

Dr hab. inż. Czesław Łukianowicz,  
prof. nadzw. Politechniki Koszalińskiej,  
Politechnika Koszalińska  
Wydział Mechaniczny  
Katedra Inżynierii Produkcji

Koszalin, 10 września 2018 r.

## RECENZJA

### rozprawy doktorskiej mgra inż. Karola Grochalskiego pt. **Kompensacja wpływu warunków termicznych na profilometryczne pomiary nierówności powierzchni**

Promotor rozprawy doktorskiej: Pan prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski

Promotor pomocniczy: Pan dr inż. Bartosz Gapiński

Podstawa opracowania recenzji: pismo DM.63.398.2018 z dnia 10 lipca 2018 r., Pana dr hab. inż. Olafa Ciszaka prof. nadzw. PP, Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej.

#### 1. Przedmiot recenzji

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgra inż. Karola Grochalskiego pt. *"Kompensacja wpływu warunków termicznych na profilometryczne pomiary nierówności powierzchni"* o objętości 195. stron zawiera 13 rozdziałów, w tym między innymi *Wprowadzenie* oraz *Podsumowanie i wnioski*, a także *Plan dalszych badań*. Na początku rozprawy doktorskiej, jako oddzielny punkt umieszczono *Wykaz ważniejszych oznaczeń*. W końcowej części rozprawy umieszczono wykazy 137. cytowanych materiałów źródłowych, w postaci punktów *Literatura* oraz *Normy*, a także *Streszczenie* pracy w języku polskim i *Abstract* w języku angielskim. Ponadto w dostarczonym opracowaniu, oprócz rozprawy doktorskiej, zamieszczono 49-stronicowy *Załącznik 1* zatytułowany *Wyniki działania algorytmu korekcyjnego*.

Recenzowana rozprawa doktorska zawiera łącznie 170 rysunków oraz 10 tabel. W wykazie literatury podano spis 127. publikacji źródłowych. Są to przede wszystkim artykuły opublikowane w czasopismach naukowych oraz książki i monografie. W punkcie *Normy* podano wykaz 10. norm.

#### 2. Podstawy prawne przygotowania recenzji

Przygotowując niniejszą recenzję, jako podstawę prawną przyjęto:

1. *Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) z późniejszymi zmianami.
2. *Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora*. (Dz. U. z dnia 30 stycznia 2018 r. poz. 261).

### 3. Tematyka rozprawy

Dokładna ocena topografii powierzchni części maszyn w wielu przypadkach dokonywana jest na podstawie pomiarów profilometrycznych, realizowanych za pomocą profilometrów stykowych. Pomiary takie wymagają sekwencyjnego skanowania powierzchni ostrzem odwzorowującym profilometru i wygenerowania na podstawie zbioru zmierzonych zarysów przestrzennego obrazu mierzonej powierzchni. Taka procedura pomiarowa jest długotrwała. Podczas jej trwania zarówno temperatura obiektu mierzonego, jak też temperatura profilometru i jego otoczenia, mogą ulegać zmianom. W takiej sytuacji zmiany temperatury, w wyniku zjawiska rozszerzalności cieplnej, powodują zmiany długości przedmiotu mierzonego oraz elementów systemu pomiarowego. W rezultacie tego poszczególne profile powierzchni zmierzone będą w różnych warunkach i ich zestawienie da zniekształcony, obciążony błędami, przestrzenny obraz powierzchni mierzonej. Producenci profilometrów stykowych, na ogół zakładają, że zjawisko rozszerzalności cieplnej ma niewielki wpływ na błędy topograficznego odwzorowania nierówności powierzchni i dlatego nie wprowadzają procedur korygujących lub kompensujących ten rodzaj błędów pomiarów struktury geometrycznej powierzchni (SGP). Recenzowana rozprawa mgr. inż. Karola Grochalskiego poświęcona jest problemowi badań i korygowania wpływu warunków termicznych na profilometryczne pomiary topografii powierzchni.

