

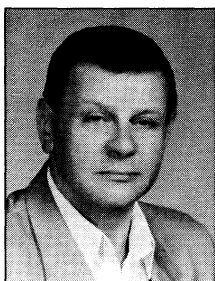
Tadeusz KARPIŃSKI, Czesław ŁUKIANOWICZ, Tatiana ŁUKIANOWICZ

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA  
WYDZIAŁ MECHANICZNY

## Skomputeryzowane stanowisko do pomiaru i analizy profilu powierzchni

### Prof. dr inż. Tadeusz KARPIŃSKI

– jest kierownikiem Katedry Inżynierii Produkcji. Opublikował około 130 prac naukowo - badawczych. Specjalizuje się naukowo w zakresie: metrologii powierzchni, badaniach: procesów obróbki ściernej, automatyzacji procesów technologicznych, badań nowoczesnych narzędzi ściernych.



### Dr inż. Czesław ŁUKIANOWICZ

– jest zatrudniony na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej od 1973 r. W 1976 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Obecnie jest adiunktem w Katedrze Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej.



### Dr inż. Tatiana ŁUKIANOWICZ

– jest zatrudniona na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej od 1975 r. Na tym wydziale w 1993 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych. Obecnie jest adiunktem w Katedrze Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej.



Concept, firmy Mahr Perthen, i program Turbo Rauheit für Windows, firmy Hommelwerke. W Polsce powstało także kilka programów o podobnym przeznaczeniu. Można tu wymienić oprogramowanie profilometrów produkowanych w Instytucie Obróbki Skrawaniem w Krakowie [7, 8], pracujące w systemie DOS, oraz opracowany przez Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN program WIN 3D, działający w systemie MS Windows™.

Profilometry używane w Katedrze Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej - takie np. jak profilometr ME 10 firmy Carl Zeiss Jena - są profilometrami analogowymi starszej generacji. Pod koniec lat osiemdziesiątych, wykorzystując profilometr ME 10, zbudowano skomputeryzowane stanowisko, przeznaczone do cyfrowego pomiaru profilu powierzchni. Analizy profilu powierzchni, na tym stanowisku dokonywano za pomocą oprogramowania pracującego w systemie DOS. Poniżej przedstawiono zmodernizowane stanowisko. Uzyskano je dzięki zmodyfikowaniu części oprogramowania komputerowego, pozwalającego na pracę w systemie MS Windows™, oraz dzięki wstępnemu przystosowaniu stanowiska do przestrzennych, pomiarów nierówności powierzchni.

### Streszczenie

W artykule przedstawiono skomputeryzowane stanowisko do pomiaru i analizy profilu nierówności powierzchni. Zawiera ono profilometr, komputer, system akwizycji sygnału pomiarowego oraz oprogramowanie umożliwiające analizę i pomiary profilu powierzchni. Oprogramowanie napisane w środowisku programowym Borland Delphi pozwala na pracę w systemie MS Windows™. Stanowisko jest rozbudowywane w celu analizy topografii powierzchni.

### Abstract

In the paper computerised stand for measurement and analysis of surface profile is described. This stand contains stylus instrument, microcomputer, system for acquire of measuring signal and software. Software for MS Windows works out using Borland Delphi. Using this stand, three-dimensional imaging of surface roughness is possible.

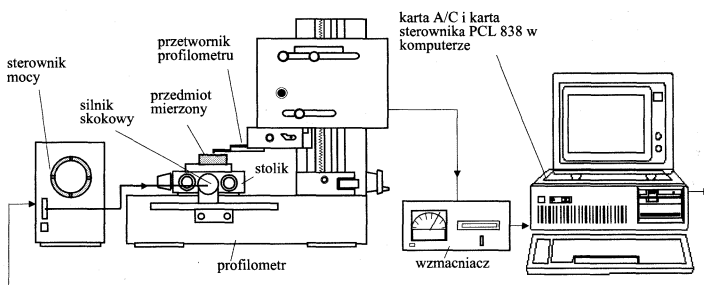
### Wprowadzenie

Nowoczesne techniki wytwarzania części maszyn powinny zapewnić nie tylko odpowiednią dokładność wykonania wymiarów, ograniczać odchyłki kształtu i położenia, ale także odpowiednio kształtować nierówności powierzchni. W wielu przypadkach struktura geometryczna powierzchni poszczególnych części jest istotnym czynnikiem decydującym o jakości wyrobu. Jedną z częściej stosowanych metod pomiarów nierówności powierzchni jest metoda stykowa [1], [9], polegająca na odwzorowaniu rysunku powierzchni za pomocą profilometrów stykowych.

