

**Robert CINCIO, Wojciech KACALAK, Czesław ŁUKIANOWICZ**  
POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY

## System Talysurf CCI 6000 - metodyka analizy cech powierzchni z wykorzystaniem TalyMap Platinum

**Mgr inż. Robert CINCIO**

Autor jest pracownikiem Katedry Mechaniki Precyzyjnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. Specjalizuje się w modelowaniu, analizie i ocenie powierzchni kształtowanych w różnych procesach technologicznych oraz zastosowaniach sztucznej inteligencji.



e-mail: robert.cincio@tu.koszalin.pl

**Prof. dr hab. inż. Wojciech KACALAK**

Autor kieruje Katedrą Mechaniki Precyzyjnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. Specjalizuje się w technologii maszyn, diagnostyce, optymalizacji i automatyzacji procesów technologicznych, budowie i eksploatacji precyzyjnych urządzeń technologicznych, mikro i nanoinżynierii oraz zastosowaniach sztucznej inteligencji. Jest vice przewodniczącym Komitetu Budowy Maszyn PAN.



e-mail: wojciech.kacalak@tu.koszalin.pl

**Dr hab. inż. Czesław ŁUKIANOWICZ**

Autor jest pracownikiem Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. Od 2001 r. kieruje Zakładem Metrologii i Jakości w Katedrze Inżynierii Produkcji. Specjalizuje się w pomiarach struktury geometrycznej powierzchni metodami stykowymi i optycznymi. Opublikował z tego zakresu ponad 100 artykułów i referatów naukowych.



e-mail: czeslaw.lukianowicz@tu.koszalin.pl

### Streszczenie

W artykule przedstawiono zasadę działania, metodykę przeprowadzania pomiarów oraz przykładowe możliwości analiz wykonywanych za pomocą ultraprecyzyjnego systemu pomiarowego Talysurf CCI 6000 produkcji firmy Taylor-Hobson znajdującego się w Laboratorium Mikroinżynierii i Nanoinżynierii Katedry Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Koszalińskiej. Artykuł zawiera również opis aplikacji do sterowania systemem Talysurf CCI 6000 pod nazwą TalyscanCCI oraz aplikacji do analizy wyników pomiarów TalyMap Platinum. Dodatkowo przedstawiono możliwości opracowywanej aplikacji „Realsurface v1.0”, która uzupełnia możliwości analityczne produktów Taylor-Hobson. Artykuł zakończono przedstawieniem różnych możliwości oprogramowania TalyMap Platinum oraz wnioskami.

**Słowa kluczowe:** pomiary powierzchni, ocena powierzchni.

### System Talysurf CCI 6000 – methodic of analysis surface feature with using TalyMap Platinum

#### Abstract

In article introduced rule operation, realizing methodic of measurement and example possibilities of analyses realized with ultraprecise measuring sytem Talysurf CCI 6000 production by Taylor-Hobson, being found in Laboratory Microengineering and Nanoengineering of the Mechanics Precise Department of Koszalin University of Technology. The article contains also description of control application of system Talysurf CCI 6000 under name TalyscanCCI and application to results analysis of measurement TalyMap Platinum. Additionally introduced possibilities elaborated application „Realsurface v1.0” which supplements analytic possibilities of products Taylor-Hobson. The article was finished presentation of different possibilities of software TalyMap Platinum and conclusions.

**Keywords:** surface measurement, surface assessment.

### 1. Wprowadzenie

Intensywny rozwój nanotechnologii determinuje opracowywanie nowych generacji urządzeń technologicznych i pomiarowych [1]. Aby sprostać wysokim wymaganiom technologicznym stawianym

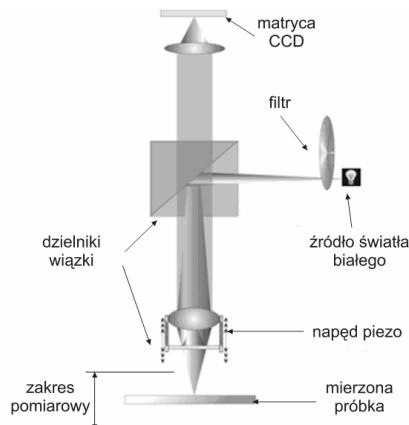
przez producentów, firma Taylor - Hobson opracowała system pomiarowy Talysurf CCI 6000. Jest to obecnie jedno z najnowocześniejszych na świecie narzędzi metrologicznych do wykonywania optycznych, bezstykowych, trójwymiarowych pomiarów i analiz powierzchni technicznych. System ten zakupiła Katedra Mechaniki Precyzyjnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej na potrzeby wykonywanych prac naukowo-badawczych, z uwzględnieniem realizowanych zadań, których celem jest opracowanie najnowszych systemów analizy struktury stereometrycznej powierzchni, w tym powierzchni charakterystycznych dla nowych zastosowań nanoinżynierii.