Doktorant podjął się trudnego i ambitnego zadania polegającego na zbadaniu wpływu temperatury na wyniki pomiarów topografii powierzchni uzyskane za pomocą profilometrów stykowych i opracowaniu odpowiedniego oprogramowania pozwalającego korygować te wyniki. Jest to zadanie trudne, gdyż wymaga ono rozwiązania wielu problemów dotyczących analizy, budowy oraz badania układów pomiarowych, detekcji i analizy pól temperaturowych, przetwarzania sygnałów pomiarowych, a także oceny dokładności pomiarów.

Podstawowa komplikacja w przeprowadzeniu kompensacji wpływu temperatury na rezultaty pomiarów topografii powierzchni za pomocą profilometrów stykowych wynika z faktu, że czas wykonania wieloprofilowych pomiarów jest znaczny i często przekracza kilkadziesiąt minut. Podczas tych pomiarów zmienia się temperatura poszczególnych zespołów profilometru oraz obiektu mierzonego. To z kolei wpływa na zmianę wymiarów oraz położenie obiektu mierzonego i elementów profilometru. Przyczyną zmiennych przestrzennie i czasowo pól temperaturowych są niektóre zespoły profilometru, a także czynniki zewnętrzne. Aby dokonać numerycznej kompensacji wpływu temperatury na wyniki pomiarów profilometrycznych, należy zbadać skutki wpływu temperatury na wyniki pomiarów SGP, a następnie zalgorytmizować i zaimplementować procedurę kompensacji.

Tematyka rozprawy doktorskiej mgra inż. Karola Grochalskiego jest tematyką metrologiczną i zwiera się w szerokim zakresie dyscypliny naukowej *budowa i eksploatacja maszyn*. Tematyka ta wychodzi naprzeciw oczekiwaniom dotyczącym zwiększenia dokładności pomiarów struktury geometrycznej powierzchni za pomocą profilometrów stykowych. Moim zdaniem wybór tematyki rozprawy doktorskiej został dokonany prawidłowo. Świadczą o tym badania wpływu temperatury na dokładność pomiarów struktury geometrycznej powierzchni metodami profilometrycznymi prowadzone w Politechnice Poznańskiej, a także w innych ośrodkach naukowych. Zbadanie wpływu temperatury na

wyniki pomiarów topografii powierzchni uzyskane za pomocą profilometrów stykowych stwarza możliwość kompensacji tego wpływu i tym samym pozwala zwiększyć dokładność pomiarów topografii powierzchni.

#### 4. Cel, teza i układ pracy

Podstawowym celem recenzowanej rozprawy doktorskiej było cyt.: „*opracowanie metodyki kompensacji wpływu wewnętrznych i zewnętrznych zmian temperatury podczas przestrzennych pomiarów nierówności powierzchni*”. Cel pracy został moim zdaniem określony w sposób prawidłowy.

Teza pracy została sformułowana przez Autora rozprawy następująco cyt.: „*Jeśli poznamy i będziemy kontrolować warunki termiczne związane z profilometrem i jego otoczeniem, to będzie możliwe bardziej wiarygodne odwzorowanie nierówności powierzchni*”. Teza ta jest na tyle ogólna, że z teoretycznego punktu widzenia jest pozornie dosyć oczywista. Jednak praktyczne udowodnienie i potwierdzenie tej tezy nie jest zadaniem łatwym i to właśnie decyduje o jej oryginalności.