Różnorodność obliczanych parametrów i funkcji profilu chropowatości, oraz rozwój systemów operacyjnych stawiają przed programami służącymi do analizy profili chropowatości duże wymagania. Oprogramowanie oferowane przez firmy produkujące profilometry spełnia te wymagania, chociaż na ogół przeznaczone jest dla profilometrów określonego typu, wymaga przygotowania danych w odpowiednim formacie i jest dosyć kosztowne. Przykładem takich programów pracujących w systemie MS Windows™ są: program Perthometer

### Budowa stanowiska

Schemat stanowiska do pomiaru i analizy profilu nierówności powierzchni pokazano na rys. 1. Zawiera ono profilometr ME 10, komputer PC 486/66 MHz, 12 bitową kartę A/C do akwizycji sygnałów pomiarowych, silnik skokowy do przesuwu poprzecznego stolika profilometru, układ sterowania silnikiem, a także oprogramowanie umożliwiające rejestrację, analizę i pomiary profilu powierzchni. Oprogramowanie składa się z dwóch oddzielnych mo-



Rys. 1. Schemat skomputeryzowanego stanowiska do pomiaru i analizy profilu nierówności powierzchni

dułów. Pierwszy, pracujący w systemie DOS, służy do akwizycji sygnałów pomiarowych, odwzorowujących profil powierzchni. Drugi, główny moduł, pracujący w systemie MS Windows™, przeznaczony jest do przetwarzania sygnałów pomiarowych, w celu wyznaczenia parametrów liczbowych i funkcji charakteryzujących nierówność powierzchni.

Przesuw poprzeczny stolika przedmiotowego profilometru wykorzystywany jest tylko podczas rejestracji zbioru profili, przy pomiarach topografii powierzchni. W celu przesuwu stolika obraca się śruba mikrometryczna, za pomocą silnika skokowego. Wcześniej dokonywano tego za pomocą układów analogowych [6]. Pokrętko śruby mikrometrycznej połączono z wałkiem napędowym silnika skokowego, typu EDS-10. Jako element pośredniczący zastosowano sprzęgło Oldhama. Silnik sterowany jest sygnałami okresowymi, generowanymi za pomocą komputera i karty sterownika PCL 838. Sygnały te dostarczane są do silnika skokowego, za pośrednictwem sterownika mocy. Przesuw poprzeczny stolika jest zsynchronizowany z ruchem posuwisto-zwrotnym przetwornika profilometru, za pomocą zespołu mikrowyłączników. Do obsługi karty sterownika PCL 838 służy podprogram sterujący, napisany w języku Turbo Pascal v. 7.0. Pozwala on programować kierunek obrotu, ilość skoków silnika, prędkość obrotową i czas pracy silnika. Wymienione parametry, tak samo jak krok próbkowania [3], powiększenie pionowe itp., powinny być ustalone przed uruchomieniem procedury pomiaru.

### Oprogramowanie stanowiska

Oprogramowanie stanowiska opracowano wykorzystując dotychczas używany program o nazwie „Analiza parametrów chropowatości”. Program ten, pracujący w systemie DOS, napisany został przez P. Kochaniewicza i przedstawiony w pracy [4]. Przystępując do modyfikacji oprogramowania założono, że nowy program będzie:

- uruchamiany w systemie MS Windows™,
- realizował wszystkie opcje dostępne w poprzedniej wersji programu,
- ułatwiał wykonywanie czynności operatorskich dzięki pomocy myszki,
- umożliwiał dodatkowe operacje, np. powiększanie wykresów profili itp.,
- uzupełniony o dodatkowe parametry i funkcje profilu chropowatości.

Wszystkie wyżej wymienione wymagania spełnia nowy program o nazwie „Parametr-Win”. Wygląd ekranu komputera podczas pracy z tym programem, z widocznym graficznym interfejsem użyt-

kownika, pokazano na rys. 2. Zaczerniony obszar, widoczny w środku ekranu, pokazanego na rys. 2, to fragment profilu powierzchni, przygotowany do eliminacji.