System ten umożliwia analizę ukształtowania struktury geometrycznej powierzchni z niespotykaną do tej pory rozdzielczością pionową, dochodzącą do 0,01 nm. Rozdzielczość pozioma osiągnięta przez urządzenie, przy zastosowaniu odpowiedniej głowicy pomiarowej jest rzędu 0,36  $\mu\text{m}$ . Dane z pomiarów powierzchni zapisywane są w macierzy 1024x1024 punktów pomiarowych. Pomiary wykonywane są w czasie kilkunastu sekund, w przeciwieństwie do dotychczasowych urządzeń stykowych, dla których profilografowanie powierzchni o podobnej rozdzielczości horyzontalnej wymagało nawet kilku godzin.

Talysurf CCI 6000 jest bardzo uniwersalnym narzędziem metrologicznym, które może być zastosowane w wielu aplikacjach. Elastyczność systemu pozwala na pomiary, oceny i analizy w bardzo szerokim zakresie cech różnych powierzchni technicznych, a kompleksowy program analiz prowadzi do znacznego unowocześnienia oceny powierzchni produkowanych wyrobów. Produkcja systemu metrologicznego Talysurf CCI 6000 oparta jest na sprawdzonych i opatentowanych przez firmę Taylor-Hobson technologiach, a sama konstrukcja zapewnia łatwą eksploatację i możliwości rozbudowy [2]. Zespół badawczy Politechniki Koszalińskiej, mimo tych cech systemu, postanowił opracować autorskie, dodatkowe aplikacje do analizy i oceny topografii powierzchni z wykorzystaniem nowych koncepcji budowania komplementarnych zbiorów parametrów i upowszechnić je w ocenie powierzchni.

### 2. Zasada działania systemu pomiarowego Talysurf CCI 6000

Talysurf CCI 6000 jest narzędziem, którego zasada działania oparta jest na szerokopasmowej interferometrii skaningowej wykorzystanej do generowania trójwymiarowych obrazów powierzchni technicznych. W Talysurf CCI 6000 głowica pomiarowa jest sprzężona z wysoko precyzyjnym napędem piezo, który przemieszcza ją pionowo nad próbką. Dane są rejestrowane przez kamerę CCD i są przetwarzane w bardzo wydajnym komputerze z procesorem typu Xeon. W rezultacie otrzymuje się strukturę geometryczną powierzchni o ultrawysokiej rozdzielczości wartości niezależnej od powiększenia.

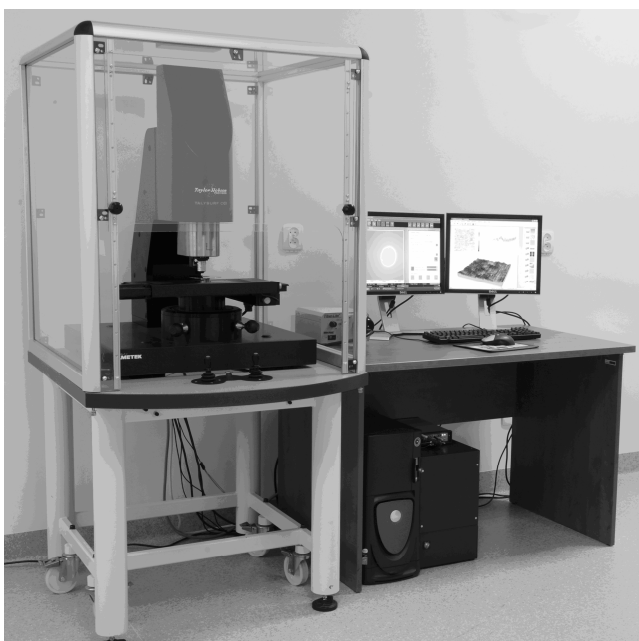


Rys. 1. Schemat działania systemu Talysurf CCI 6000 [2]  
 Fig. 1. Schematic diagram work of system Talysurf CCI 6000 [2]

