

Dr Mirosław Malec
Politechnika Lubelska
Dr inż. Piotr Penkała
Politechnika Lubelska

WYKORZYSTANIE WSPOMAGANIA KOMPUTEROWEGO DO ANALIZY STANU POWIERZCHNI CZĘŚCI MASZYN

W referacie przedstawiono przykład zastosowania wspomaganie komputerowego z wykorzystaniem programu TalyProfile do analizy stanu powierzchni jako jednego z ważnych czynników określających własności, w tym tribologiczne, badanego materiału. Zaprezentowano możliwości programu TalyProfile w odniesieniu do badań wykonywanych urządzeniem Surtronic 3+. Następnie omówiono stanowisko badawcze zbudowane na bazie Surtronic 3+. W dalszej kolejności przedstawiono metodykę wykonywania pomiaru stanu powierzchni, w tym parametrów chropowatości i falistości. Pokazano zalety i wady metody stykowej badania powyższych parametrów.

THE USES OF COMPUTER AIDED FOR ANALISES OF MACHINE PARTS SURFACE CONDITION

The article describes one of the possible uses of the Talyprofile computer program for analyzing the surface condition as one of the important factors defining the properties of the material analyzed including the tribologic properties. They have presented possibilities of TalyProfile software in relation to study of Surtronic3+ machine. Next they discussed research stand by support of Surtronic3+. And next they have presented methodic of surface condition measure, particularly in roughness and waviness parameters. They have presented advantages and faults of contact method of study this parameters.

WSTĘP

Podstawowym obiektem badania, konstruowania, uszlachetniania (w procesie wytwarzania) i użytkowania (w procesie eksploatacji) jest powierzchnia ciała stałego. Od wielu lat i w wielu ośrodkach naukowo-badawczych powierzchnia ciała stałego – narzędzi, części maszyn, elementu konstrukcyjnego lub gotowego wyrobu – jest obiektem zabiegów fizycznych i chemicznych, które nadają jej żądane cechy. Powierzchnia bowiem w zasadniczy sposób wpływa na właściwości użytkowe przedmiotów i wyrobów. Szereg zjawisk fizyko-chemicznych, takich jak: kataliza chemiczna, korozja, zużycie, adhezja, absorpcja (fizyczna i chemiczna), flotacja, zależy i dokonuje się na powierzchni materiału lub też przy jej udziale [1]. Wszystkie powierzchnie rzeczywiste ciał stałych zawsze wykazują odstępstwo od idealnej gładkości – są mniej lub bardziej nierówne. Zespół odstępstw od powierzchni idealnie gładkiej, odzwierciedlający stan kształtu powierzchni rzeczywistej, określa struktura stereometryczna powierzchni, w sensie normatywnym stanowiąca przestrzenny układ elementów geometrycznych powierzchni rzeczywistej uwarunkowany kształtem, rozmiarem, rozmieszczeniem nierówności, które są zwykle śladami obróbki (na przykład odlewanie, walcowanie, skrawanie) lub zużycia. Struktura stereometryczna powierzchni dla materiału o określonej budowie strukturalnej zależy od operacji obróbkowej. Stanowi ona odwzorowanie kinematyczno-geometryczne:

- w procesie technologicznego wytwarzania powierzchni: ruchu narzędzia po powierzchni obrabianej i nierówności narzędzia (stempla, noża, formy odlewniczej)
- w procesie eksploatacji powierzchni: ruchu i nierówności powierzchni współpracującej (przeciwpowierzchni).