Program Parametr-Win napisano w środowisku programowym Borland Delphi. Pakiet ten jest narzędziem klasy RAD (Rapid Application Development), służącym do szybkiego tworzenia aplikacji. Najszybciej tworzy się graficzny interfejs użytkownika, wykorzystując do tego celu wyłącznie elementy obiektowego programowania wizualnego. Na uwagę zasługuje mechanizm Two-Way-Tools, umożliwiający realizację tych samych zadań w trybie projektowania wizualnego lub w trybie pisania kodu źródłowego. Można skopiować np. wybrany element graficzny do schowka i wkleić go do edytora tekstu, otrzymując odpowiadający temu elementowi graficznemu kod źródłowy. Bazowym językiem programowania jest Object Pascal - obiektowa wersja Turbo Pascala. Z pakietem dostarczana jest biblioteka VCL (Visual Component Library), która zawiera wszystkie elementy potrzebne do tworzenia aplikacji.

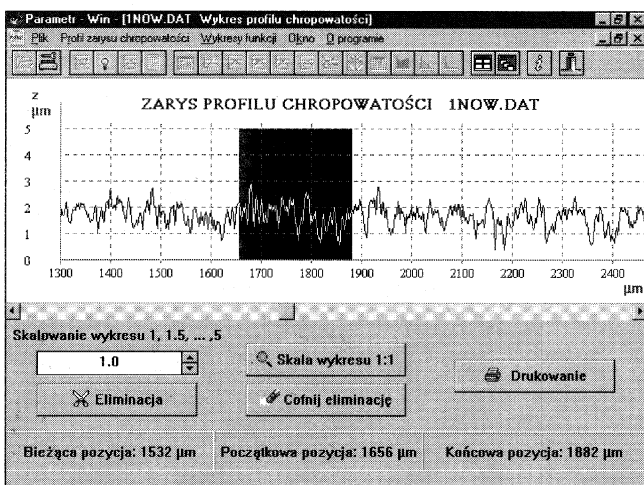
Program Parametr-Win korzysta z plików danych, które otrzymywane są z profilometru, podczas pomiaru nierówności powierzchni. Akwizycja danych dokonywana jest przez program o nazwie „Karta A/C”, pracujący w systemie DOS. Pliki danych mają rozszerzenie \*.dat. Nagłówek pliku z danymi zawiera informacje, określające warunki w jakich dokonano pomiaru. Są to data pomiaru, numer próbki (przedmiotu mierzonego), powiększenie pionowe profilometru, prędkość przesuwu ostrza odwzorowującego profilometru, ilość danych oraz interwał czasowy odpowiadający krokowi próbkowania. Następnie zapisane są wartości kolejnych danych. Tylko tak przygotowane dane akceptowane są przez program Parametr-Win. Mogą być one przeglądane za pomocą tego programu. Obliczenia parametrów nierówności powierzchni dokonywane są dla profilu niefiltrowanego, lub po przeprowadzeniu filtracji. Filtracja dokonywana jest przez wybranie odpowiedniej długości odcinka elementarnego: 0,08 mm, 0,25 mm, 0,8 mm, 2,5 mm lub 8 mm. Przed dokonaniem obliczeń parametrów liczbowych i funkcji, które charakteryzują nierówności powierzchni, wyznaczana jest linia średnia. Program umożliwia szybkie wyznaczenie następujących, znormalizowanych parametrów chropowatości powierzchni:

- parametry wysokościowe:  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_m$ , wg [16], oraz  $R_{tm}$ ,  $R_{t1}$ ,  $R_{t2}$ ,  $R_{t3}$ ,  $R_{t4}$ ,  $R_{t5}$ , wg [15]
- parametry horyzontalne:  $I_r$ ,  $S$ ,  $S_m$ , wg [16],
- parametry kształtu:  $\Delta a$ ,  $\Delta q$ , wg [16].

Ponadto program dodatkowo oblicza wartości parametrów, oznaczonych symbolami  $m$ ,  $r_s$ ,  $w_s$ . Częstotliwość występowania miejscowych wzniesień wzdłuż linii średniej jest równa odwrotności średniego odstępu  $S$  miejscowych wzniesień profilu [1], [9]. Parametr oznaczony symbolem  $r_s$  jest średnim promieniem krzywizny, wyznaczonym dla miejscowych wzniesień profilu powierzchni [9], [10]. Natomiast symbolem  $w_s$  oznaczono średnią wysokość miejscowego wzniesienia profilu, mierzoną względem linii średniej [12]. Program Parametr-Win pozwala także wyznaczyć następujące funkcje statystyczne profilu powierzchni:

- rozkład rzędnych,
  - rozkład miejscowych wzniesień,
  - rozkład promieni krzywizny miejscowych wzniesień,
  - rozkład pochyleń,
  - krzywą nośności,
  - krzywą prognozowanego styku,
- a ponadto niżej wymienione funkcje profilu powierzchni:
- funkcję autokorelacji,
  - gęstość widmową mocy,
  - cepstrum mocy.

