

Ocena parametrów 3D wyznaczonych metodą próbkowania spiralnego

Radomir Majchrowski

Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych, Instytut Technologii Mechanicznej, Politechnika Poznańska

Streszczenie: W Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Poznańskiej opracowano nową metodę pomiaru trójwymiarowej geometrii powierzchni bazującą na próbkowaniu spiralnym. Jest to nowe podejście do zagadnienia zbierania punktów z powierzchni za pomocą niekartezjańskiej siatki próbkowania. Pomiar wykonuje się na siatce utworzonej ze zbioru punktów tworzących spiralę Archimedesesa. Główną zaletą tej metody jest mniejsza czasochłonność pomiaru w porównaniu z innymi siatkami próbkowania. Stosując siatkę prostokątną, po każdym przejściu końcówki pomiarowej należy wycofać ją w położenie początkowe. Należy także poprzecznie przesunąć stolik pomiarowy o wartość odpowiadającą odległości między kolejnymi przejściami. Jeśli przy próbkowaniu spiralnym może być mowa o odcinkach wejściowym i wyjściowym, to tylko przy rozpoczęciu i przy zakończeniu pomiaru, ponieważ końcówka przez cały czas pomiaru jest w ruchu. Jest to oczywisty zysk czasu, który może wynosić od 30 % do 70 % w porównaniu z czasem przy użyciu siatki prostokątnej. Próbkowanie spiralne rozwiązuje problem czasochłonności pomiarów przestrzennych powierzchni. Jednakże, jak pokazały badania, istnieją różnice w wartościach parametrów 3D, uzyskanych metodą próbkowania spiralnego i metodą siatki prostokątnej. Nie była również znana zależność opisująca wpływ parametrów siatki spiralnej (skok spirali) na wartości parametrów przestrzennych. W artykule przedstawiono analizę wpływu próbkowania spiralnego na parametry topografii powierzchni. Podczas badań korzystano z programów MATLAB, AWK, Statistica. Do pomiarów powierzchni wykorzystano profilometry Perthen, TOPO, Wyko. Za pomocą wymienionych narzędzi opracowano program do analizy i symulacji metody próbkowania spiralnego. Przeprowadzono badania symulacyjne strategii próbkowania spiralnego dla wytypowanych powierzchni.

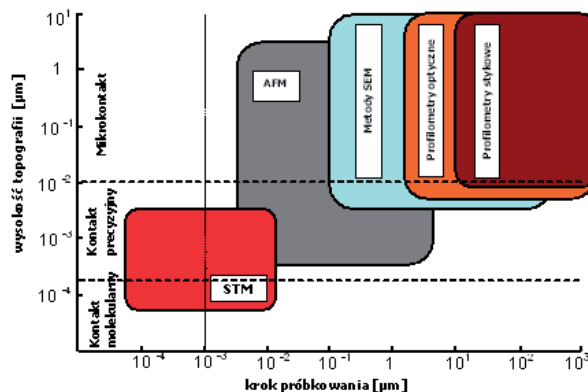
Słowa kluczowe: próbkowanie spiralne, topografia powierzchni

1. Charakterystyka metod pomiaru topografii powierzchni

Pomiary topografii powierzchni odgrywają coraz większą rolę w analizowaniu otaczającej nas rzeczywistości. W metrologii warstwy wierzchniej, oprócz pomiarów stykowych, coraz częściej sięga się do innych metod obrazowania powierzchni. Myshkin [5], zaproponował następujący podział ze względu na rozdzielczość przyrządów (rys. 1). Schemat przedstawiony na rys. 1 pokazuje na osi x krok próbkowania przyrządu pomiarowego oraz na osi y wysokość topografii powierzchni mierzoną przez przyrząd. Przyrządy zo-

stały podzielone na pięć grup: profilometry stykowe, profilometry optyczne, metody SEM, AFM, STM.