Górne zwierciadło (rys. 1) kieruje strumień światła z jego źródła w kierunku soczewek obiektywu. Dolne półprzezroczyste zwierciadło dzieli padający strumień na dwa oddzielne strumienie. Każdy z nich wędruje oddzielną drogą optyczną, jeden na małą powierzchnię odniesienia na spodzie soczewki obiektywu, drugi na powierzchnię mierzoną. Strumienie tworzą prążek interferencyjny. Ponieważ wykorzystuje się światło polichromatyczne, interferencja jest rejestrowana tylko wtedy, kiedy dwie ścieżki są tej samej długości. Tylko wtedy informacja zapisywana jest w matrycy CCD. Przez przesuwanie pionowe obiektywu soczewki, z wykorzystaniem opatentowanego przez Taylor-Hobson algorytmu korelacji koherentnej, można znaleźć punkt, w którym występuje maksymalna interferencja dla każdego z pikseli matrycy CCD. Poprzez śledzenie pozycji obiektywu soczewki podczas tego procesu zostaje utworzony trójwymiarowy obraz mierzonej powierzchni [8].

### 3. Budowa systemu Talysurf CCI 6000

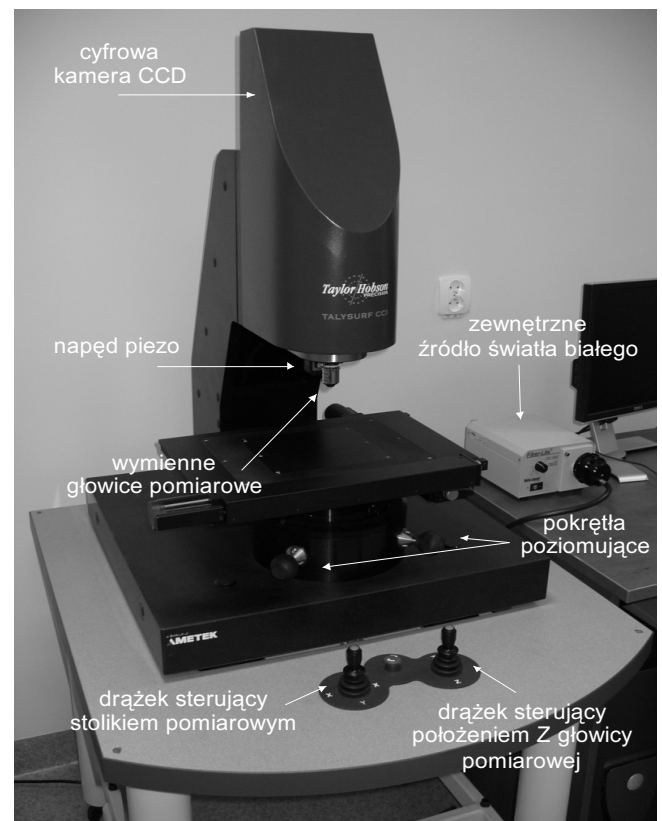
System Talysurf CCI 6000, którym dysponuje Katedra Mechaniki Precyzyjnej składa się z dwóch części: pomiarowej oraz komputerowej analizy wyników i sterowania (rys. 2).