Większość wymienionych wyżej funkcji profilu jest dosyć często stosowana i została szeroko opisana w literaturze, między innymi w pracach [1], [9], [12]. Krzywa prognozowanego styku oraz cepstrum mocy profilu są stosowane rzadko. Krzywa prognozowanego styku - związana z krzywą nośności - zaproponowana została

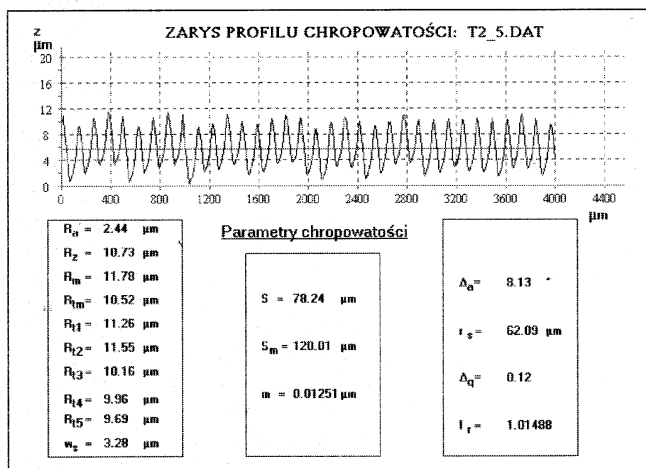


Rys. 2. Wygląd ekranu komputera podczas pracy z programem Parametr-Win

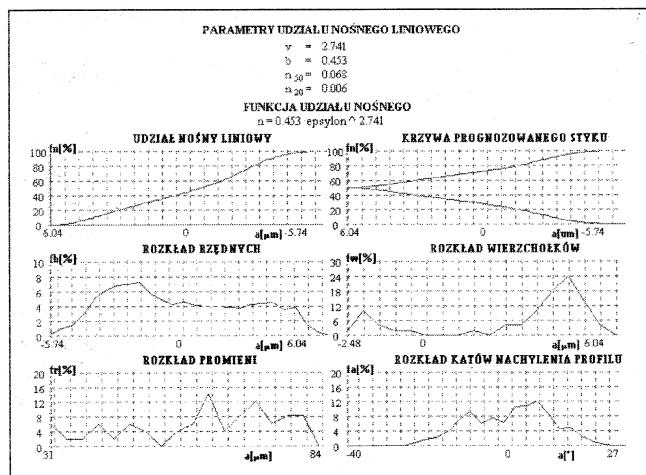
przez prof. J. Kaczmarka [2]. Cepstrum mocy jest definiowane, zgodnie z pracą [11], jako: „gęstość widmowa mocy logarytmu gęstości widmowej mocy”. Funkcja ta pozwala ujawnić multiplikatywne czynniki, pojawiające się w widmie sygnału pomiarowego, odwzorowującego profil powierzchni [12], [5].

### Badania stanowiska

Opracowane stanowisko, w tym oprogramowanie, poddano sprawdzeniu za pomocą wzorców kontrolnych chropowatości powierzchni. Badano także powierzchnie obrabiane różnymi metodami: toczeniem, frezowaniem, szlifowaniem. Poniżej przedstawiono wybrane wyniki badań powierzchni uzyskane za pomocą opracowanego stanowiska. Na rys. 3 pokazano wykres profilu oraz zestawienie parametrów chropowatości powierzchni toczonej. Rys. 4 pokazuje niektóre statystyczne funkcje profilu pokazanego na rys. 3.