Dokładniejszą klasyfikację metod pomiaru topografii powierzchni przedstawili Mathia, Zahouani i inni [3] w raporcie „The development of methods for characterisation of roughness in three dimensions”, współfinansowanym przez Komisję Europejską. Proponują oni ogólny podział na metody stykowe, optyczne i skaningowe. Dalej metody pomiarowe stereometrii powierzchni zostały podzielone ze względu na zastosowane zjawisko fizyczne, wykorzystane do zbierania informacji o powierzchni.

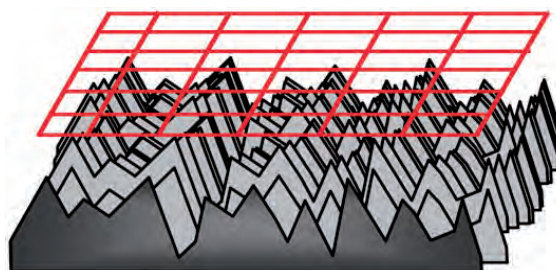


Rys. 1. Metody obrazowania powierzchni – opracowano na podstawie [5]

Fig. 1. The surface measurement methods [5]

2. Metoda próbkowania spiralnego

Istotnym zagadnieniem jest sposób uzyskiwania informacji o powierzchni. W pomiarach profilometrycznych stykowych ważnym aspektem jest dobór siatki próbkowania. Siatka ta obrazuje pozycje xy punktów, w których odczytuje się wartości rzędnych mierzonej powierzchni. Dobór siatki próbkowania powierzchni zależy od wielu parametrów, takich jak: obszar próbkowania, gęstość rozłożenia siatki czy chociażby czas zbierania punktów.

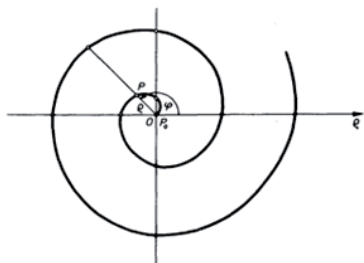


Rys. 2. Siatka prostokątna [2, 8]

Fig. 2. The rectangular grid [2, 8]

Większość spotykanych w praktyce systemów do topograficznej analizy powierzchni pracuje na zasadzie zbierania serii ścieżek równoległych do siebie (rys. 2), choć były również próby analizy kątowej, czyli zbierania profili w kierunkach wychodzących z tego samego punktu, obróconych względem siebie o pewien kąt [7].

Autorzy prac [2, 8] analizowali możliwość wykorzystania w pomiarach topografii powierzchni metody próbkowania spiralnego. Metoda pomiaru trójwymiarowej geometrii powierzchni, bazująca na próbkowaniu spiralnym, jest nowym podejściem do zagadnienia zbierania punktów z powierzchni za pomocą niekartezjańskiej siatki próbkowania. Pomiar wykonuje się na siatce utworzonej ze zbioru punktów tworzących spiralę Archimedesusa (rys. 3).



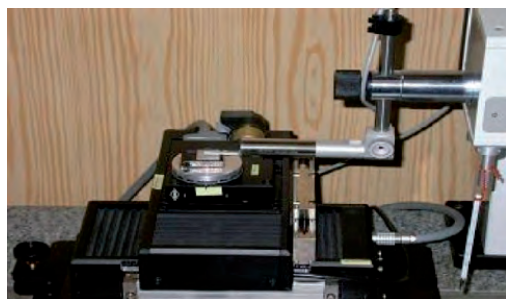
Rys. 3. Spirala Archimedesusa [1, 2]

Fig. 3. The Archimedes' spiral [1, 2]

W pracach [4, 6] wspomina się o możliwościach wykorzystania próbkowania spiralnego w pomiarach stereometrii powierzchni, natomiast praktyczne wykorzystanie tej metody przedstawili Wieczorowski, Chajda i Cellary w projekcie badawczym KBN: „Optymalizacja i weryfikacja szybkich metod próbkowania w profilometrii stykowej” [8]. Badania przeprowadzone w ZMiSP PP, pokazały wiele zalet metody wykorzystującej spiralę Archimedesusa. Do najważniejszych korzyści, płynących z zastosowania próbkowania spiralnego do topograficznej analizy powierzchni, należą [8]:

- mniejsza czasochłonność pomiaru w porównaniu z innymi siatkami próbkowania,
- duża płynność pomiaru – przy zastosowaniu siatki spiralnej cały proces pomiaru przebiega bez przerw.