Ślady współdziałania stanowią podstawowy element struktury stereometrycznej powierzchni. Należy zauważyć, że są one częściowo zmieniane przez inne zjawiska fizykochemiczne towarzyszące operacji obróbkowej lub eksploatacji. Jak widać struktura stereometryczna powierzchni narzędzi, elementów maszyn i urządzeń wpływa w bardzo istotny sposób na ich właściwości eksploatacyjne, np.: odporność na zużycie, sztywność połączeń stykowych, wytrzymałość zmęczeniową, przewodność cieplną, emisyjność, opory przepływowe, szczelność. Strukturę powierzchni tworzą nierówności powierzchni czyli wzniesienia i wgłębienia będące zwykle - jak już wspomniano - śladami zużycia bądź obróbki. Nierówności powierzchni biorą bezpośredni udział we współdziałaniu powierzchni obrabianej z ośrodkiem ciekłym lub gazowym otaczającym przedmiot lub stykającymi się z nimi nierównościami przeciwpowierzchni. Za ich pośrednictwem przekazywane są skutki współdziałania (ciepło, nacisk, dyfuzja i inne) w głąb materiału (warstwy wierzchniej). Nierówność powierzchni określają parametry chropowatości i falistości oraz wady struktury geometrycznej powierzchni. Chropowatość powierzchni jest jednym z ważniejszych parametrów określających stan powierzchni, a tym samym wpływającym na eksploatacyjne właściwości warstwy wierzchniej ciała stałego. Dzięki postępom nauki i techniki oznaczenie jej wartości stało się możliwe nie tylko w warunkach laboratoryjnych, ale także w warunkach przemysłowych i terenowych. Istnieje wiele metod i przyrządów służących do pomiaru profilu powierzchni. Rozwój technik komputerowych i ich zastosowanie w wielu dziedzinach badań, w tym w trybologii, pozwoliło przyspieszyć i uprościć metody pomiarowe oraz podnieść ich jakość. Jednym z przykładów zastosowania tej technologii jest program TalyProfile. Program ten jest przeznaczony do obsługi urządzenia pomiarowego Surtronic 3+. Dzięki niemu urządzenie pozwala w stosunkowo szybki i prosty sposób określić szereg parametrów stanu powierzchni warstwy wierzchniej. Zarówno program, jak i samo urządzenie pomiarowe, powstały w angielskiej firmie Taylor&Hobson.

OPIS PROGRAMU

Opisywany program umożliwia przeprowadzenie na stanowisku badawczym następujących badań:

- określenie profilu badanej powierzchni i jego wyświetlenie wraz z możliwością interaktywnego zbliżenia;
- przedstawienie badanego profilu w formie załamań i fal, z interaktywnym wyborem filtra i granicy;
- analizy widma badanego profilu;
- interaktywne badanie rozmieszczenia amplitud oraz współczynnika nośnego (krzywa Abbott-Firestone);
- wykonanie studium graficznego elementów falistych i załamań;
- pomiar odległości pomiędzy dwoma punktami profilu;
- oszacowanie międzynarodowych, standardowych parametrów profilu (jak np.: R_a , R_p , R_s i inne), zgodnie z DIN 4776 i ISO 12085;
- oszacowanie powierzchni wgłębienia w profilu (dołączonej jako przestrzeń pionowa).
- wyświetlanie informacji o pomiarze i stworzenie karty identyfikacyjnej profilu;
- wyświetlanie i edycja dowolnego tekstu dołączonego do profilu.

Główne cechy programu to:

- wczytywanie profili o dowolnym rozmiarze danych nie większym od 8192 jednostek profilu. Kompatybilnym formatem odczytu jest format SURF (.PRO DOS) oraz format RTH (.PRF DOS);
- pomiar profili z wykorzystaniem różnych przyrządów (Surtronic 3+, TalySurf...);
- zapisywanie profili w formacie SURF (.PRO DOS) oraz w formacie RTH (.PRF DOS),
- wstawianie / wysyłanie profili ASCII (.PRA DOS);
- bank profili umożliwiający natychmiastowy dostęp do dowolnego profilu, gwarantowany przez narzędzia innego profilu, uruchamiane z dysku;
- uproszczony poziom dostępu oraz wersja pełna, chroniona hasłem;

Program posiada operatory umożliwiające:

- wyrównywanie profili przez oddzielenie od ostatniej krawędzi, w całym profilu lub w jego części;
- całkowite odwrócenie oraz symetrię (lewa i prawa strona);
- zbliżenie każdego fragmentu;
- zastosowanie wartości progowej jednego lub dwóch poziomów;