Praca zawiera na początku *Wykaz ważniejszych oznaczeń*, następnie 13 rozdziałów, a ponadto w końcowej części wykaz cytowanej literatury oraz wykaz cytowanych norm. Pierwsze dwa rozdziały zawierają wprowadzenie do tematyki rozprawy oraz krótką charakterystykę wybranych metod pomiaru nierówności powierzchni. W rozdziale trzecim przedstawiono sposoby i urządzenia przeznaczone do pomiarów temperatury, zaś w rozdziale czwartym zawarto wnioski wynikające z analizy literatury. Kolejne dwa jednostronicowe rozdziały określają cel i tezę rozprawy oraz cel i program badań. Obszerny rozdział siódmy poświęcony jest analizie wpływu wewnętrznych źródeł ciepła, występujących w profilometrach stykowych, na wyniki pomiarów topografii powierzchni. W rozdziale ósmym opisano konstrukcję, sposób sterowania i charakterystykę komory termicznej wykorzystywanej w badaniach, których metodykę przedstawiono w rozdziale dziewiątym. Dotyczyły one analizy wpływu zewnętrznych zmian temperatury na wyniki pomiarów topografii powierzchni za pomocą profilometrów stykowych. W rozdziale dziesiątym przedstawiono algorytm korygujący wpływ temperatury na wyniki pomiarów profilometrycznych. Rozdział jedenasty rozprawy doktorskiej poświęcono problematyce kalibracji i sprawdzania aparatury pomiarowej używanej w przeprowadzonych badaniach. Rozdział dwunasty zawiera podsumowanie pracy oraz wnioski, zaś w rozdziale trzynastym przedstawiono plany i kierunki dalszych prac badawczych. Bardzo ważnym elementem pracy, zawierającym wyniki badań eksperymentalnych z zastosowaniem algorytmu korekcyjnego, jest obszerny *Załącznik 1*.

Układ rozprawy doktorskiej mgra inż. Karola Grochalskiego jest moim zdaniem poprawny, chociaż być może niektóre z rozdziałów, jak np. krótkie rozdziały 5 i 6, można by połączyć zmniejszając tym samym ich liczbę. Z układu pracy oraz jej treści wynika, że praca ta ma przede wszystkim charakter badawczy, ukierunkowany na badania poznawcze i stosowane.

## 5. Merytoryczna ocena rozprawy

Przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest problem zmniejszenia błędów pomiarów struktury geometrycznej powierzchni realizowanych stykowymi metodami profilometrycznymi, spowodowanych zmianami termicznymi w układzie pomiarowym profilometru oraz w jego otoczeniu. Jako sposób rozwiązania tego problemu Autor rozprawy zaproponował zbadanie wpływu temperatury na wyniki pomiarów topografii powierzchni uzyskane za pomocą profilometru stykowego, a następnie numeryczne skorygowanie tego wpływu w zależności od zmian temperatury, występujących we wnętrzu profilometru oraz w jego otoczeniu, zmierzonych podczas pomiarów profilometrycznych.

Po krótkim rozdziale pierwszym, wprowadzającym czytelnika do tematyki rozprawy, w drugim rozdziale pracy dokonano klasyfikacji metod pomiaru nierówności powierzchni oraz bardziej szczegółowo przedstawiono metody stykowe i optyczne. Rozdział ten jest napisany w sposób zwarty i zrozumiały, chociaż Autor nie ustrzegł się pewnych błędów i nieścisłości. W związku z tym chciałbym zadać kilka pytań:

1. Czy drugie prawo dynamiki, jak wskazuje Autor na str. 7. dotyczy pojęcia entropii?
2. Czy schemat pokazany na rys. 2.1 odnosi się do przyrządów czy też do metod pomiarowych?
3. Dlaczego w podrozdziale 2.2 *Pomiary optyczne* w p. 2.2.3 omawiane są metody skaningowej mikroskopii elektronowej, mikroskopii tunelowej itp.?

W rozdziale trzecim rozprawy dosyć szeroko przedstawiono sposoby i przyrządy pomiarowe służące do pomiaru temperatury. Część informacji zawartych w tym rozdziale mogłaby zostać ograniczona lub pominięta, gdyż jest luźno związana z tematyką rozprawy. Dotyczy to zwłaszcza tych technik pomiaru temperatury, które z różnych powodów nie mogą być zastosowane w badaniach układów profilometrycznych. Można odnieść wrażenie, że Autor rozprawy dokonał, dosyć bezkrytycznie, przeglądu technik pomiaru temperatury korzystając z wiedzy podręcznikowej. Najbardziej wartościowym podrozdziałem w rozdziale trzecim rozprawy jest p. 3.6 poświęcony termowizji w podczerwieni.