Rys. 2. Stanowisko Talysurf CCI 6000  
 Fig. 2. Station of Talysurf CCI 6000

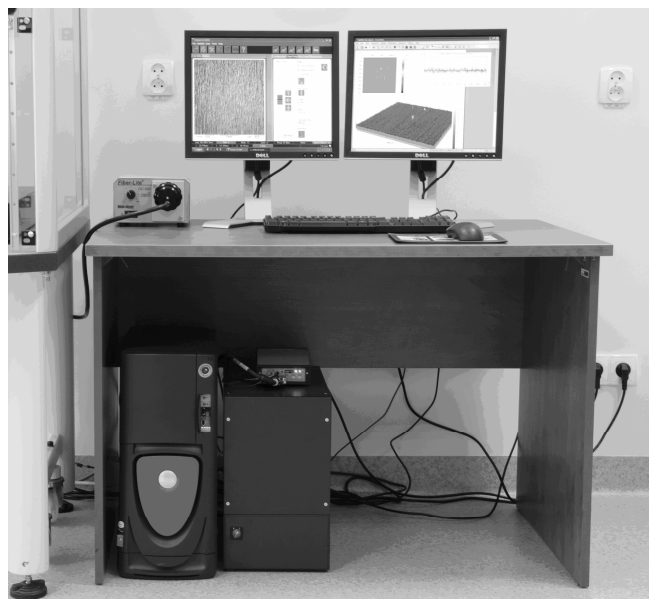
Część pomiarową przedstawia rys. 3. Urządzenie pomiarowe umieszczone jest na granitowej płycie, która leży na kilku poduszkach wibroizolacyjnych znajdujących się w blacie odpowiednio ustalonego i wypoziomowanego stołu. Taka konstrukcja powoduje, że do urządzenia nie przedostają się praktycznie żadne zakłócenia w postaci drgań, które potencjalnie mogłyby zniekształcać wyniki pomiaru. W przedniej części stołu umocowane są dźwigi sterujące stolikiem pomiarowym oraz położeniem Z głowicy pomiarowej. Po między nimi znajduje się przycisk awaryjnego wyłączenia urządzenia w przypadku wystąpienia różnych zdarzeń losowych, zastosowany, aby chronić system przed uszkodzeniem. Pod stolikiem pomiarowym znajdują się dwa pokrętła służące do poziomowania mierzonej próbki. W kopule, zamocowanej na specjalnym ramieniu umieszczone są wszystkie elektroniczne elementy, które umożliwiają pomiar: optyczna głowica pomiarowa, napęd piezo, kamera CCD oraz inne urządzenia przetwarzająco-sterujące. Bardzo ciekawym rozwiązaniem jest umieszczenie źródła światła białego poza urządzeniem pomiarowym. Światło doprowadzane jest z zewnątrz za pomocą specjalnego światłowodu. Ciepło generowane przez lampę oraz wibracje powodowane jej chłodzeniem niekorzystnie wpływały by na warunki pomiaru. Opcjonalnymi, dodatkowymi elementami, w które wyposażony jest system użytkowany w Katedrze Mechaniki Precyzyjnej są dwie głowice pomiarowe:

- o powiększeniu x10 (pole pomiarowe 1.8x1.8mm),
  - o powiększeniu x50 (pole pomiarowe 0.36x0.36mm),
- Zakres przemieszczeń pionowych napędu piezo wynosi 400  $\mu\text{m}$  ruchu pionowego, zaś przesuw stolika pomiarowego w kierunkach XY jest możliwy w zakresie 150x200 mm.



Rys. 3. Stanowisko pomiarowe Talysurf CCI 6000  
 Fig. 3. Measuring station of Talysurf CCI 6000

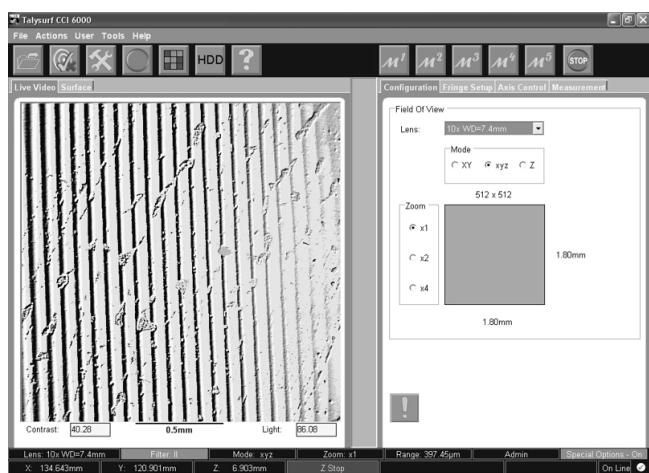
Stanowisko komputerowej analizy wyników i sterowania urządzeniem pomiarowym przedstawione jest na rys. 4. Składa się ono z wysokiej klasy komputera typu Xeon wyposażonego w dwa monitory, urządzeń zasilających system pomiarowy, systemów sterowania napędem piezo, kart pomiarowych i akwizycyjnych.