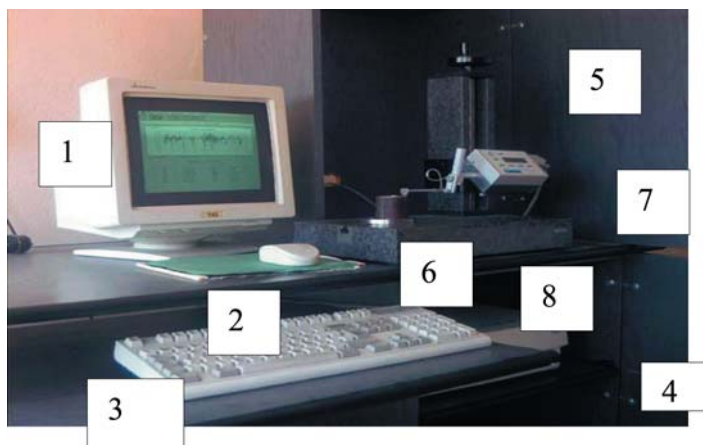
Program umożliwia kopiowanie, przenoszenie lub kasowanie plików bez konieczności wychodzenia z programu. Możliwa jest edycja nagłówka profilu.

Ustawienia obejmują również:

- możliwość wyboru pięciu języków bezpośrednio z programu;
- ustawienia daty i czasu z programu;
- optymalne ustawienia ekranu monitora;
- modyfikowanie każdego z badań przy użyciu odpowiednich klawiszy;
- zapisanie i ponowne użycie ustawienia klawiszy;
- ustawienie większości narzędzi przy użyciu okien dialogowych;
- w celu zabezpieczenia ustawień skalowania użycie hasła.

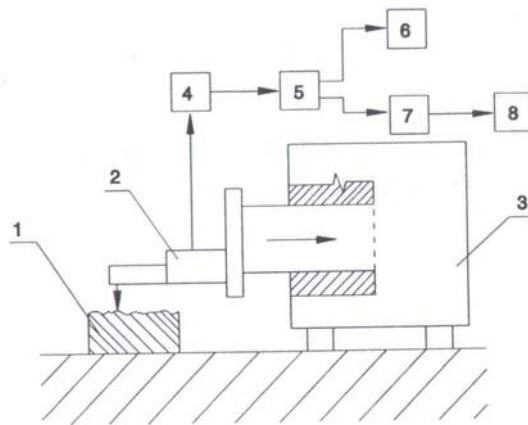
OPIS STANOWISKA

Na stanowisko badawcze znajdujące się w Katedrze Podstaw Techniki Politechniki Lubelskiej składają się następujące elementy: zestaw komputerowy z odpowiednim oprogramowaniem w postaci programu TalyProfile oraz profilografometr Surtronic3+. Rys. 1 przedstawia omawiane stanowisko badawcze.



Rys. 1. Opis stanowiska badawczego: 1 - monitor, 2 - myszka, 3 - klawiatura, 4 - komputer, 5 - kolumna poziomowania, 6 - badana próbka, 7 - pulpit sterujący profilografometrem, 8 - podstawa kolumny

Pomiarów parametrów stanu powierzchni dokonuje się metodą stykową. Metoda polega na tym, iż głowica pomiarowa przyrządu przesuwa się ze stałą prędkością wzdłuż mierzonego profilu. Głowica pomiarowa składa się z ostrza odwzorowującego (penetratora), ślizgacza i przetwornika pomiarowego. Ostrze odwzorowujące dzięki naciskowi pomiarowemu styka się z powierzchnią mierzonego przedmiotu. W wyniku przesuwania ostrza po powierzchni zmienia się jego położenie względem pozostałych elementów głowicy (w tym płozy ślizgacza). Zmiany położenia zależne są od nierówności powierzchni, jakie spotyka ostrze na drodze swego ruchu. Przetwornik zamienia zmiany wzajemnego położenia ostrza i innych elementów głowicy na sygnał elektryczny. Sygnał ten jest wzmacniany i poddany filtracji celem usunięcia niepożądanych składowych, jak np. falistość, odchyłki kształtu. Sygnał może być zarejestrowany lub poddany obróbce celem wyznaczenia wartości parametrów chropowatości. Zasada pomiaru metodą stykową została przedstawiona na rys. 2, zaś rys. 3 przedstawia część pomiarową stanowiska badawczego.