W ramach wspomnianego projektu badawczego powstał prototyp przyrządu do pomiaru stereometrii powierzchni, z zastosowaniem próbkowania spiralnego (rys. 4).

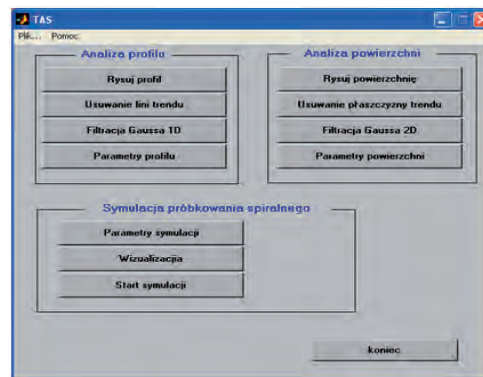


Rys. 4. Prototyp przyrządu wykorzystującego metodę próbkowania spiralnego

Fig. 4. The prototype of measurements instrument using the spiral method

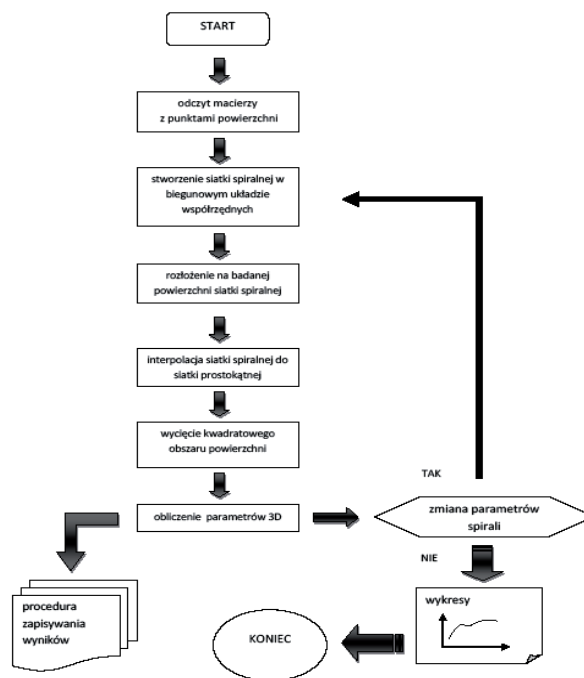
3. Program do analizy i symulacji metody próbkowania spiralnego

Badania symulacyjne przeprowadzono w celu wyeliminowania różnic w odwzorowaniu powierzchni, wynikających z trudności powtórzenia pomiaru dokładnie na tym samym obszarze, wyeliminowania wpływu błędu odwzorowania spowodowane przesunięciem igły w stosunku do środka obrotu stołu. Przy wielokrotnym powtarzaniu pomiarów na tej samej powierzchni, pojawia się również problem zarysowań spowodowanych wielokrotnym stykiem igły diamentowej w tych samych punktach powierzchni.



Rys. 5. Główne okno opracowanego programu TAS

Fig. 5. The main window of TAS



Rys. 6. Schemat algorytmu symulacji pomiaru w oparciu o próbkowanie spiralne

Fig. 6. The diagram of the algorithm of the spiral measurement's

Badania takie przeprowadzili Zahwi i Mekawi [9]. Do analizy powierzchni autor opracował program TAS (nazwa pochodzi od: topografia, analiza, symulacja) przy użyciu pakietu MATLAB (skrót od MATrix LABoratory), który umożliwia bardzo elastyczną numeryczną analizę danych zarówno w obliczeniach inżynierskich, jak i naukowych. MATLAB ma wiele wbudowanych funkcji, które

ułatwiają programowanie opracowanych algorytmów. Główne okno programu przedstawiono na rys. 5. Kolejnym etapem pracy nad programem TAS było opracowanie algorytmu symulacji pomiaru metodą próbkowania spiralnego (rys. 6).