Rys. 3. Wykres profilu oraz parametry chropowatości powierzchni otrzymane dla powierzchni toczonej

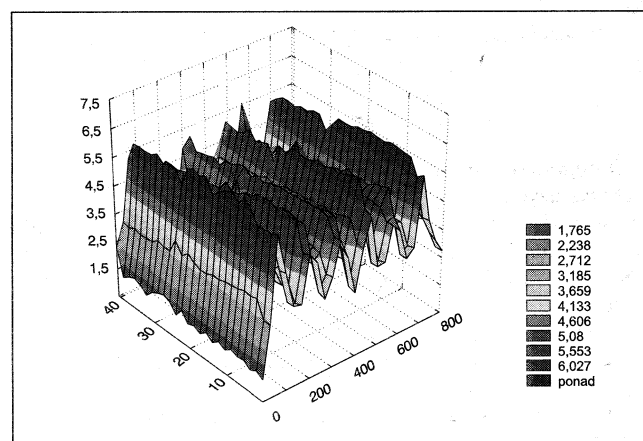


Rys. 4. Wykresy niektórych funkcji statystycznych otrzymane dla profilu pokazanego na rys. 3

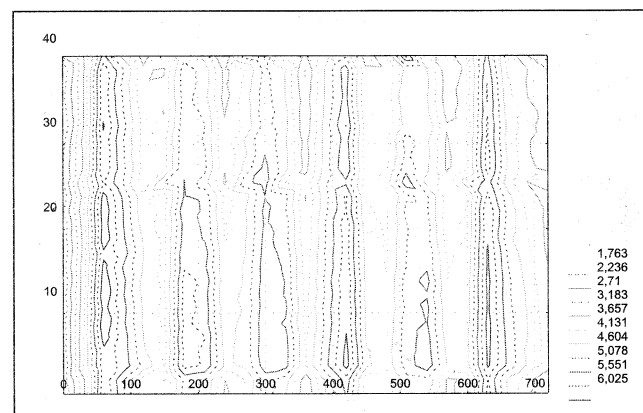
Jak już o tym wspomniano, stanowisko zostało wstępnie przystosowane do pomiarów topografii powierzchni. Prowadzone są dalsze prace nad pełniejszą automatyzacją procesu pomiaru topografii powierzchni. Ponadto opracowywane jest specjalne oprogramowanie przeznaczone do oceny różnych stereometrycznych parametrów charakteryzujących powierzchnię. Problemy związane z pomiarami topografii szeroko opisano między innymi w pracach [9], [12], [13], [14].

Za pomocą stanowiska dokonano badania topografii kilku wybranych powierzchni. Każde badanie rozpoczynano od starannego

ustawienia próbek. W kierunku wzdłużnym próbki były poziomowane za pomocą stolika profilometru. Do prawidłowego ustawiania próbek w kierunku poprzecznym był stosowany dodatkowy stolik. Przed przystąpieniem do pomiarów określano wymiary mierzonego obszaru powierzchni i obliczano czas pomiarów. Np. dla próbki o wymiarach 2.5 x 2.5 mm, dla 40 przejść i przy prędkości 100  $\mu\text{m/s}$  wynosił on około 25 min. Przetwarzania danych dokonano za pomocą programu Statistica. Dzięki temu możliwe było utrzymanie różnych wykresów trójwymiarowych i warstwicznych. Program posiada również duże możliwości analizy statystycznej. Na rys. 5 pokazano przestrzenny wykres, uzyskany dla powierzchni struganej, której parametr  $R_z$  wynosi 40  $\mu\text{m}$ . Na rys. 6 przedstawiono wykres warstwiczny tej powierzchni. Oba wykresy przedstawiane są na ekranie monitora mikrokomputera za pomocą palety kolorów, co ułatwia szybką, wizualną ocenę nierówności powierzchni. Na osiach obu wykresów podano jednostki umowne, automatycznie przyporządkowane przez program Statistica. Jednostki te mogą być przeliczone na konkretne jednostki długości np.  $\mu\text{m}$ . Przewiduje się, że w przyszłości zostanie opracowany specjalny program do graficznej prezentacji topografii powierzchni oraz obliczania przestrzennych parametrów i funkcji nierówności powierzchni.

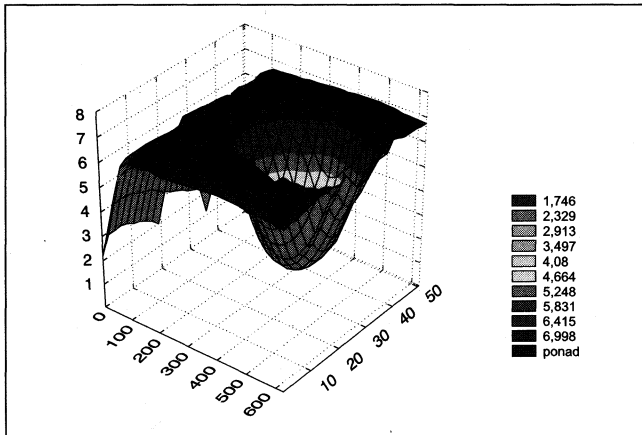


Rys. 5. Wykres przestrzenny powierzchni struganej, ( $R_z = 40 \mu\text{m}$ )