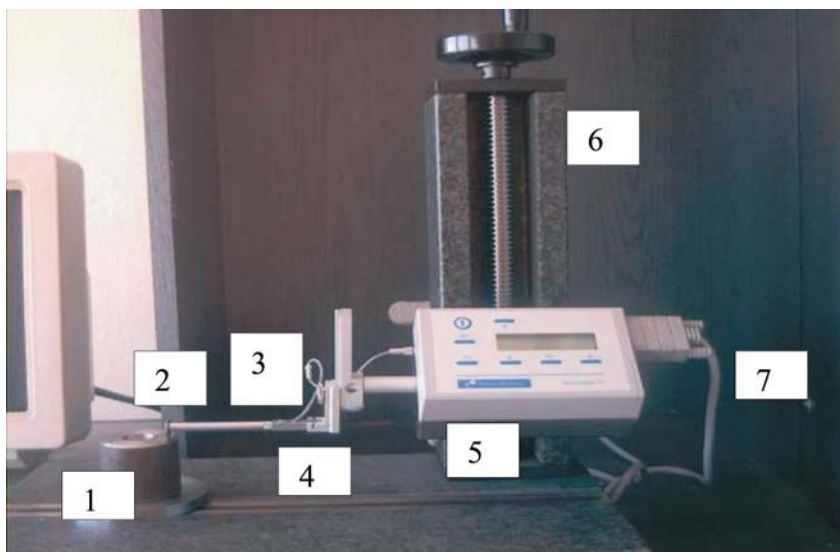


Rys. 2. Zasada metody stykowej pomiaru chropowatości powierzchni: 1 - mierzony przedmiot, 2 – głowica pomiarowa, 3 - mechanizm posuwu, 4 - wzmacniacz, 5 - filtr, 6 - rejestrator, 7 - moduł opracowujący sygnał pomiarowy, 8 - wskaźnik [7]

PRZEPROWADZENIE POMIARU

Pomiar może być kontrolowany przez komputer lub urządzenie *Surtronic*. Jeżeli chcemy kontrolować pomiar za pomocą komputera, należy wskazać na przycisk **Uruchom z PC**. Urządzenie *Surtronic 3+* automatycznie się uruchomi, a dane zostaną przesłane w ostatniej fazie pomiaru. Jeśli natomiast chcemy kontrolować pomiar za pomocą *Surtronic* używamy przycisku **Uruchom z Surtronic**, a następnie naciskamy na przycisk **Uruchom**. Ta ostatnia opcja umożliwia wykonanie pomiarów profilu, przeprowadzanych jedynie przy pomocy programu *Surtronic* (profil jest zapisany w pamięci urządzenia *Surtronic*), a następnie przesłanie do programu *TalyProfile* poprzez naciśnięcie przycisku **PRI** na przyrządzie. Jeśli ilość danych jest zbyt mała lub zbyt duża w przypadku wyboru złych ustawień, pomiar może być nieprawidłowy, a przesyłanie danych przerwane. Należy sprawdzić status pomiaru, aby upewnić się, że profil jest przesyłany. Jeśli program *TalyProfile* nie potwierdza odbioru żadnego profilu w ciągu 45 sekund, operacja pomiaru jest przerwana. Przed przystąpieniem do pomiaru należy ustawić czas i datę. Wpłyne to na przejrzystość danych w gromadzonym banku profili. Opcja **zmiana bieżącego czasu i daty** pozwala zmienić datę i czas w komputerze poprzez użycie strzałek lub bezpośrednio przez wprowadzenie nowych wartości w odpowiednie pola. Opcja **liczba znaczących cyfr** pozwala