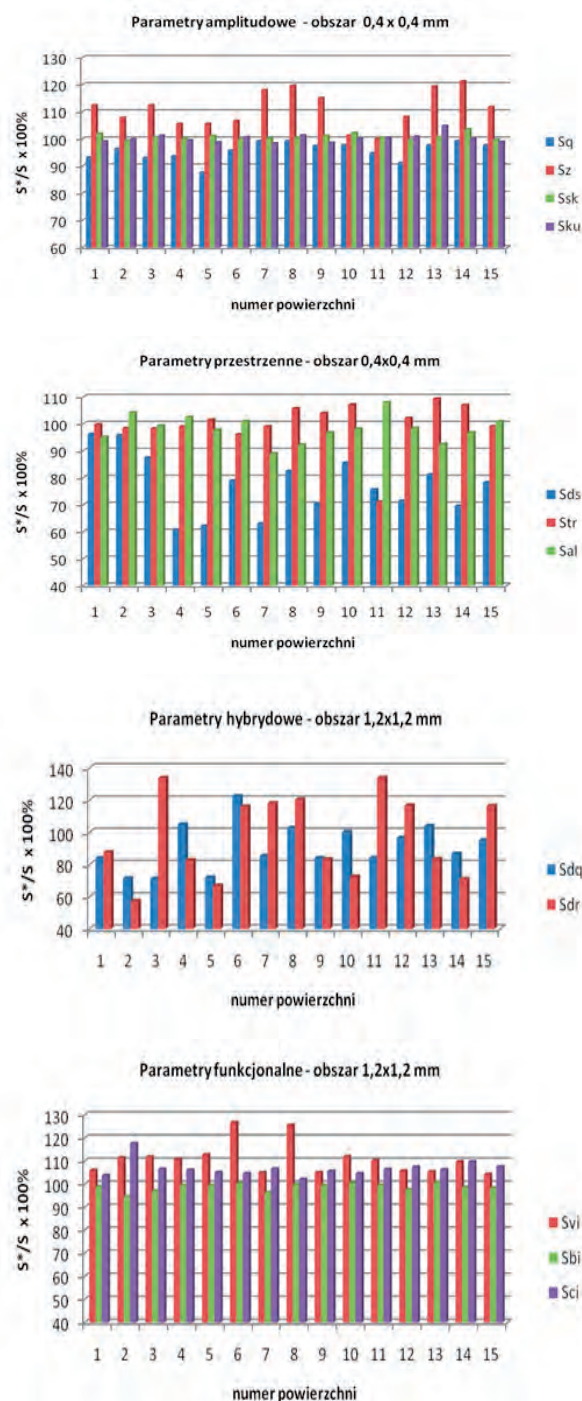
Tab. 1. THE BIRMINGHAM 14 – zalecane parametry 3D
Tab. 1. THE BIRMINGHAM 14 – recommended 3D parameters

PARAMETRY 3D – THE BIRMINGHAM 14			
amplitudowe	przestrzenne	hybrydowe	funkcjonalne
Sq	Sds	Sdq	Sbi
średnie	gęstość	średnie	wskaźnik
kwadratowe	szczytów	kwadratowe	nośności
odchylenie powierzchni	powierzchni	pochylenie powierzchni	powierzchni
		nierówności powierzchni	
Sz	Str	Ssc	Sci
całkowita	współczynnik	średnia	wskaźnik
wysokość	tekstury	arytmetyczna	utrzymania
powierzchni	powierzchni	krzywizna	plynu przez
		szczytów	rdzeń
Ssk	Std	Sdr	Svi
współczynnik	współczynnik	współczynnik	wskaźnik
asymetrii	kierunkowość	rozwnięcia	utrzymania
powierzchni	tekstury	obszaru	plynu przez
		wydzielonego	doliny
Sku	Sal		
współczynnik	najszybciej		
nachylenia	gasnąca		
(kurtoza)	długość		
	autokorelacji		