W rozdziale czwartym zawarto wnioski wynikające z analizy literatury. Najważniejsze z nich sprowadzają się do stwierdzenia, że podczas stykowych pomiarów nierówności powierzchni należy monitorować warunki termiczne profilometru i otoczenia oraz określić wpływ tych warunków na rozszerzalność cieplną mierzonego obiektu oraz zespołów profilometru, a także opracować procedury korygujące wpływ warunków termicznych na wyniki pomiarów topografii powierzchni. Wnioski te stały się podstawą do sformułowania celu, tezy, a także zakresu recenzowanej rozprawy doktorskiej. Na ich podstawie w rozdziale piątym określono cel i sformułowano tezę pracy, a w rozdziale szóstym przedstawiono cel, program i zakres badań. Te trzy jednostronicowe rozdziały oceniam pozytywnie.

Najważniejsze, z punktu widzenia merytorycznej oceny rozprawy, są rozdziały siódmy ósmy, dziewiąty i dziesiąty. W rozdziale siódmym przedstawiono metodykę i wyniki badań wpływu wewnętrznych źródeł ciepła profilometrów stykowych na zmianę położenia głowicy pomiarowej profilometru. Badania wykonano stosując do pomiarów przemieszczeń głowicy

pomiarowej profilometru, wywołanych zmianami termicznymi, interferometr laserowy typu LSP30-3D firmy LASERTEX. Pomiarów przemieszczeń dokonywano wzdłuż trzech osi kartezjańskiego układu współrzędnych. Badania przeprowadzono w trybie statycznym (bez przemieszczania głowicy pomiarowej profilometru i stolika przedmiotowego) oraz w trybie dynamicznym (podczas przemieszczania głowicy pomiarowej profilometru ale bez przemieszczania stolika przedmiotowego). Badaniom w trybie statycznym poddano trzy rodzaje profilometrów: profilometr Hommel-Etamic T8000, profilometr z zespołem pomiarowym TOPO L50 oraz profilometr Perthometer S8P-PRK. Natomiast badania dynamiczne wykonano jedynie dla profilometru Hommel-Etamic T8000 podczas wielokrotnych pomiarów tego samego zarysu płytki interferencyjnej. Pomiarów temperatury wybranych zespołów profilometrów dokonywano dwoma metodami: za pomocą półprzewodnikowych cyfrowych czujników temperatury DS18B20+ amerykańskiej firmy Maxim Integrated, a także za pomocą kamery termowizyjnej FLIR T620. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na skorelowanie zmian położenia głowicy pomiarowej profilometru z funkcjami opisującymi czasowe przebiegi temperatury generowanej przez wewnętrzne źródła ciepła profilometru.

W rozdziale ósmym zaprezentowano konstrukcję komory termicznej przeznaczonej do badania profilometrów stykowych w programowanych przez operatora warunkach termicznych. Opisano konstrukcję oraz system sterowania tej komory, a także wyznaczono jej charakterystyki termiczne przy nagrzewaniu i chłodzeniu.

Badaniu wpływu zmian temperatury otoczenia profilometru na wyniki pomiarów nierówności powierzchni poświęcono rozdział dziewiąty rozprawy. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem komory termicznej wielokrotnie mierząc ten sam profil płytki interferencyjnej, podobnie jak w badaniach dynamicznych opisanych w rozdziale siódmym rozprawy. Badania te wykonano w dwóch wariantach. Pierwszy wariant zakładał utrzymanie stałej temperatury we wnętrzu komory termicznej, natomiast drugi wariant obejmował badania, podczas których temperaturę wewnątrz komory termicznej zmieniano zgodnie z wcześniej opracowanym programem. Na podstawie otrzymanych wyników badań wykonanych w wariacie drugim stwierdzono, że poprzeczne zarysy wygenerowanej powierzchni odwzorowują przebieg zmian temperatury otoczenia profilometru. Stanowiło to punkt wyjścia do opracowania algorytmu korekcyjnego opisanego w rozdziale dziesiątym rozprawy doktorskiej.

W rozdziale dziesiątym opisano algorytm korekcyjny, który umożliwia korygowanie wpływu warunków termicznych na wyniki profilometrycznych pomiarów nierówności powierzchni. W skrócie przedstawiono ogólne założenia, strukturę i zasadę działania oraz praktyczną implementację algorytmu korekcyjnego w postaci aplikacji komputerowej, a także wyniki badań otrzymane z zastosowaniem tego algorytmu. Znaczna część otrzymanych wyników została zamieszczona w obszernym *Załączniku 1* umieszczonym na końcu rozprawy doktorskiej. Otrzymane wyniki w pełni potwierdzają osiągnięcie celu pracy oraz tezę rozprawy doktorskiej.