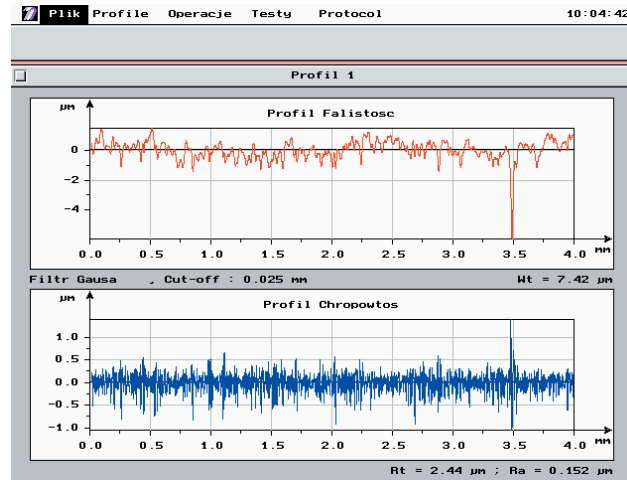
na sprecyzowany wybór formy wyświetlanych rezultatów liczbowych (pionowa skala, parametry itd.).



Rys. 3. Część pomiarowa stanowiska badawczego: 1 – próbka, 2 – ostrze pomiarowe (odzworowujące), 3 – przewód łączący z panelem głównym sterowania, 4 - ramię pomiarowe, 5 – główny pulpit sterujący, 6 – kolumna poziomowania, 7 – przewód łączący profilografometr z komputerem

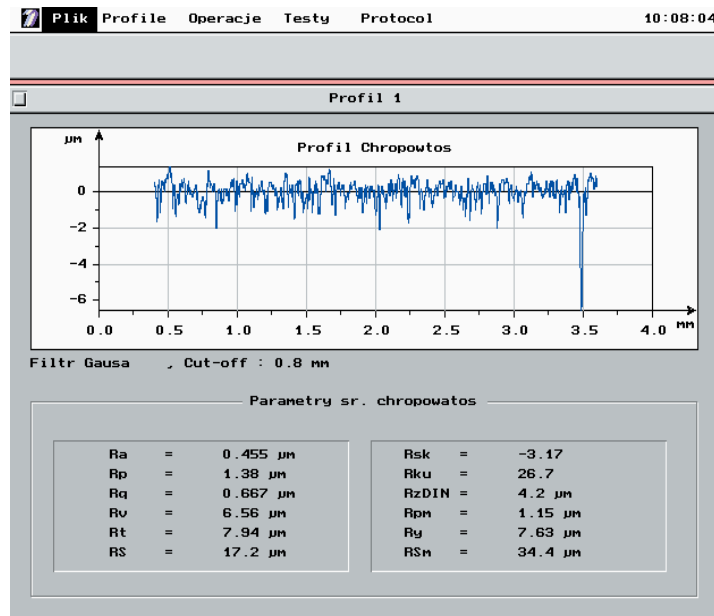
Opcja **wybór zasady funkcjonowania menu** pozwala pracować w menu zarówno dla komputera Macintosh – poprzez naciśnięcie przycisku, aby otworzyć i zwalnianie przycisku myszy lub tak, jak w przypadku Windows, przez naciśnięcie, aby otworzyć menu. Menu pozostaje otwarte, aż wybierzemy żądany temat. Opcja **lokalizacja** pozwala na wybór ustawień języka. Aby zmienić ustawienia językowe należy wybrać odpowiednią flagę, a następnie przycisk OK. Menu i język zmieniają się automatycznie. Język nie może być zmieniany w czasie wczytywania profilu. Lokalizacja pozwala także wybrać **system jednostek**. Program TalyProfile może funkcjonować zarówno w systemie jednostek metrycznych, jak i w systemie jednostek calowych. Musimy wybrać system jednostek, zanim wczytamy profil. Kiedy wybierzemy jednostki cal, profile wykorzystujące system metryczny są przekształcane na jednostki cal i vice versa. Profile zawsze są zapisywane na dysku w jednostkach metrycznych, a przekształcenie ma miejsce podczas zapisywania lub ładowania operacji. Obsługa programu nie przysparza większych trudności operatorowi profilografometru. Należy jednak przestrzegać podanych przez producenta wytycznych niezbędnych do przeprowadzenia prawidłowego pomiaru. Zastosowanie zasad statystyki do opracowania uzyskanych wyników jest elementem niezbędnym w prezentacji materiału badawczego. Materiał ten dzięki obróbce komputerowej może być przedstawiony w postaci graficznej (kolor), liczbowej lub też w postaci wydruku gotowej karty pomiarowej (paszportu badawczego). Profil krzywej umożliwia wyświetlenie profilu na ekranie monitora. Przyciski od 1 do 3, znajdujące się na panelu, umożliwiają wybór kolorów dla różnych elementów wykresu (odpowiednio dla tła, osi i krzywej). Pasek przewijania znajdujący się poniżej profilu pozwala na poruszanie się wzdłuż profilu, kiedy jest on powiększony (na ekranie monitora jest widoczna jedynie część profilu). Rozmiar paska i jego pozycja oddają widoczną proporcję profilu w stosunku do całego profilu. Na dole ekranu widoczne są cechy charakterystyczne