4. Wyniki badań

W badaniach symulacyjnych wykorzystano powierzchnie po typowych obróbkach wykończających, choć analizowano również nietypowe powierzchnie, np. powierzchnię plastiku. W badaniach symulacyjnych wykorzystano zmierzone powierzchnie (siatka prostokątna) na obszarze próbkowania $1,7 \times 1,7$ mm. Powierzchnie te wykorzystano do badań symulacyjnych, które przeprowadzono dla dwóch obszarów: $1,2 \times 1,2$ mm oraz $0,4 \times 0,4$ mm. Łącznie analizowano trzydzieści powierzchni (piętnaście dla obszaru $1,2 \times 1,2$ mm i piętnaście dla obszaru $0,4 \times 0,4$ mm). Były to: powierzchnia docierana (stal), powierzchnia po obróbce elektroerozyjnej (stal), powierzchnia tulei cylindrowej (stal), powierzchnia piaskowana (płytką szklaną), powierzchnia koła zębatego (stal), powierzchnia łożyska tocznego (szlifowanie, stal), powierzchnia po obróbce elektroerozyjnej (stal), powierzchnia frezowana czółowo (stal), powierzchnia frezowana szybkościowo (stal), powierzchnia toczona ostrzem diamentowym (stal), powierzchnia szlifowana (stal), powierzchnia nagniatana (stal), powierzchnia szlifowana (stal), powierzchnia toczona (stal), powierzchnia elementu obudowy (plastik).

Dla przedstawionych powierzchni przeprowadzono badania symulacyjne dla liczby zwojów spirali równej 250. Wyniki badań opracowano i przedstawiono na wykresach słupkowych. Oś pozioma przedstawia numer analizowanej powierzchni, oś pionowa iloraz parametru obliczonego z siatki spiralnej (S^*) do parametru obliczonego z siatki prostokątnej (S) w procentach. Wartość 100 % oznacza, że wartości parametrów są równe.



Rys. 7. Przykładowe wyniki badań dla obszarów: $0,4 \times 0,4$ mm i $1,2 \times 1,2$ mm
Fig. 7. The example results of investigations for areas: $0,4 \times 0,4$ mm i $1,2 \times 1,2$ mms

5. Wnioski

Podsumowując, przeprowadzone badania prowadzą do następujących wniosków:

- badania symulacyjne pozwoliły na analizę różnic między parametrami 3D, wynikających jedynie z zastosowania odmiennej strategii próbkowania,
- parametry 3D topografii powierzchni uzyskane z siatki spiralnej różnią się wartościami od parametrów uzyskanych z siatki prostokątnej, wyznaczone współczynniki korekcji pozwolą zniwelować te różnice,
- współczynniki korekcji należy stosować osobno dla każdego z parametrów 3D, nie udało się określić jednego uniwersalnego współczynnika, co jest zrozumiałe ze względu na różnorodny charakter parametrów 3D,
- najmniejsze różnice zaobserwowano dla parametrów Sq, Sku, Str, Sal, Sbi, Sci, Svi,
- największe różnice zaobserwowano dla parametrów Ssc, Sds i Sz oraz Sdq i Sdr, duże różnice wynikają z interpolacji siatki spiralnej na prostokątną, metoda próbkowania spiralnego nie umiejscawia szczytów w tych samych punktach (jak przy siatce prostokątnej), ponieważ definicje większości z tych parametrów określone są w stosunku do szczytów, wprowadza to większe różnice niż dla pozostałych parametrów 3D.

Bibliografia

1. Bronsztejn I.N., Siemiendajew K. A., Musiol G., Muhling H.: *Nowoczesne kompendium matematyki*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2004, 111–112.
2. Cellary A., Wieczorowski M.: *Siatki próbkowania w pomiarach topografii powierzchni*, Materiały Krajowego Kongresu Metrologii: „Nowe Wyzwania i Wyzje Metrologii”. Gdańsk, 1998, vol. 4, 71–76.
3. Mathia T., Zahouani H., Stout K.J., Sullivan P.J., Dong W.P., Mainsah E., Lou N.: *The development of methods for characterisation of roughness in three dimensions*. ECSC-EEC-EAEC, Brussels-Luxembourg and Authors, 1993.
4. Mollenhauer C.: *Surface topography measurement*, Proc. Int. Conf. on Surface Technol., Pittsburgh 1973
5. Myshkin N.K., Grigoriev A.Ya., Chizhik S.A., Choi K.Y., Petrokovets M.I.: *Surface roughness and texture analysis in microscale*. Wear 254, 2003, 1001–1009.
6. Thomas. T.R.: *Rough Surfaces*. Imperial College Press. 1999, Second Edition.
7. Whitehouse D.J., Philips M.J.: *Sampling in a two-dimensional plane*. Journal of Physics A: Mathematical and General 18, 1985, 2465–2477.
8. Wieczorowski M., Cellary A., Chajda J.: *Optymalizacja i weryfikacja szybkich metod próbkowania w profilometrii stykowej*. Raport badawczy KBN nr 7TO7D 012 13, 1999.
9. Zahwi S., Mekawi A.M.: *Some effects of stylus force on scratching surfaces*. International Journal of Machine Tools & Manufacture 41, 2001, 2011–2015.

The evaluation of 3D parameters appointed using the spiral sampling method

Abstract: In the world around us, all the surfaces are rough. Most of surfaces in mechanics are very complicated, and in order to describe it with certain values, the measurement and analysis of some parameters should be performed. Before 1980th, roughness analysis consisted of 2D measurement, which gave two-dimensional characteristics of the surface. During the last decades, many scientists and constructors became convinced that the third dimension should be added to the analysis. At present, 3D analysis of the surface geometry is widely accepted, though some disorder in terminology and in 3D parameters classification is still present. One of important problems is also the way of measurement (points collection) for further analysis. Most of known measuring systems collect a number of parallel profiles. Are known also efforts to collect radial profiles from one point. Anyway, the stereometrical surface measurement requires far more time than typical 2D measurement. In the Division of Metrology of Poznan University of Technology the new method of measurement has been worked out, based on spiral sampling. One of the most important merits of this kind of measurement is much shorter time, when the surface of same dimensions is to be measured. When the parallel profiles are being collected, after each movement forward, the useless move back would come, and also the movement in perpendicular direction (step between profiles) would take additional time. Moreover, in each profile, beside the evaluation length, there are allowances for run-up and for overtravel. In spiral sampling, those allowances appear only once, at the beginning and at the end of measuring process, and the stylus collects the point during all the time of movement. Comparing to parallel profiles, the spiral sampling takes 30 % to 70 % less time of measurement.

Keywords: spiral sampling, surface topography

dr inż. Radomir Majchrowski

Ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, specjalizacja Mechatronika. Po ukończeniu studiów inżynierskich pracował przez trzy lata w Fabryce Silników Okrętowych HCP Cegielskiego na stanowisku technologa-programisty obrabiarek CNC, a następnie rozpoczął pracę naukową w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Poznańskiej. W 2009 r. obronił rozprawę doktorską „Próbkowanie spiralne w pomiarach topografii powierzchni”. Współpracuje z The University of North Carolina at Charlotte USA, gdzie odbył trzymiesięczny staż pod kierunkiem prof. Jaya Raja.



e-mail: radomir.majchrowski@gmail.com