Moja ocena prac i badań przedstawionych w rozdziałach 7., 8., 9. i 10. jest bardzo wysoka. Uważam, że Autor rozprawy przeprowadził niezwykle obszerne i pracochłonne

badania, których wyniki pokazują, że w celu zwiększenia dokładności pomiarów nierówności powierzchni stykowymi metodami profilometrycznymi należy uwzględniać warunki termiczne, w których takie pomiary są prowadzone. Mgr inż. Karol Grochalski w swojej rozprawie doktorskiej pokazał i eksperymentalnie potwierdził metodykę postępowania, która umożliwia numeryczne korygowanie wpływu temperatury na wyniki pomiarów topografii powierzchni.

Niezależnie od wysokiej oceny badań przeprowadzonych przez Autora, mam kilka uwag dyskusyjnych i krytycznych, pytań oraz szereg drobnych wątpliwości.

Po pierwsze, równanie (8.3.1) opisujące algorytm działania regulatora PID jest dosyć dziwne. W jakim celu wstępują w tym równaniu nawiasy kwadratowe? Czy współczynniki wzmocnienia członu całkującego i różniczkującego są stałe i nie zależą od współczynnika wzmocnienia członu proporcjonalnego?

Po drugie, dlaczego właśnie w p. 9.3 *Podsumowanie wyników badań* pojawiają się wyniki analizy harmonicznej sygnału temperatury i profilu falistości. Wcześniej w rozprawie w ogóle nie przedstawiono tego problemu i nie wspomniano o tym, w jaki sposób dokonywana jest analiza harmoniczna sygnału temperatury i zarysu falistości.

Po trzecie, model procesu rozszerzania elementów układu pomiarowego wzdłuż osi współrzędnych kartezjańskiego układu  $0xyz$  rozpatrywany był w rozdziale siódmym rozprawy tylko częściowo. Natomiast przedstawiony w rozdziale 10. opis algorytmu korekcyjnego wskazuje, że w celu opracowania tego algorytmu rozpatrzono całość tego modelu. Niektóre podane w rozdziale dziesiątym informacje wymagają moim zdaniem wyjaśnienia, uzupełnienia lub korekty. Dla przykładu:

1. W ostatnim zdaniu pierwszego akapitu na str. 140 wspomniano o przesunięciu fazowym, oznaczonym symbolem  $i(A)$ . W kolumnie pierwszej tab. 10.1 występuje określenie inercja układu pomiarowego  $i = f(a)$ . Czy te pojęcia są tożsame?
2. Czy parametr  $a$ , pokazany na rys. 10.2 określony jako współczynnik nachylenia prostej jest tożsamy z parametrem  $\alpha$ , nazywanym współczynnikiem kierunkowym prostej, występującym w równaniach (10.1.4) i (10.1.5)? W jakim układzie współrzędnych określona jest ta prosta, czyli która oś jest osią rzędnych, a która osią odciętych? Na podstawie którego kąta określany jest współczynnik kierunkowy prostej?
3. Proszę o wyjaśnienie jakie warunki muszą być spełnione w punktach T1 i T2, pokazanych na rys. 10.2, aby można je było uznać za punkty przegięcia?
4. Czy prawdą jest, zgodnie z równaniem (10.1.3), że długość przedmiotu po zmianie temperatury jest sumą wydłużenia stolika pomiarowego, wydłużenia mierzonej próbki, wydłużenia kolumny profilometru i wydłużenia innych elementów układu?

Niezależnie od sformułowanych wyżej uwag i wątpliwości uważam, że implementacja programowa algorytmu korekcyjnego opracowanego przez Autora rozprawy jest generalnie prawidłowa. Przekonują mnie o tym zaprezentowane w rozprawie wyniki badań.

