: WNT, 2008.
- Adamczak S., Świdorski J., Wieczorowski M., Majchrowski R., Miller T., Łętocha A. „Założenia do oceny wiarygodności pomiarów topografii powierzchni w różnych skalach”. *Mechanik*. 3 (2015): s. 81–87.
- 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.
- Pawlus P., Wieczorowski M., Mathia T. „The errors of stylus methods in surface topography measurements”. Szczecin: ZAPOL, 2014.
- Leach R. „Measurement Good Practice Guide No. 37. The measurement of surface texture using stylus instruments”. Engineering Measurement Division National Physical Laboratory, 2014.
- PN-EN ISO 25178-70:2014 Geometrical product specification (GPS) – Surface texture – Part 70: Material Measures.
- PN-EN ISO 25178-3:2012 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 3: Specyfikacje operatorów.