Rys. 4. Stanowisko komputerowej analizy wyników i sterowania  
Fig. 4. Station of computer results analysis and controls

#### 4. Aplikacja sterująca – TalyscanCCI

Sterowanie urządzeniem pomiarowym umożliwia opracowana przez producenta wyspecjalizowana aplikacja o nazwie TalyscanCCI. Posiada ona bardzo przyjazny i intuicyjny interfejs użytkownika pozwalający bezproblemowo kalibrować urządzenie i wykonywać pomiary. Umożliwia ona przejście całkowitej kontroli nad działaniem systemu pomiarowego. Za jej pomocą można poruszać stolikiem pomiarowym, głowicą, ustalać zakresy pomiarowe, określić zaawansowane sposoby dyskretyzacji powierzchni mierzonej. Przykładowy graficzny interfejs użytkownika umożliwiający określenie powiększenia i rozdzielczości mierzonej powierzchni przedstawia rys. 5.

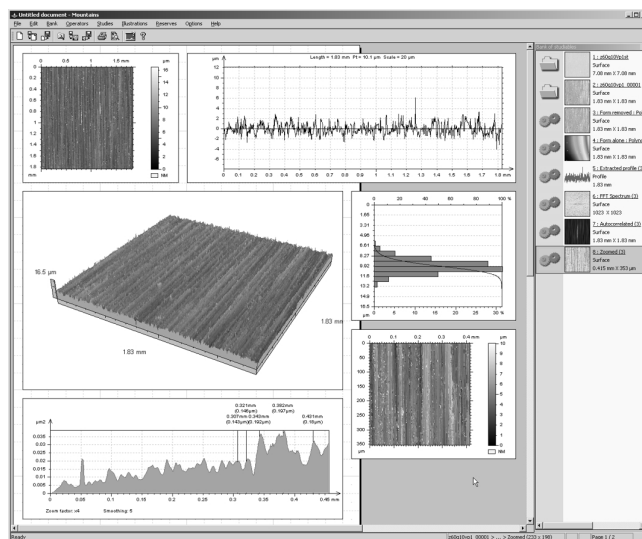


Rys. 5. Przykładowy panel aplikacji sterującej TalyscanCCI  
Fig. 5. The example panel of control application TalyscanCCI

#### 5. Aplikacja do analizy cech powierzchni – TalyMap Platinum

Po prawidłowym zakończeniu pomiaru i ustawieniu odpowiedniej opcji w aplikacji sterującej, dane pomiarowe automatycznie zostają przesłane do aplikacji TalyMap Platinum opracowanej przez producenta, umożliwiającej przetwarzanie danych pomiaro-

wych. Widok ekranu komputera przedstawiający przykładowe analizy otrzymane za pomocą tej aplikacji przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Przykładowy panel aplikacji do analiz TalyMap Platinum  
Fig. 6. The example panel of analysis application TalyMap Platinum

Spśród bardzo szerokiego repertuaru możliwości analitycznych tej aplikacji należy wymienić m.in.:

- poziomowanie, usuwanie błędów kształtu, binaryzację,
- wyrównywanie podziałów, korekcję linii, symetrie,
- wyodrębnianie pojedynczych profili, powiększanie,
- wizualizację 2D i 3D, obroty, przekształcenia morfologiczne,
- filtrowanie, wyznaczanie wartości progowej,
- zmianę rozdzielczości, segmentację binarną motywów,
- maskowanie binarne, wypełnianie punktów niepomierzonych,
- retuszowanie punktów powierzchni, odejmowanie powierzchni,
- przekształcenia Fouriera i autokorelacji,
- wyznaczenie funkcji Abbotta-Firestone'a,
- analizę graficzną parametrów Sk,
- wyznaczenie rozkładu wysokości wierzchołków,
- analizę motywów, analizę fraktalną,
- wyznaczanie 185 różnych parametrów liczbowych dla powierzchni i profilu.

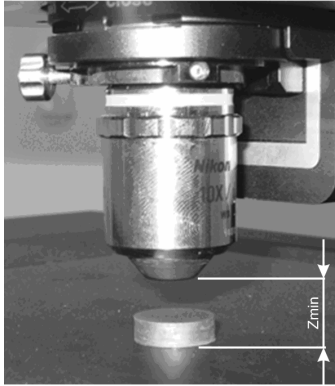
Dodatkową opcją zaimplementowaną w wersji Platinum tej aplikacji jest możliwość „sklejania” powierzchni o mniejszych wymiarach i tworzenia w ten sposób większych obszarów (Advanced Data Stitching).