W rozdziale 11 przedstawiono sposoby i niektóre wyniki sprawdzania, za pomocą odpowiednich wzorców, układów pomiarowych wykorzystywanych do badań opisanych

w rozprawie doktorskiej. Badaniom poddano czujnik temperatury DS18B20+, kamerę termowizyjną FLIR T620, interferometr laserowy LSP30-3D firmy LASERTEX oraz profilometr Hommel-Etamic T8000.

Rozdział ten nie budzi większych wątpliwości poza jedną. Uważam że wybór czujników temperatury, stosowanych zarówno w komorze termicznej, jak też podczas badań temperatury wewnętrznych źródeł ciepła w profilometrach, został dokonany prawidłowo z punktu widzenia ich podstawowych właściwości metrologicznych i eksploatacyjnych. Jednak błędy pomiarów temperatury 30°C uzyskane podczas wzorcowania czujnika, pokazane na rys. 11.2 są małe i dość znacznie różnią się typowych błędów podawanych przez producenta czujników. Być może jest to wynikiem korekcji przeprowadzonej w czasie wzorcowania, o której Autor rozprawy wspomina na str. 173. Prosiłbym o wyjaśnienie tej sprawy.

W końcowej części pracy zamieszczono rozdział dwunasty *Podsumowanie i wnioski* oraz jednostronicowy rozdział trzynasty *Plan dalszych badań*. W pierwszym z wymienionych rozdziałów zawarto podstawowe konkluzje o charakterze poznawczym i użytkowym wynikające z przeprowadzonych badań, które jednoznacznie potwierdzają tezę pracy oraz wskazują, że cel pracy został osiągnięty. W rozdziale *Kierunki dalszych prac* Autor wymienił kolejne etapy planowanych prac konstrukcyjnych i badawczych zmierzających do udoskonalenia i praktycznego zastosowania opracowanej metodyki, pozwalającej kompensować wpływ temperatury na wyniki pomiarów stykowych pomiarów profilometrycznych.

Podsumowując merytoryczną ocenę rozprawy doktorskiej mgra inż. Karola Grochalskiego stwierdzam, że jest to bardzo dobra praca z obszaru metrologii struktury geometrycznej powierzchni, zasługująca na wysoką ocenę. Ważnym i oryginalnym osiągnięciem tej pracy jest opracowanie i zbadanie metodyki umożliwiającej numeryczne korygowanie wpływu temperatury na wyniki pomiarów topografii powierzchni. Rozwiązania zaproponowane przez Autora recenzowanej rozprawy doktorskiej są oryginalne i wnoszą ważny wkład naukowy do teorii i praktyki precyzyjnych pomiarów struktury geometrycznej powierzchni stykowymi metodami profilometrycznymi. Według mnie Autor rozprawy jest dobrze przygotowany do dalszej samodzielnej pracy naukowej.

## 6. Uwagi szczegółowe

Rozprawa doktorska mgra inż. Karola Grochalskiego została napisana w sposób jasny i zrozumiały. Pod względem edytorskim oraz pod względem językowym została ona przygotowana prawidłowo. Na szczególne podkreślenie zasługuje przemyślane i bardzo staranne zaprezentowanie wyników badań topografii powierzchni zamieszczonych zarówno w pracy, jak też w *Załączniku 1*. W tekście rozprawy, zdarzają się jednak sformułowania wywołujące wątpliwości, a także występują drobne nieścisłości, błędy stylistyczne oraz pomyłki redakcyjne. Poniżej zamieściłem niektóre drobne uwagi, które ilustrują ten problem.

1. Dwa pierwsze zdania w p. 2.2 wymagają korekty stylistycznej. To samo dotyczy ostatniego zdania pierwszego akapitu na str. 34., a także pierwszego zdania na str. 103 i str. 104.