profilu (jego długość i skala) wraz z cechami charakterystycznymi widocznego fragmentu (jego długość i współczynnik powiększenia). Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów wykonane na prezentowanym stanowisku badawczym po opracowaniu ich w programie TalyProfile. Na przykład wybierając w programie zakładkę **falistość** i **chropowatość** z menu plik otrzymujemy wykres przedstawiony na rys. 4.



Rys. 4. Profil falistości i chropowatości z zastosowaniem filtra Gaussa

Przy wyborze opcji **parametry załamania** w zakładce plik, program pokazuje nam wykres oraz główne parametry chropowatości badanej powierzchni (rys. 5)

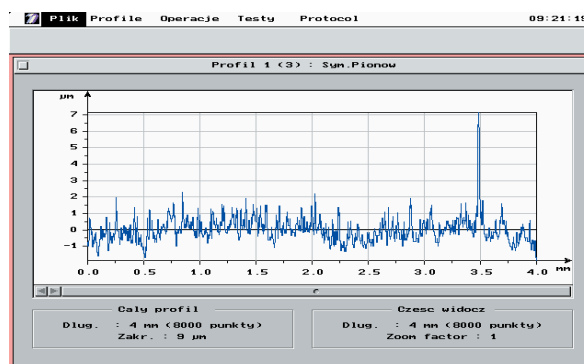


Rys. 5. Chropowatość profilu oraz jego parametry

Badania, które pokazują wysokości w formach dwuwymiarowych (profilach), wykorzystują automatycznie całą dostępną skalę: krzywa jest ustawiona w taki sposób, aby ukazujący się na ekranie monitora wykres miał możliwie największą formę. Niekiedy jednak chcemy porównać niektóre profile. Istnieje zatem możliwość ustawienia **pionowej skali**, która umożliwi wizualizację kilku profili w takich samych warunkach.

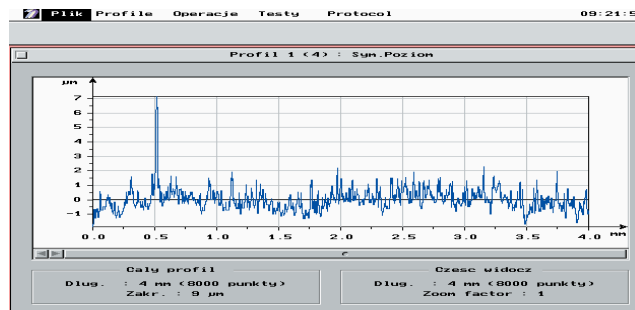
W tym celu należy rozwinąć z górnego paska zakładkę **PLIK** i zaznaczyć symetrię pionową. Polecenie to musi być zastosowane dla każdego profilu osobno. W ten sposób można uzyskać

ujednolicanie pokazywanych wysokości profili. Na rys. 6 przedstawiono profil po zastosowaniu symetrii pionowej.



Rys. 6. Symetria pionowa badanego profilu

Wybierając zakładkę **PLIK**, a następnie hasło symetria pozioma, otrzymujemy obraz wybranego dowolnego profilu w ujednoliconej skali poziomej rys. 7.