#### 6. Metodyka przeprowadzania pomiaru w systemie Talysurf CCI 6000

Metodyka przeprowadzania pomiaru przy pomocy opisywanego systemu Talysurf CCI 6000 przebiega w następujących krokach:

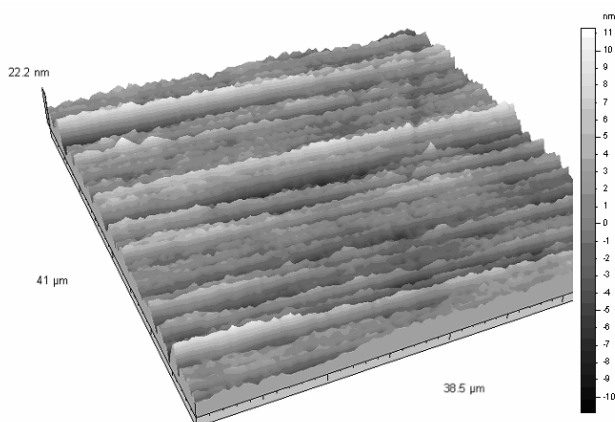
- uruchomienie urządzenia i komputera z oprogramowaniem,
- zalogowanie się jako administrator do systemu sterowania i wycofanie silników sterujących osiami XYZ do pozycji zerowej: czynność ta jest konieczna do ustawienia właściwych zakresów przesuwu stolika w osiach X i Y, a najważniejsze ustawienie właściwego zakresu w osi Z,
- przygotowanie próbki do pomiaru,
- ustawienie i pozycjonowanie próbki na stoliku pomiarowym,
- ustalenie i zablokowanie minimalnej wysokości opuszczenia głowicy pomiarowej (rys. 7): po umieszczeniu i unieruchomieniu badanej próbki na stoliku pomiarowym, wykorzystując umieszczone na stole manipulatory należy ustawić głowice pomiarową bezpośrednio nad badanym miejscem w odległości kilku milimetrów (2-3mm), a następnie wykorzystując aplikację sterującą ustawić tą wysokość jako minimalną (zakładka Axis

Control). Po tym zabiegu nie będzie możliwe takie obniżenie głowicy, które spowoduje kolizję z próbką, mogącą uszkodzić bardzo wrażliwy na przeciążenia napęd piezo. Uszkodzenie tego napędu jest sprawą nie do naprawienia, nie podlega gwarancji i wiąże się z ogromnymi kosztami zakupu nowego napędu.

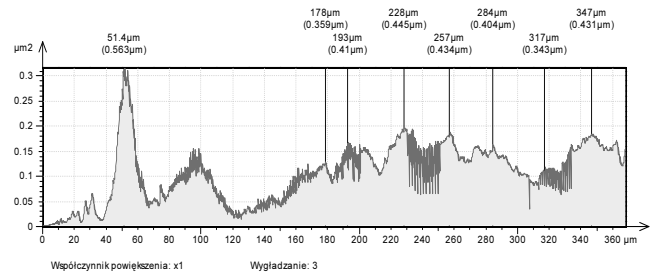


Rys. 7. Widok optycznej głowicy pomiarowej x10 systemu Talysurf CCI 6000  
Fig. 7. View of optical measuring head x10 of system Talysurf CCI 6000

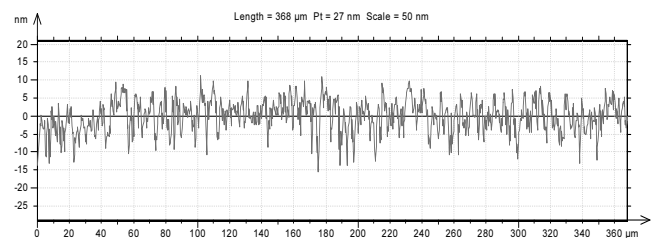
- wstępne ustalenie zakresu pomiarowego: używając tylko manipulatora osi Z, w podglądzie kamery CCD wyświetlanym w aplikacji sterującej należy odszukać poziom w którym znajduje się mierzona powierzchnia. Możliwe są do zaobserwowania prążki interferencyjne. W przeszukiwaniu pomaga regulacja kontrastu oraz regulacja natężenia źródła światła.
  - poziomowanie próbki: wykorzystując pokręta, które znajdują się bezpośrednio pod stolikiem pomiarowym, należy dążyć do tego aby widoczne w podglądzie aplikacji sterującej prążki interferencyjne były jak najszerze oraz pochylone pod kątem 45°. Jeżeli prążki są słabo widoczne lub kąt ich padanie jest nie do określenia można wykonać próbny pomiar i w aplikacji do analiz sprawdzić w którą stronę pochylona jest badana próbka.
  - precyzyjne ustalenie zakresu pomiarowego:
  - w aplikacji sterującej należy wybrać zakładkę Fringe Setup, umożliwi ona precyzyjne ustalenie mierzonego zakresu w osi Z.
  - wprowadzenie nazwy dla badanej próbki i ustawienie zbioru opcji dodatkowych,
  - pomiar właściwy pojedynczej powierzchni,
  - opracowanie wyniku pomiaru w oprogramowaniu TalyMap Platinum.
- Poniżej zostały pokazane przykładowe wyniki analiz powierzchni zmierzonych systemem Talysurf CCI 6000.