2. W pierwszym zdaniu p. 2.2.2 Autor rozprawy stwierdza, że interferometr to urządzenie optyczne, w którym następuje interakcja dwóch wiązek. Są jednak także interferometry wielowiązkowe, takie np. jak interferometr Fabry'ego-Pérot'a oraz interferometry jednowiązkowe.
3. Pewne trudności sprawia Autorowi rozprawy poprawna pisownia nazwisk obcojęzycznych, takich jak Boltzmann (trzy różne wersje na str. 4, 33, 35, 39), Kirchhoff (str. 41, 42), Michelson (str. 16) i Poisson (str. 10).
4. Na str. 26. zamieszczono rys. 3.4 wskazując, że jego źródłem jest cytowana praca [27]. Tego rysunku nie ma w pracy [27]. Element tego rysunku oznaczony symbolem 5 nie jest, jak podano w rozprawie, skalą temperatury, jest natomiast podziałką.
5. Dlaczego w równaniach (3.3.2), (3.3.3) i (3.3.4) te same wielkości, np. temperatura oznaczane są różnymi symbolami.
6. Symbol  $e$  występujący w równaniu (3.3.3), to podstawa logarytmu naturalnego lub liczba Eulera.
7. Na str. 40. odwołania do zależności (2.6.4) i (3.5.6) są błędne.
8. Na str. 46. odwołanie do cytowanej pracy [124] jest nieprawidłowe.
9. Podając maksymalne wartości przemieszczeń elementów profilometru, których wykresy pokazano np. na rys. 7.36 i 7.41 Autor rozprawy używa słowa amplituda. Czy jest to rzeczywiście amplituda?
10. Czy napis pod rys. 7.31 jest prawidłowy? Czy napis w górnej części rys. 8.10 jest prawidłowy?
11. W poz. [69] spisu cytowanej literatury nie podano tytułu pracy. Dlaczego w spisie literatury, wykazie norm i streszczeniach brak jest numerów stron?
12. Na str. 192., na końcu trzeciego akapitu streszczenia rozprawy, Autor użył sformułowania „maszyny pomiarowej”. Co ten termin oznacza?

Przedstawione przeze mnie powyższe uwagi mają przede wszystkim charakter porządkowy. Nie umniejszają one mojej pozytywnej merytorycznej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej. Pragnę wyrazić nadzieję, że uwagi te przyczynią się do bardziej uważnego i starannego redagowania tekstów publikowanych w przyszłości przez Autora rozprawy.

## **7. Ocena końcowa rozprawy doktorskiej**

Rozprawa doktorska mgr'a inż. Karola Grochalskiego ma charakter badawczy i dotyczy badań nad wpływem warunków termicznych na wyniki pomiarów struktury geometrycznej powierzchni realizowanych stykowymi metodami profilometrycznymi oraz opracowania sposobu zmniejszenia błędów pomiarów spowodowanych zmianami termicznymi w układzie pomiarowym profilometru, a także w jego otoczeniu. W rezultacie przeprowadzonych badań, Autor rozprawy zaproponował oryginalną metodę numerycznej kompensacji wpływu



warunków termicznych na wyniki pomiarów profilometrycznych. Idea tej metody polega na zbadaniu jak wpływają warunki termiczne, panujące wewnątrz i na zewnątrz profilometru, na zmianę położenia poszczególnych elementów układu pomiarowego, a następnie, w zależności od tych warunków, numeryczne skorygowanie wyników pomiarów profilometrycznych. W tym celu zostało opracowane odpowiednie oprogramowanie, realizujące algorytm korekcyjny. Metoda ta została pozytywnie zweryfikowana w obszernych badaniach eksperymentalnych przeprowadzonych przez Autora ocenianej rozprawy doktorskiej.

Recenzowaną rozprawę doktorską oceniam wysoko. Uzyskane rezultaty są doskonale udokumentowane i wskazują na szeroką wiedzę Autora rozprawy oraz na Jego umiejętność prowadzenia badań naukowych w obszarze metrologii powierzchni, technik pomiaru temperatury oraz tworzenia nowoczesnych aplikacji komputerowych dedykowanych do zastosowań metrologicznych.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgra inż. Karola Grochalskiego pt. ***"Kompensacja wpływu warunków termicznych na profilometryczne pomiary nierówności powierzchni"*** stwierdzam, że rozprawa ta stanowi wartościowe i oryginalne rozwiązanie trudnego problemu naukowego. Spełnia ona wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim określone w *Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. Nr 65, poz. 595), a w szczególności w art. 13. tej ustawy. Wnioskuje zatem o dopuszczenia rozprawy doktorskiej mgra inż. Karola Grochalskiego do publicznej obrony.