Rys. 7. Symetria pozioma badanego profilu

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Jak już wspomniano metodą pomiaru stosowaną na prezentowanym stanowisku badawczym jest metoda stykowa pomiaru chropowatości powierzchni. Jest ona wykorzystywana w wielu przyrządach, takich jak profilografy dające wykresy badanego profilu, profilometry umożliwiające odczyt bezpośredni wartości liczbowych wielu parametrów chropowatości i profilografometry łączące te obie funkcje. Są one najbardziej uniwersalnymi przyrządami do badania chropowatości powierzchni. Przyrządy różnią się między sobą głównie rodzajem przetwornika (indukcyjne, piezoelektryczne, fotooptyczne, interferencyjne). Coraz częściej są wyposażone w specjalizowane systemy mikrokomputerowe, a obsługa przyrządu odbywa się w formie dialogu z komputerem. Wadami omawianego urządzenia i wspomagającego go programu - (oprócz dokładności wynikających z ograniczeń samej metody pomiaru - metody stykowej i ograniczeń fabrycznych) są:

- niekompatybilność ze współczesnymi systemami operacyjnymi, program pracuje w DOSie i „nie lubi” współpracować pod „Windows”;
- duża czułość na spadki prądowe baterii zasilającej urządzenie, częste braki transmisji danych pomimo poprawnej pracy samego urządzenia;
- pomimo możliwości wyboru odcinka „cut-off” z kilku wariantów, program często zawieszał się przy wyborach innych niż 0,8 mm;

- duża czułość programu na błędne i czasami sprzeczne wewnętrzne ustawienia profilografometru. Program zawiesza się bez wcześniejszego sygnalizowania błędów przy poprawnej pracy – dokonywanie pomiarów przez samo urządzenie;
- brak trybu pomocy pracy z poziomu programu;
- ręczne wprowadzanie ustawień na panelu czołowym urządzenia, a nie z programu. Jest to jednak zaleta w warunkach terenowych, albowiem nastawy i wyniki liczbowe badań nie wymagają sprzętu komputerowego;
- duża wrażliwość głowicy pomiarowej na warunki brzegowe pomiaru. Istnieje możliwość jej uszkodzenia. Przy zbyt dużym zakresie badanej wielkości występującym na brzegu powierzchni badanej, program ulega zawieszeniu;
- brak możliwości zrzutu z ekranu w dowolnym czasie.

Część tych zastrzeżeń wynika z ograniczeń fabrycznych urządzenia, a część z faktu, iż prezentowane oprogramowanie należy do jednych z pierwszych dla tego typu urządzeń i zapewne wspomniane niedogodności zostały w późniejszych wersjach udoskonalone przez producenta. Pomimo tych niedogodności należy jednak stwierdzić, że prezentowany w pracy program, jak i profilografometr Surtronic 3+, są przyjaznym i pomocnym instrumentem badawczym. Uzyskane za ich pomocą wyniki badań umożliwiają szybką interpretację i prezentację stanu powierzchni warstwy wierzchniej zgodnie z normami światowymi oraz stosowanymi w tej dziedzinie standardami. Przedstawione stanowisko badawcze i praca z jego udziałem może przyczynić się także do poszerzenia warsztatu badawczego.

LITERATURA

- [1] Burakowski T., Roliński E., Wierzchoń T.: Inżynieria powierzchni metali. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1992.
- [2] Hebda M., Wachal A.: Trybologia. WNT, Warszawa 1980
- [3] Kamieńska B., Kujan K.: Laboratorium metrologii wielkości geometrycznych. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej 2002.
- [4] Malinowski J.: Pomiary długości kąta. WNT. Warszawa 1974.
- [5] Nowicki B.: Struktura geometryczna. Chropowatość i falistość powierzchni. WNT, Warszawa 1991.
- [6] PN – 89/M. – 04256/04. Falistość powierzchni.
- [7] PN- 87/M.- 04256/03. Pomiary chropowatości powierzchni, Technologia.
- [8] PN – 87/M. – 04251. Chropowatość powierzchni.
- [9] PN – 73/M.- 04250. Warstwa wierzchnia. Nazwy i określenia.