Rys. 8. Przykładowa wizualizacja 3D - aksonometria ciągła  
Fig. 8. Example visualization 3D - continuous axonometry



Rys. 9. Średnia spektralna gęstość widmowa wyznaczona dla przykładowej powierzchni  
Fig. 9. Average spectral density for example surface



Rys. 10. Profil 2D wyznaczony z przykładowej powierzchni  
Fig. 10. Profile 2D appointed from example surface

Na rysunku 8 przedstawiony jest fragment dysku twardego komputera, rysunek 9 przedstawia średnią gęstość widmową powierzchni szlifowanej, a kolejny rysunek 10 przedstawia - wybrany profil tej powierzchni.

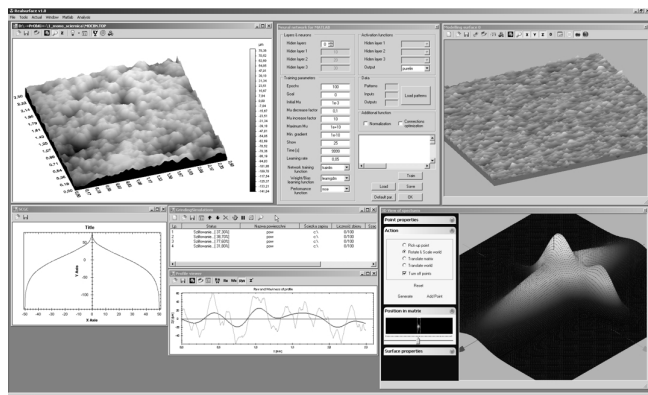
## 7. Opracowane systemy analizy powierzchni technicznych

Mgr inż. Robert Cincio opracowuje nowy system modelowania i analiz powierzchni technicznych o nazwie Realsurface v1.0 (rys. 11) na potrzeby własnej działalności naukowo-badawczej realizowanej pracy doktorskiej oraz jako uzupełnienie i rozszerzenie dla oprogramowania Taylor-Hobson.

System Realsurface v1.0 jest nowym, nowoczesnym narzędziem do modelowania i analizy powierzchni technicznych kształtowanych w różnych procesach technologicznych [3, 4, 5, 6, 7]. Program napisany jest w wersji angielskiej i może pracować pod kontrolą systemów Windows (zalecane są systemy oparte na technologii XP/2003/Vista). Posiada nowoczesny interfejs, obsługuje standard OpenGL (wspomaganie wyświetlania grafiki 3D) oraz Intellimouse. Napisany jest w języku C++/C# oraz assemblerze (dla przyspieszenia niektórych metod obliczeniowych). Możliwości pomiarowe i analizy komputerowej wyników to, m.in.:

- wczytywanie danych generowanych przez profilografometrię stykowe: T2000, T4000, T8000 firmy Hommelwerke, TalyScan 150, Talyscan CCI 6000, Talyscan CLI 2000 firmy Taylor-Hobson,
- generowanie powierzchni technicznych o określonych charakterystykach,
- prognozowanie parametrów charakteryzujących powierzchnię po obróbce z zastosowaniem określonej metody i z uwzględnieniem parametrów i warunków obróbki,
- opracowanie wyników badań mikrostruktury geometrycznej powierzchni w układzie płaskim 2D i przestrzennym 3D,
- poziomowanie, usuwanie pochylenia zarysu, usuwanie błędów kształtu powierzchni itp.,
- statystyczną analizę wyznaczanych parametrów,
- wizualizację 2D i 3D wybranych cech powierzchni,
- wydruk wyników pomiarów i analiz.