Rys. 6. Mapa warstwiczna powierzchni struganej

W podobny sposób uzyskano pokazany na rys. 7 wykres przestrzenny powierzchni płaskiej, wykonanej ze stopu aluminium PA6N, z wyraźnie widocznym odkształceniem plastycznym. Odkształcenie to ma postać czaszy kulistej, o głębokości maksymalnej 271  $\mu\text{m}$ , z widocznymi bocznymi wypływkami materiału. Zostało ono spowodowane przyłożoną do powierzchni stalową kulą, o średnicy 12,7 mm, którą obciążono siłą około 300 N. Parametry systemu pomiarowego, przy których mierzono powierzchnię zdeformowaną naciskiem kulki, dobrano w taki sposób, aby uzyskać dosyć



Rys. 7. Wykres przestrzenny powierzchni z widocznym odkształceniem plastycznym, spowodowanym naciskiem kulki

wierne odwzorowanie deformacji plastycznej, a jednocześnie nie wydłużać nadmiernie czasu pomiaru. Podstawowe parametry podczas pomiarów tej powierzchni były następujące:

- ilość próbek otrzymanych z pojedynczego profilu - 625,
- prędkość przesuwu ostrza odwzorowującego profilometru - 100  $\mu\text{m/s}$ ,
- interwał czasowy między kolejnymi próbkami - 40 ms,
- całkowity czas pomiaru pojedynczego profilu - 25 s,
- ilość zarejestrowanych profili - 50,
- wzmacnienie profilometru 125 x,
- wymiary pola powierzchni mierzonej - 2,5 x 2,5 mm,
- krok próbkowania w kierunku wzdłużnym - 4  $\mu\text{m}$ ,
- krok próbkowania w kierunku poprzecznym - 0.05 mm.

### Podsumowanie

Przedstawione stanowisko umożliwia przeprowadzanie pomiarów i analizę pojedynczego profilu powierzchni, z wykorzystaniem oprogramowania pracującego w środowisku MS Windows, oraz dokonywanie pomiarów topografii powierzchni. Przeprowadzone badania miały jedynie na celu sprawdzenie możliwości obliczeniowych stanowiska i graficznego przedstawienia danych. Dzięki badaniom stereometrycznym istnieje możliwość wykrycia wad, które są trudno dostrzegalne nawet za pomocą mikroskopu. Takie wady powierzchni trudno jest zarejestrować przy pomocy tradycyjnych metod, wykorzystujących pojedynczy profil. Konieczność rejestracji i analizy takich wad powierzchni występuje niekiedy podczas prowadzenia prac badawczych. Metody wieloprofilowej analizy topografii powierzchni są w takich sytuacjach bardzo pomocne. Skanowanie powierzchni przy pomocy igły profilometru w wielu przypadkach nie zastąpi jednak pomiarów pojedynczego profilu, szczególnie w warunkach przemysłowych, gdzie bardzo istotne jest skrócenie czasu pomiaru nierówności powierzchni.

Stanowisko nie umożliwia jeszcze pełnej automatyzacji pomiarów nierówności powierzchni i wymaga dalszych modyfikacji, głównie programowych. Wskazane jest zwłaszcza zintegrowanie programu akwizycji sygnału pomiarowego z programem analizy profilu. Ponadto konieczne jest opracowanie oprogramowania, służącego do analizy ilościowej stereometrycznych właściwości powierzchni.

### Literatura

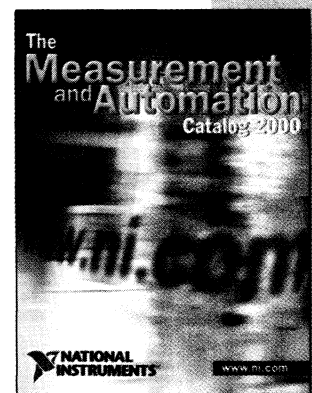
- [1] R. GÓRCKA, Z. POLAŃSKI: Metrologia warstwy wierzchniej. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1983.
- [2] J. KACZMAREK, T. KLIMCZAK: Porównanie dwuwymiarowej oceny chropowatości powierzchni z oceną trójwymiarową. V Konferencja Naukowo-Techn.: Metrologia w procesach wytwarzania, Kraków 1994.
- [3] T. KARPIŃSKI, CZ. ŁUKIANOWICZ: Niektóre problemy związane z trójwymiarową analizą nierówności powierzchni za pomocą komputera. Pomiary, Automatyka, Kontrola 1976, nr 9.
- [4] P. KOCHANIEWICZ: Podstawy analizy komputerowej oceny chropowatości powierzchni. Sympozjum: Makro i mikrogeometria powierzchni. Wydawnictwa Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1990.
- [5] A. KONCZAKOWSKA, A. KONCZAKOWSKI: Algorytm widmowej analizy struktury geometrycznej powierzchni. Sympozjum: Metrologia '80, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1980.
- [6] CZ. ŁUKIANOWICZ: Układ do rejestracji topografii powierzchni technicznych. XVII Międzynarodowa Konferencja Metrologów, Wyd. WSiNz. w Zielonej Górze, Zielona Góra 1985.
- [7] T. MILLER: Przyrządy do pomiaru topografii powierzchni. Mechanik 1997, nr 12.
- [8] T. MILLER: Wieloparametrowe skomputeryzowane urządzenia do pomiaru topografii powierzchni. VII Konferencja Naukowo-Techniczna: Metrologia w technikach wytwarzania maszyn, tom II, Kielce 1997.
- [9] B. NOWICKI: Struktura geometryczna. Chropowatość i falistość powierzchni. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1991.
- [10] W. PIETRUSEWICZ, R. SIERPIŃSKI: Weryfikacja wzorów do obliczeń promieni wzniesień profilów o charakterze losowym. Sympozjum: Makro i mikrogeometria powierzchni. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1990.
- [11] R. B. RANDALL: Frequency analysis. Brüel & Kjer, Nerum, Danmark 1977.
- [12] D. J. WHITEHOUSE: Handbook of Surface Metrology. Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia 1994.
- [13] M. WIECZOROWSKI, A. CELLARY, J. CHAJDA: Charakterystyka chropowatości powierzchni. Przewodnik, Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, Poznań 1996.
- [14] M. WIECZOROWSKI, A. CELLARY, J. CHAJDA: Metody oceny topografii powierzchni w świetle zamierzeń normalizacyjnych. VII Konferencja Naukowo - Techniczna: Metrologia w technikach wytwarzania maszyn, tom II, Kielce 1997.
- [15] DIN 4762/1E: Oberflächenrauheit; Begriffe.
- [16] PN-87/M-04256/02: Struktura geometryczna powierzchni. Chropowatość powierzchni. Terminologia ogólna.

Artykuł recenzowany

## Katalog 2000

### Aparatura kontrolno-pomiarowa oraz układy automatyki przemysłowej

- Oprogramowanie i sprzęt do tworzenia systemów pomiarowych i układów automatyki
- Oprogramowanie wspomagające analizę sygnałów
- Oprogramowanie dla systemów automatyki przemysłowej
- Przyrządy przenośne
- Akwizycja danych
- Wstępne dopasowanie sygnałów
- Rozproszone moduły we-wy
- Instrumenty wirtualne (Instrumenty skonstruowane w oparciu o komputer)
- Systemy modułowe PXI™/CompactPCI
- Sterowanie napędem
- Akwizycja obrazu
- Obsługa interfejsu GPIB
- VXI i VMI
- Interfejs szeregowy
- Sieci przemysłowe
- LabVIEW™ RT



**BEZPŁATNIE!**

**RÓWNIEŻ W POLSCE!**  
Katalog jest także dostępny w formacie elektronicznym na CD oraz na naszej stronie internetowej [www.ni.com](http://www.ni.com)



[www.ni.com/poland](http://www.ni.com/poland) 0 22 528 94 06

National Instruments Polska Sp. z o.o.  
Regus Atrium Plaza • Al. Jana Pawła II 29 • 00-867 Warszawa  
Fax: 0 22 528 91 91 • [ni.poland@ni.com](mailto:ni.poland@ni.com) • [www.ni.com/poland](http://www.ni.com/poland)  
© Copyright 1999 National Instruments Corporation. Wszelkie prawa zastrzeżone.  
Wymienione nazwy firm i produktów są zarejestrowanymi znakami handlowymi.