Wielosobowy zespół badawczy w Katedrze Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Koszalińskiej opracowuje natomiast kompleksowy zbiór modułów, zorientowanych na przetwarzanie danych, z wykorzystaniem gotowych procedur graficznych z pakietów matematycznych, przeznaczonych do wykorzystania zarówno w ośrodkach akademickich, jak i w centrach naukowych i rozwojowych. Opracowywany system umożliwia wykorzystywanie dodatkowych parametrów, takich, których przydatność w określonych analizach jest wyższa niż parametrów określonych obecnie w dokumentach normalizacyjnych. System analiz zawiera również moduły do automatyzacji wnioskowania i klasyfikacji powierzchni.



Rys. 11. Przykładowe modelowanie powierzchni i analizy wykonywane w systemie Realsurface v1.0

Fig. 11. The example modeling of surface and analyses realized in system Realsurface v1.0

## 8. Podsumowanie

Talysurf CCI 6000 jest bardzo nowoczesnym i uniwersalnym narzędziem metrologicznym, które może być zastosowane

w wielu aplikacjach. Elastyczność systemu pozwala na pomiary, charakteryzację i analizy szerokiego repertuaru różnych powierzchni technicznych. Jest zaprojektowany tak by być elastycznym, łatwym w użyciu, łatwym w eksploatacji.

## 9. Literatura

- [1] A. Mazurkiewicz: Nanonauki i nanotechnologie. Stan i perspektywy rozwoju. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego. Radom 2007.
- [2] Materiały Taylor-Hobson Polska.
- [3] R. Cincio, W. Kacalak: Wybrane problemy wnioskowania o topografii powierzchni na podstawie zarysów. X Warsztaty Naukowe PTSK Symulacja w badaniach i rozwoju, str. 83-90, Kraków-Zakopane 2003.
- [4] R. Cincio, W. Kacalak: Wybrane problemy modelowania topografii powierzchni technicznych o określonych charakterystykach. X Warsztaty Naukowe PTSK Symulacja w badaniach i rozwoju, str. 75-82, Kraków-Zakopane 2003.
- [5] R. Cincio, W. Kacalak, S. Makuch: Metoda i algorytm generowania obrazów powierzchni o parametrach zgodnych z parametrami powierzchni szlifowanych. Zeszyty Naukowe Wydziału Mechanicznego Nr. 36, str. 203-210, Koszalin 2004.
- [6] R. Cincio, W. Kacalak: Nowe narzędzia do modelowania i analizy powierzchni kształtowanych w różnych procesach technologicznych. XI Warsztaty Naukowe PTSK Symulacja w badaniach i rozwoju, str. 176-183, Augustów 2004.
- [7] R. Cincio, W. Kacalak: System do analizy i oceny topografii powierzchni technicznych. Kongres Metrologii, Pomiary Automatyka Kontrola 9'2007, str. 515-518, Kraków 2007.
- [8] Cz. Łukianowicz: Podstawy pomiarów nierówności powierzchni metodami rozpraszania światła, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2001.

Artykuł recenzowany

## INFORMACJE

### Najnowsza książka Wydawnictwa PAK



Na przełomie sierpnia i września ukazała się kolejna książka Wydawnictwa PAK autorstwa Tomasza Boczara pt.: Energia wiatrowa. Aktualne możliwości wykorzystania.

W niniejszej książce przedstawiono aktualne możliwości wykorzystania energii wiatru do produkcji energii elektrycznej na obszarze Europy, ze szczególnym uwzględnieniem potencjalnych zasobów i stopnia ich wykorzystania na terenie Polski, a także województwa opolskiego. Ponadto scharakteryzowano podstawowe założenia polityki krajów UE oraz strategii energetycznej Polski wobec OZE.

Książka skierowana jest przede wszystkim do studentów oraz wykładowców prowadzących zajęcia dydaktyczne na kierunkach elektrycznych, jak również związanych z inżynierią i ochroną środowiska. Opisane zagadnienia mogą stanowić materiał dydaktyczny związany z aktualnymi możliwościami oraz przyszłymi kierunkami w pozyskiwaniu energii wiatru do produkcji energii elektrycznej.

#### Zamówienia prosimy składać na adresy PAK:

Wydawnictwo PAK  
00-050 Warszawa, ul. Świętokrzyska 14A,  
tel./fax: 022 827 25 40

Redakcja PAK  
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, p. 30b,  
tel./fax: 032 237 19 45, e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl