

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Emilii Bachtiak-Radka
pt. *Wpływ strategii pomiarowej na ocenę topografii powierzchni przyrządem optycznym
z czujnikiem chromatycznym konfokalnym*

Promotor: dr hab. inż. Marcin Chodźko, prof. ZUT

Promotor Pomocniczy: dr inż. Daniel Grochala

Recenzja została opracowana na podstawie pisma nr L.dz.WIMiM/12/2024 skierowanego przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny – Inżynieria Mechaniczna Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, dr hab. inż. Krzysztofa Danileckiego, prof. ZUT z dnia 11.01.2024r.

OMÓWIENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ (TEMATYKA, TYTUŁ, UKŁAD ORAZ TREŚĆ) ZE WSKAZANIEM UWAG MERYTORYCZNYCH ORAZ REDAKCYJNYCH

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Emilii Bachtiak-Radka pt. *Wpływ strategii pomiarowej na ocenę topografii powierzchni przyrządem optycznym z czujnikiem chromatycznym konfokalnym*, podejmuje zagadnienia z obszaru inżynierii mechanicznej dotyczące metrologii warstwy wierzchniej – struktury geometrycznej powierzchni w zakresie topografii powierzchni.

Metrologia warstwy wierzchniej odgrywa istotną rolę w procesie technologicznego wytwarzania oraz charakteryzowaniu właściwości warstwy wierzchniej przedmiotu, celem sprawdzenia czy przedmiot został wytworzony zgodnie z założeniami dokumentacji technicznej. W przypadku metrologii powierzchni warstwy wierzchniej weryfikacja dotyczy charakteru ukształtowania powierzchni warstwy wierzchniej, czyli odnosi się do struktury geometrycznej oraz potencjalnych właściwości funkcjonalnych powierzchni wytworzonego przedmiotu. Struktura geometryczna powierzchni to horyzontalne ujęcie warstwy wierzchniej, obejmujące układ elementów geometrycznych powierzchni, czyli odchyłkę kształtu, falistość, chropowatość czy anomalie (wady, artefakty) powierzchni. Badania struktury geometrycznej powierzchni powinny umożliwiać wyznaczenie wielkości charakteryzujących ukształtowanie powierzchni w skali od makro przez mezo i mikro do nano, wykorzystując komplementarne metody pomiaru, o czym wspomina w swoich pracach wielu naukowców (m.in. L. Blunt, C. Brown, R. Leach, T. Mathia, P. Pawlus, D.J. Whitehouse, M. Wieczorowski). Zwracają oni również uwagę na znaczenie topografii powierzchni w procesie eksploatacji, a co za tym idzie – konieczność poszukiwania najbardziej efektywnych metod pomiaru i analizy struktury geometrycznej powierzchni, oceniając jakość technologiczną wytworzonych przedmiotów. Istnieje wiele różnych metod pomiaru topografii powierzchni, które w ogólnej klasyfikacji podzielone zostały na metody stykowe i metody

bezstykowe (optyczne). Wybór metody pomiaru wiąże się z wyborem urządzenia pomiarowego, umożliwiającego realizację badań ukształtowania powierzchni warstwy wierzchniej. Zarówno każda metoda, jak również każde urządzenie pomiarowe posiada swoje wady i zalety. Dlatego wybór optymalnej metody pomiaru powinien odpowiadać charakterystyce badanego przedmiotu pod względem materiału, technologii wytwarzania czy późniejszego przeznaczenia. Nie bez znaczenia jest także analiza otrzymanych danych pomiarowych, odzwierciedlających mierzoną powierzchnię wytworzonego przedmiotu, którą poprzedza odpowiednie przygotowanie do analizy (tj. poziomowanie, filtrowanie). Należy podkreślić, że nie jest możliwe zastosowanie tej samej metodyki badań topografii powierzchni dla różnych przedmiotów. Metodyka badań powinna być każdorazowo opracowana, obejmując m.in. metodę pomiaru, przedstawienie powierzchni oraz sposób analizy wyników, uwzględniając materiał, z którego wytworzony został przedmiot, technologię obróbki (stan powierzchni) oraz przeznaczenie (np. eksploatacja). Na tej podstawie powinny być dobierane urządzenia pomiarowe, które zapewnią otrzymanie komplementarnych informacji, tym samym pozwalając na kompleksową charakterystykę powierzchni warstwy wierzchniej wytworzonego przedmiotu.

Wobec powyższego tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Emilii Bachtiak-Radka wpisuje się w obszar współcześnie prowadzonych prac naukowo-badawczych, w szczególności w obszarze charakteryzowania topografii powierzchni przedmiotów wytworzonych w procesie technologicznym, a otrzymane wyniki badań umożliwiają zastosowanie zaproponowanej strategii pomiarowej w przypadku korzystania z urządzeń pomiarowych bezstykowych, do których zaliczany jest rozpatrywany w rozprawie doktorskiej przyrząd optyczny z głowicą chromatyczną konfokalną.

Tytuł rozprawy doktorskiej jednoznacznie oddaje jej treść, która, co należy podkreślić, jest aktualna, a sposób jej opracowania stanowi oryginalny wkład do dyscypliny *inżynieria mechaniczna*, obejmując podstawowe rozważania teoretyczne oraz prace doświadczalno-analityczne w zakresie wpływu warunków akwizycji oraz cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych na charakteryzowanie struktury geometrycznej powierzchni wytworzonej technologicznie w zakresie topografii powierzchni, przy wykorzystaniu określonego urządzenia pomiarowego – przyrządu optycznego z czujnikiem chromatycznym konfokalnym.

Praca liczy łącznie 160 strony tekstu i obejmuje: stronę tytułową (1 strona), spis treści (1 strona), wykaz ważniejszych oznaczeń i pojęć (2 strony), rozdział pierwszy – wstęp (3 strony), rozdział drugi – przegląd stanu zagadnienia dokonany na podstawie analizy literatury (14 stron), rozdział trzeci – cel, teza i zakres pracy (2 strony), rozdział czwarty – koncepcja strategii pomiarowej oceny topografii powierzchni (6 stron), rozdział piąty – ocena wpływu warunków akwizycji chmury punktów czujnikiem chromatycznym konfokalnym na wartości wybranych parametrów topografii powierzchni (71 stron), rozdział szósty – ocena wpływu warunków cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych na wartości wybranych parametrów topografii powierzchni (26 stron), rozdział siódmy – strategia pomiarowa oceny topografii powierzchni dla przyrządu optycznego z czujnikiem chromatycznym konfokalnym (5 stron), rozdział ósmy - weryfikacja opracowanej strategii pomiarowej w ocenie topografii powierzchni technologicznej (4 strony), rozdział dziewiąty – wnioski (5 stron), bibliografia – (9 stron – łącznie 160 pozycji), spis tabel (5 stron – łącznie 182 tabele), spis rysunków (2 strony – łącznie 31 rysunków), streszczenie (2 strony), abstract (2 strony).

Zakres, układ i treść recenzowanej rozprawy doktorskiej uważam w większości za prawidłowy, zgodny z przyjętymi zasadami twórczości naukowej.

Stronę redakcyjną rozprawy doktorskiej oceniam pozytywnie. W ramach opracowanej recenzji zobowiązana jestem jednak do wskazania kilku uwag edytorskich, które uważam za istotne, stanowiące wskazówkę do przygotowania przyszłych prac naukowo-badawczych z udziałem mgr inż. Emilii Bachtiak-Radka.

W dalszej części recenzji, po syntetycznym scharakteryzowaniu każdego rozdziału, przedstawiam uwagi krytyczne, edytorskie i pytania, które nasunęły się podczas lektury rozprawy doktorskiej. Do wybranych uwag mgr inż. Emilia Bachtiak-Radka będzie zobowiązana ustosunkować się podczas publicznej obrony.

Rozdział pierwszy **Wstęp** przedstawia główne zagadnienia dotyczące projektowania, wytwarzania oraz kształtowania właściwości funkcjonalnych powierzchni wytworzonych przedmiotów, które mają wpływ, zarówno na przebieg procesu eksploatacji, jak też trwałość i niezawodność obiektów technicznych. W treści rozdziału mgr inż. Emilia Bachtiak-Radka podkreśla istotę charakteryzowania topografii powierzchni celem oceny jakości technologicznej oraz zidentyfikowania potencjalnych właściwości funkcjonalnych powierzchni wytworzonych przedmiotów, mających zastosowanie w różnych branżach.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Strona 5, zdanie „Norma PN-EN ISO 25178-1:2022: Specyfikacja geometrii wyrobów (GPS)- Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzeń – Część 1: Znaki struktury geometrii powierzchni” została niewłaściwie przytoczona. Powinno być: *PN-EN ISO 25178-1:2022: Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS)- Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 1: Oznaczenie struktury geometrycznej powierzchni.*
- **Strona 5, rozwinięcie akronimu GPS jest niepoprawne. GPS oznacza z ang. Geometrical Product Specifications, co nie jest równoznaczne z pojęciem Struktura Geometryczna Powierzchni, która jest oznaczana w polskich publikacjach jako SGP. Ta uwaga dotyczy całej treści rozprawy doktorskiej.**
- Biorąc pod uwagę tematykę rozprawy doktorskiej, w podsumowaniu tego rozdziału brakuje odniesienia do tematu, jednoznacznie uzasadniając jego podjęcie.

Rozdział drugi **Przegląd stanu zagadnienia** składa się z czterech podrozdziałów: pojęcie oceny topografii powierzchni (2.1.), metody pomiarowe topografii powierzchni (2.2), badania topografii powierzchni z zastosowaniem optycznych systemów pomiarowych (2.3) oraz motywacja do badań nad opracowaniem strategii pomiarowej (2.4). Przedstawiono w nim istotne, zdaniem mgr inż. Emilii Bachtiak-Radka, z punktu widzenia tematu rozprawy doktorskiej zagadnienia. W ostatnim podrozdziale tego rozdziału zaprezentowano motywację podjęcia tematu rozprawy doktorskiej, którą określono jako chęć poszukiwania wytycznych dotyczących strategii pomiarowej, będącej efektywnym rozwiązaniem, które oszczędza czas i wpisuje się w aktualne potrzeby i rozwój metrologii powierzchni warstwy wierzchniej.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Rozdział powinien odnosić się do analizy literatury w zakresie pomiarów topografii powierzchni, prezentując ogólne zagadnienia oraz metody i urządzenia pomiarowe. Podsumowaniem tego rozdziału powinno być określenie luki badawczej, którą Doktorantka postanowiła wypełnić poprzez realizację podjętego tematu rozprawy doktorskiej.
- Struktura geometryczna powierzchni to układ elementów geometrycznych powierzchni, obejmujących odchyłkę kształtu, falistość, chropowatość czy anomalie (wady, artefakty) powierzchni. Topografia powierzchni zwykle traktowana jest jako układ elementów geometrycznych powierzchni po odfiltrowaniu kształtu. W treści rozprawy doktorskiej zdarza się mylenie tych dwóch pojęć i stosowanie ich zamiennie, co nie jest poprawne.
- Strona 9, Rysunek 2.1. Rysunek obrazuje wynik pomiaru, który jest jednym z przykładowych plików oprogramowania Mountains Map firmy Digital Surf. Nie jest więc wynikiem samodzielnie przeprowadzonego pomiaru przez Doktorantkę. Stąd tytuł rysunku powinien zawierać odniesienie do przytoczonego przykładu.

- Strona 9, Rysunek 2.2. Rysunek prezentuje strukturę geometryczną powierzchni (SGP a nie GPS) przykładowego pliku oprogramowania Mountains Map i podobnie jak Rysunek 2.1., również nie jest wynikiem samodzielnego wykonania pomiaru przez Doktorantkę. Poza tym, aby określić elementy topografii powierzchni, należało wypoziomować powierzchnię mierzoną i odfiltrować kształt. Rysunek nie przedstawia więc wynikowej topografii powierzchni.
- Strona 10, Rysunek 2.3. Uwaga podobna do poprzednich dwóch uwag.
- Podrozdział 2.2. Podrozdział powinien zawierać klasyfikację metod pomiaru topografii powierzchni wraz z przykładowymi urządzeniami, w których te metody są wykorzystywane oraz syntetycznym opisem, prezentującym wady i zalety metod/urządzeń pomiarowych. Następnie powinno się przedstawić uzasadnienie wyboru urządzeń pomiarowych do badań topografii powierzchni, wykorzystujących systemy optyczne. Charakterystyka wytypowanego do badań własnych urządzenia pomiarowego powinna zostać przedstawiona w dalszej części rozprawy doktorskiej (w rozdziale poświęconemu metodyce badań).
- **Strony 11-12, zdania „W tabeli 2.1. przedstawiono zestawienie liczby artykułów naukowych, opublikowanych w latach 2003-2023, dotyczących zastosowania różnych systemów pomiarowych. Na podstawie dokonanego przeglądu literatury można stwierdzić, że do najczęściej stosowanych bezstykowych systemów pomiarowych należy mikroskopia konfokalna, w tym pomiary z czujnikiem chromatycznym konfokalnym”. W treści rozprawy doktorskiej brak wspomnianego przeglądu literatury. Można jedynie przypuszczać, że zestawienie powstało na podstawie wpisywania słów kluczowych, generujących dane publikacje, których liczba została wskazana w Tabeli 2.1. Brakuje natomiast informacji, w jakim zakresie i w jakim celu wymienione bezstykowe urządzenia pomiarowe zostały wykorzystane. Trudno więc określić, czy rzeczywiście przyrząd optyczny z czujnikiem chromatycznym konfokalnym był do tej pory najczęściej stosowanym rozwiązaniem przyjmowanym w metodyce badań.**
- Punkt 2.2.1. Mikroskopia konfokalna. Ten punkt powinien znaleźć się w dalszej treści rozprawy doktorskiej w części poświęconej metodyce badań.
- Podrozdział 2.3. ma ogólny tytuł, który nie odnosi się do treści, gdzie przedstawiono zagadnienia w zakresie strategii pomiarowej dla konkretnego przyrządu optycznego, wykorzystującego metodę profilową, a co za tym idzie, a czego nie wymieniono w „opisie poszczególnych etapów procedury pomiarowej z użyciem optycznych systemów pomiarowych”, istotne jest ustawienie powierzchni mierzonej względem głowicy pomiarowej.
- Niepoprawnie stosowane jest określenie „parametry GPS”, gdyż chodzi o strukturę geometryczną powierzchni czyli SGP, a nie geometryczną specyfikację wyrobu (z ang. geometrical product specifications GPS).
- Strona 19, zdanie „W podsumowaniu należy stwierdzić, że brak jest obecnie standardów dotyczących realizacji pomiarów topografii powierzchni i analizy cyfrowej uzyskanych danych pomiarowych”. Wytyczne dotyczące pomiarów przedmiotów zwykle zawierają odpowiednie normy. Jeśli takich wytycznych nie ma, stosuje się ogólne zasady pomiaru, uzależnione od urządzenia pomiarowego, materiału przedmiotu, charakteru ukształtowania powierzchni oraz przeznaczenia przedmiotu. Nie bez znaczenia jest doświadczenie osoby prowadzącej badania topografii powierzchni (pomiaru i analizę).
- Strona 19, napisano „...temperatura, którą operator przyjmuje w laboratorium podczas skanowania powierzchni i parametry nastaw urządzenia, mają istotny wpływ na większość parametrów...”. Pomiaru prowadzone są w różnych warunkach. Jednak każde urządzenie w specyfikacji technicznej ma określone warunki, w których powinno pracować. Ponieważ pomiary topografii powierzchni należą do precyzyjnych, należy zapewnić urządzeniu pomiarowemu pomieszczenie klimatyzowane z odpowiednią temperaturą i wilgotnością powietrza.
- Podrozdział 2.4. Doktorantka przytoczyła pracę [126], jednak nie podała dokładnego znaczenia prezentowanych w niej badań. Autorzy przedstawili wyniki otrzymane przy wykorzystaniu innego (inna metoda akwizycji danych pomiarowych) niż rozpatrywane w rozprawie doktorskiej urządzenia pomiarowego.
- Strona 20, zdanie „... ze względu na brak jednolitych wytycznych dotyczących strategii pomiarowych dla konkretnych systemów optycznych, operator musi każdorazowo opisywać algorytm procedur akwizycji i cyfrowej obróbki danych pomiarowych...”. Prawdą jest, że jeśli nie ma konkretnych wytycznych dot. oceny jakości wytworzonego przedmiotu (np. ujętych w normach) należy określić metodykę badań z podaniem programu badań, urządzeń pomiarowych oraz sposobu analizy wyników. Ze względu na liczbę czynników, nie ma możliwości, aby ujednotwić metodykę badań dla każdego urządzenia lub badanych przedmiotów.

- **Strona 22, ostatni akapit:** (1) Strategia pomiaru zależy od wielu czynników, w tym celu badań, materiału, z którego wykonany został badany przedmiot, charakteru (jakości) ukształtowania powierzchni, urządzenia pomiarowego (dostępności do urządzeń pomiarowych). Dlatego opracowanie uniwersalnej strategii pomiarowej nie jest możliwe. (2) Poza tym, podkreślone zostało, że „istnieje potrzeba poszukiwania wytycznych dotyczących strategii pomiarowej, która będzie efektywna i przyczyni się do oszczędności czasu oraz wpisuje się w obecne trendy metrologii powierzchni”. Biorąc pod uwagę rozpatrywane urządzenie pomiarowe, które wykorzystuje metodę profilową trudno spodziewać się efektywności i oszczędności czasu, ze względu na czas akwizycji danych pomiarowych. (3) **Pisząc „Podjęte i opisane ... prace badawcze nad opracowaniem jednolitych standardów dla pomiarów topografii powierzchni wpisują się w aktualne potrzeby...”, jaki typ rozwiązań, rodzaj przedmiotów, ukształtowanie powierzchni czy zastosowanie Doktorantka ma na myśli?**

Rozdział trzeci **Cel, teza i zakres pracy** przedstawiona zgodnie z tytułem rozdziału główny cel rozprawy doktorskiej, którym było „opracowanie strategii pomiarowej dla pomiarów realizowanych optycznymi systemami pomiarowymi wyposażonymi w czujniki konfokalne z uwzględnieniem istotnych czynników dotyczących akwizycji chmury punktów oraz ich cyfrowego przetwarzania, wpływających na ocenę topografii powierzchni”. Poza tym określono sześć celów szczegółowych. Zdefiniowano również tezę rozprawy doktorskiej twierdząc, że „możliwe jest zredukowanie szumu pomiarowego poprzez odpowiedni dobór nastaw przyrządu pomiarowego oraz wybór odpowiednich parametrów cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych”. W podsumowaniu rozdziału podano zakres pracy, obejmujący siedem etapów.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Strona 22. Cel rozprawy należy doprecyzować. Jakiego rodzaju przedmiotów/ukształtowania powierzchni dotyczy opisana strategia pomiarowa?
- Strona 22. Teza rozprawy: „możliwym jest zredukowanie szumu pomiarowego poprzez odpowiedni dobór nastaw przyrządu pomiarowego oraz wybór odpowiednich parametrów cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych”. Dla jakich powierzchni taka teza została określona?
- Strona 22, cel szczegółowy nr4. Co oznaczają pojęcia ocena jakościowa i ocena ilościowa?
- Strona 23, zakres pracy – ostatni punkt. O jakie alternatywne technologie pomiaru topografii powierzchni chodzi? Należało doprecyzować jakie technologie/urządzenia pomiarowe Doktorantka ma na myśli.
- **Metodyka badań została umieszczona fragmentami w różnych rozdziałach rozprawy doktorskiej, co uniemożliwiło spojrzenie całościowo na podejście prowadzące do osiągnięcia zdefiniowanego celu rozprawy doktorskiej. Metodyka badań stanowi słaby punkt rozprawy doktorskiej.**
- **Brakuje schematu, który obrazowałby metodykę badań – program badań i analiz, z odniesieniem do rozdziałów rozprawy doktorskiej, prezentujących określone wyniki.**

Rozdział czwarty **Koncepcja strategii pomiarowej oceny topografii powierzchni** prezentuje przyjętą przez mgr inż. Emilię Bachtiaak-Radka strategię pomiarową do oceny topografii powierzchni, obejmującą określenie warunków pomiaru, warunków cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych oraz weryfikację przyjętej strategii. Przedstawiono również stanowisko badawcze wraz z syntetyczną charakterystyką – multisensoryczne urządzenie pomiarowe wyposażone w głowice do pomiaru topografii powierzchni metodą bezstykową (konfokalna i interferencyjna) oraz stykową. Omówiono przedmiot badań, którym był wzorzec odstępów typu C1, o profilu sinusoidalnym. Podano wybrane parametry charakteryzujące ukształtowanie (topografię) powierzchni, część z nich omówiono, ale ostatecznie nie wskazano wytypowanych do analizy parametrów wraz z uzasadnieniem ich wyboru.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Strona 26, zdania: „Do celów badawczych przygotowano wzorzec chropowatości powierzchni typu C1 (rowki o profilu sinusoidalnym) o wywzorcowanej wartości parametru $R_a = 3,2 \mu\text{m}$...” Wzorzec został

specjalnie przygotowany i dostosowany do wymagań eksperymentu...". Co znaczy „przygotowano wzorzec”/”wzorzec został specjalnie przygotowany”?

- Tabela 4.2. Przedstawiono wybrane parametry opisujące topografię powierzchni. Pod tabelą zawarto opis parametrów, ale ograniczony do kilku z zaprezentowanych w Tabeli 4.2.
- Strona 29, ostatni akapit rozdziału. (1) Pisząc o tym, że „Operator może mieć różne preferencje i kryteria oceny... Należy dążyć do obiektywnego i jednolitego podejścia, opartego na normach i standardach”. Nie można wykluczać indywidualnego podejścia operatora do pomiarów i analizy wyników. W głównej mierze wspomniane podejście jest podyktowane doświadczeniem metrologicznym. Dlatego o ile dozwolone jest opracowanie zaleceń, to nie można narzucać ich stosowania. (2) W badaniach ukształtowania powierzchni, właściwości funkcjonalnych oraz jakości technologicznej przedmiotu wytworzonego kluczowe jest podejście kompleksowe, wykorzystujące różne metody badań i pomiaru powierzchni. Dlatego zalecane jest stosowanie komplementarnych metod, pozwalających na ukazanie charakteru ukształtowania powierzchni przedmiotu badanego i kompleksową ocenę.
- W treści rozdziału zdarzają się błędy edytorskie, interpunkcyjne oraz niepoprawne sformułowania, np. „wykończeniowa” a nie „wykańczająca”(str. 26).

Rozdział piąty ***Ocena wpływu warunków akwizycji chmury punktów czujnikiem chromatycznym konfokalnym na wartości wybranych parametrów SGP*** rozpoczyna omówienie pojęć i warunków badań przyjętych na potrzeby realizacji tematu rozprawy doktorskiej. Podano trzy kryteria doboru parametrów akwizycji chmury punktów, a także informacje o zakresie merytorycznym rozdziału. Rozdział składa się z czterech podrozdziałów, w których zaprezentowano kolejno: program badań doświadczalnych (5.1), opracowanie i analiza wyników badań (5.2), identyfikacja wpływu sposobu akwizycji chmury punktów na parametry SGP (5.3) oraz walidacja doboru najkorzystniejszych warunków akwizycji chmury punktów (5.4). Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych, analizie istotności wpływu akwizycji danych pomiarowych na parametry topografii powierzchni oraz weryfikacji otrzymanych wyników, wskazano parametry ustawienia urządzenia pomiarowego – profilowego, optycznego z czujnikiem chromatycznym konfokalnym, które zdaniem mgr inż. Emilii Bachtiaak-Radka są najbardziej efektywne pod względem czasu pomiaru oraz liczby punktów niezmiernych, stanowiąc zalecane dla operatorów i metrologów ustawienia urządzenia z czujnikiem chromatycznym konfokalnym.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Strona 30, zdanie „Zaproponowana metodyka objęła analizę wybranych czynników, np. jasności oświetlenia, próbkowanie w osiach x oraz y, prędkości pomiaru, wynikowego czasu pomiaru oraz warunków otoczenia”. O ile operator ma wpływ na ustawienia urządzenia pomiarowego jak oświetlenie, próbkowanie w osiach x i y oraz prędkość pomiaru, o tyle pozostałe składniki nie są bezpośrednio od niego zależne, gdyż czas pomiaru to wynik wcześniejszych ustawień, a warunki otoczenia, to kwestia lokalizacji. Jak już wcześniej wspomniano, pomiary topografii powierzchni należą do precyzyjnych, stąd urządzenia pomiarowe powinny się znajdować w odpowiednio przygotowanych pomieszczeniach z klimatyzacją, zapewniając wymaganą temperaturę i wilgotność powietrza.
- Strona 30, zdanie „Wyniki badań wpływu sposobu akwizycji chmury punktów na parametry... dostarczyły wiedzy na temat najkorzystniejszych parametrów nastaw przyrządu optycznego z czujnikiem chromatycznym konfokalnym...”. Należałoby uszczegółwić ten zapis o zastosowanie tych badań pod względem np. rodzaju materiału, ukształtowania powierzchni czy doświadczenia operatora (o tym wspomniano w uwagach do rozdziałów drugiego i czwartego).
- **Podrozdział 5.1. Proszę wyjaśnić przedstawione w niniejszym podrozdziale zapisy: (1) „W celu przeprowadzenia badań przygotowano wzorzec chropowatości powierzchni o wartości nominalnej $S_a = 3,2 \mu\text{m}$.” – Kto poczynił te przygotowania i na czym one polegały? Czy to nie chodzi o wzorzec typu C1 (rowki o profilu sinusoidalnym) o $R_a = 3,2 \mu\text{m}$, o którym wspomniano w ramach rozdziału czwartego? (2) Dlaczego przy określaniu obszaru pomiarowego i wiadomej długości odcinka elementarnego $l_r = 0,8 \text{ mm}$ dla pomiaru chropowatości, przyjęto trzykrotność jego wartości, skoro zgodnie z wytycznymi, odcinek pomiarowy powinien być co najmniej pięciokrotnie dłuższy? (3) „Przed rozpoczęciem serii**

pomiarów przygotowano laboratorium, ustalając temperaturę otoczenia na poziomie 20°C” – W jaki sposób to ustawienie nastąpiło? Czy ktoś miał nad tym kontrolę – w jaki sposób sprawdzano, czy temperatura się nie zmienia podczas pomiarów? Jaki zakres \pm przyjęto?

- Strona 31 – Tabela 5.1 oraz strona 32 – Tabela 5.2. Tabela 5.1. w ostatniej kolumnie prezentuje zakresy, ale w badaniach zastosowano wybrane wartości rozpatrywanych czynników (parametrów pomiarowych). Powinno się podawać konkretne wartości, które rozpatruje się w badaniach doświadczalnych. Poza tym, z uwagi na mnogość parametrów pomiarowych oraz ich zakresy, zwłaszcza w przypadku badań topografii powierzchni, należało skupić się maksymalnie na dwóch najbardziej istotnych, a pozostałe przyjąć jako niezmiennie. Wówczas byłaby możliwość sprawdzenia wszystkich konfiguracji, co pozwoliłoby wybrać rzeczywiście najbardziej efektywne ustawienie urządzenia pomiarowego w zastosowaniu do odpowiedniego materiału, ukształtowania oraz jakości technologicznej powierzchni przedmiotu wytworzonego. Tymczasem zaproponowany w Tabela 5.2. plan eksperymentu nie uwzględnia wielu ustawień, z których mogłoby wyjść, że w innej konfiguracji efektywność pomiarowa byłaby lepsza.
- **Podrozdział 5.2. prezentuje wyniki badań topografii powierzchni wraz z syntetyczną ich analizą.** (1) Biorąc pod uwagę, że urządzenie pomiarowe zostało przed rozpoczęciem badań doświadczalnych skalibrowane, a przedmiotem badań był wzorzec, to wynik pomiaru topografii powierzchni powinien być tożsamy z charakterystyką wzorca (a nie jest). (2) Poza tym **wszystkie przedstawione mapy powierzchni oraz obrazy aksonometryczne wyglądają jakby nie zostały wypoziomowane**, a to jedna z pierwszych czynności, które należy wykonać przed wygenerowaniem parametrów chropowatości powierzchni. W przeciwnym wypadku parametry chropowatości są obciążone błędem. Dodatkowo skala powinna zostać wypośredkowana, wskazując płaszczyznę odniesienia dla charakteryzowania wzniesień i wgłębień. (3) **Brakuje uzasadnienia wyboru analizowanych parametrów oraz funkcji.** (4) **Analizę niektórych układów podsumowuje stwierdzenie dotyczące oceny właściwości funkcjonalnych powierzchni – o jakie właściwości chodzi?** (5) Zastanawiające są błędy występujące na powierzchni wzorca, zwłaszcza przy założeniu podanym na stronie 31, że „...seria pomiarów została wykonana... przy jednym ustawieniu wzorca” i prawdopodobnie ten sam obszar był stale mierzony.
- Strony 88-89, Tabela 5.138. Biorąc pod uwagę czasochłonność pomiaru i liczbę punktów niezmiernych, korzystnie wypadają układy 8 i 16. Niezależnie od tego, czas pomiaru i tak jest zbyt długi by znaleźć zastosowanie w przemyśle do kontroli jakości technologicznej przedmiotów wytworzonych.
- **Strona 89, zdanie „Czas pomiaru wpływa na jego koszt oraz możliwości zastosowania określonych parametrów nastaw przyrządu optycznego z czujnikiem chromatycznym konfokalnym w praktyce przemysłowej”. Jak to stwierdzenie odnosi się do otrzymanego wyniku – wskazania najbardziej korzystnych warunków pomiaru przyrządem optycznym z czujnikiem chromatycznym konfokalnym, uważanych za najbardziej efektywne rozwiązanie, gdzie czas pomiaru powierzchni 2,4 mm x 2,4 mm wyniósł ponad 20h?**
- Strona 92, zdanie „Na etapie cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych operator ma możliwość zredukowania wartości parametrów...” W jaki sposób taka redukcja miałaby nastąpić, przy założeniu, że wspomniany operator jest osobą odpowiedzialną za proces produkcyjny oraz jakość technologiczną wytwarzanych produktów?
- **Podrozdział 5.3. Brakuje merytorycznego uzasadnienia zastosowania analizy statystycznej. Czy sprawdzono wszystkie warunki uprawniające do wykorzystania analizy ANOVA, m.in. sprawdzenie spełnienia założenia normalności rozkładu i równości wariancji?**
- Strona 100. W podsumowaniu rozdziału piątego podano wniosek dotyczący najbardziej korzystnych parametrów ustawienia pomiarowego przyrządu optycznego z czujnikiem chromatycznym konfokalnym. Proszę wskazać, gdzie wskazane rozwiązanie znajdzie praktyczne zastosowanie?
- W treści rozdziału zdarzają się błędy edytorskie i stylistyczne, np. „... zrozumienie tego wpływu jest istotne na ocenę jakości pomiarów” czy „Drugim kryterium stanowiły...” (str. 31), Syk zamiast Svk (str.54).

W rozdziale szóstym ***Ocena wpływu warunków cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych na wartości wybranych parametrów SGP*** przedstawiono główne założenia dotyczące cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych, mające na celu dobór odpowiednich etapów cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych dla zapewnienia wiarygodnych parametrów charakteryzujących topografię powierzchni technologicznie wytworzonych przedmiotów. Wytypowano trzy kryteria wejściowe cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych, które zastosowano dla najlepszego rozwiązania, wskazanego w rozdziale piątym

(układ nr2 planu eksperymentu, Tabela 5.2). Rozdział podzielono na cztery podrozdziały, w których przedstawiono kolejno: program badań doświadczalnych (6.1), opracowanie wyników badań (6.2), identyfikacja wpływu cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych na parametry SGP (6.3), ocena szumu pomiarowego metodą odejmowania (6.4), walidacja sposobu doboru najkorzystniejszych warunków cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych (6.5). Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych, analiz oraz walidacji otrzymanych wyników, wskazano etapy cyfrowej obróbki danych pomiarowych otrzymanych z urządzenia pomiarowego – optycznego z czujnikiem chromatycznym konfokalnym, które zdaniem mgr inż. Emilii Bachtiaak-Radka są najbardziej odpowiednie ze względu na odwzorowanie rzeczywistego charakteru powierzchni mierzonej i wiarygodność wyników w postaci parametrów opisujących topografię powierzchni technologicznie wytworzonego produktu.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Podrozdział 6.1, zdanie „Cyfrowe przetwarzanie danych pomiarowych powierzchni daje metrologowi większą elastyczność i swobodę w wyborze odpowiednich etapów przetwarzania szczególnie wtedy, gdy nie są one precyzyjnie wytyczone przez technologia” i kolejne zdania. Nie do końca przekonuje mnie takie stwierdzenie, gdyż nie znam przypadku, aby technolog narzucił sposób analizy danych pomiarowych. Wszystko zależy od przedmiotu, jego przeznaczenia, a przede wszystkim doświadczenia metrologicznego osoby prowadzącej analizę. Nikt w przemyśle nie pozwoli sobie na „naciąganie wyników”, bo ocena jakości technologicznej przedmiotu stanowi podstawę do wprowadzania ew. działań korygujących lub zapobiegawczych do procesu produkcyjnego.
- Strona 102, Tabela 6.1. W ostatniej kolumnie podano zakresy czynności wykonywanych na danych pomiarowych, ale w badaniach zastosowano wybrane z nich, stosując nowy plan eksperymentu. Z uwagi na mnogość czynności, które należy wykonać przygotowując dane pomiarowe do analizy, zwłaszcza w przypadku badań topografii powierzchni, należało skupić się (podobnie jak w przypadku poprzedniego planu eksperymentu) maksymalnie na dwóch najbardziej istotnych, a pozostałe przyjąć jako niezmiennicze. Wówczas byłaby możliwość sprawdzenia wszystkich konfiguracji, co pozwoliłoby wybrać rzeczywiście najbardziej odpowiednie czynności cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych. Tymczasem zaproponowany w Tabeli 6.1. plan eksperymentu nie uwzględnia wielu ustawień, z których mogłoby wynikać, że w innej konfiguracji efektywność cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych byłaby lepsza.
- Tabele prezentujące mapy powierzchni oraz obrazy aksonometryczne. Skala powinna zostać wyśrodkowana, wskazując płaszczyznę odniesienia dla charakteryzowania wzniesień i wgłębień.
- Strona 103, Tabela 6.2. Przyjęta numeracja układów planu eksperymentu jest taka sama jak użyta w poprzednim planie eksperymentu, co wprowadza pewne zamieszanie.
- Podrozdział 6.3. Uwaga taka sama jak dla podrozdziału 5.3 na stronie 7 recenzji.
- Strona 126, ostatni akapit, zdanie „Wyniki analizy miały praktyczne zastosowanie, umożliwiając opracowanie strategii pomiarowej dla operatorów maszyn pomiarowych, co przyczyniło się do standaryzacji procesu przetwarzania danych i uzyskania powtarzalnych i wiarygodnych wyników”. Czy gdzieś wykorzystano zaproponowane podejście do badań topografii powierzchni i kontroli jakości technologicznej wytwarzanych przedmiotów, celem optymalizacji procesu produkcyjnego?

Rozdział siódmy – **Strategia pomiarowa oceny topografii powierzchni dla przyrządu optycznego z czujnikiem chromatycznym konfokalnym** – przedstawia podsumowanie rozdziałów piątego i szóstego, które dotyczyły badań wpływu warunków akwizycji oraz cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych na generowane parametry charakteryzujące topografię powierzchni technologicznie wytworzonego przedmiotu. Na podstawie otrzymanych wyników została zaproponowana strategia pomiarowa oceny topografii powierzchni, która zdaniem mgr inż. Emilii Bachtiaak-Radka pozwoli operatorom urządzenia pomiarowego – optycznego z czujnikiem chromatycznym konfokalnym, na pozyskanie powtarzalnych, wiarygodnych oraz dokładnych wyników pomiarów, umożliwiających ocenę jakości powierzchni wytworzonej. Poza tym, zaproponowany został schemat postępowania, obejmujący warunki pomiaru i oceny topografii powierzchni dla rozpatrywanego urządzenia pomiarowego, który zdaniem mgr inż. Emilii

Bachtiak-Radka należy zastosować, w przypadku braku wskazań określonych w dokumentacji technicznej przedmiotu.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Strona 127, Rysunek 7.1. Wybrane uwagi do prezentowanej strategii pomiarowej oceny topografii powierzchni dla przyrządu optycznego z czujnikiem chromatycznym konfokalnym: (1) Dokumentacja techniczna powinna zawierać wszystkie informacje, które pozwalają na zweryfikowanie jakości technologicznej wytworzonego przedmiotu. (2) Zalecenie odnoszące się do temperatury pomieszczenia ma znaczenie jedynie dla niewyspecjalizowanych laboratoriów badawczych (urządzenia do badań topografii powierzchni zwykle znajdują się w pomieszczeniach klimatyzowanych). (3) Odcinek pomiarowy jest podyktowany charakterem ukształtowania powierzchni i powinien być co najmniej pięciokrotnie większy od odcinka elementarnego. (4) Kontrola jakości technologicznej wytworzonych przedmiotów musi być prowadzona przez odpowiedzialną osobę, gdyż przedsiębiorstwa nie mogą sobie pozwolić na naciąganie wyników, które zamiast prowadzić do optymalizacji procesów poprodukcyjnych, pogłębią ich wadliwość.
- Strona 129, zdanie „... schemat jest obowiązujący w takiej sytuacji, gdy dokumentacja techniczna nie zawiera informacji dotyczących nastaw przyrządu pomiarowego ani parametrów przetwarzania chmury punktów”. Nie znam przypadku, aby ustawienia urządzenia pomiarowego czy sposób przetwarzania chmury punktów były ujęte w dokumentacji technicznej. Poza tym nie można narzucać, a jedynie zalecać przyjęcie jakiegoś rozwiązania. Doświadczony metrolog (badacz) opracowuje metodykę badań w odniesieniu do przedmiotu badań, celu badań oraz przeznaczenia badanego przedmiotu.
- **Czy podjęto próbę zweryfikowania zasadności przyjętej strategii pomiarowej oceny topografii powierzchni przy użyciu przyrządu optycznego z czujnikiem chromatycznym konfokalnym w jakimkolwiek przedsiębiorstwie? Czy przed rozpoczęciem opracowania strategii pomiarowej konsultowano się z przedstawicielami przedsiębiorstw produkcyjnych?**
- W treści rozdziału zdarzają się błędy edytorskie i stylistyczne, np. „... w dokumentacja techniczna...” (str. 129).

Rozdział ósmy – **Weryfikacja opracowanej strategii pomiarowej w ocenie topografii powierzchni technologicznej** – przedstawia wyniki pomiarów technologicznie wytworzonej powierzchni, celem zweryfikowania przyjętej strategii pomiarowej w zakresie procesu akwizycji chmury punktów oraz cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych. Przedmiotem badań była próbka wykonana ze stali C45, której powierzchnię ukształtowano w operacji frezowania – chropowatość $Ra = 3,2 \mu m$. Badania zrealizowano z wykorzystaniem dwóch urządzeń pomiarowych, z których każde charakteryzowała inna metoda pomiaru. W podsumowaniu przedawniono wnioski wynikające z przeprowadzonej weryfikacji.

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Zastosowane w badaniach topografii powierzchni urządzenia charakteryzują różne metody pomiaru – pierwsze opiera się na profilowej akwizycji danych (punktów) pomiarowych, natomiast drugie – na skanowaniu powierzchni w zadanym zakresie pomiarowym. Proszę podać uzasadnienie wyboru urządzenia pomiarowego, weryfikującego przyjętą strategię pomiarową.
- Strony 133-134, Tabela 8.1. Z czego wynikają tak duże rozbieżności parametrów w kolejnych pomiarach topografii powierzchni dla urządzenia pomiarowego optycznego z czujnikiem chromatycznym konfokalnym?
- Strona 134, Tabela 8.1. Proszę wyjaśnić, dlaczego w badaniach weryfikujących wykonano pojedynczy pomiar powierzchni?
- Strona 135, zdanie „Otrzymane parametry... dostarczają istotnych informacji o charakterystyce powierzchni badanej próbki”. Proszę wyjaśnić, o jaką charakterystykę chodzi? Co konkretnie Doktorantka ma na myśli, podając takie stwierdzenie?

Rozdział dziewiąty – **Wnioski** – stanowi podsumowanie rozprawy doktorskiej, nawiązujące do przeglądu literatury oraz prezentujące otrzymane wyniki. Po syntetycznym wprowadzeniu, przedstawiono dwa podrozdziały, z których pierwszy (9.1) dotyczy wniosków z przeprowadzonych badań (łącznie zdefiniowano 12 wniosków), natomiast drugi (9.2) dotyczy wniosków na przyszłość (łącznie wskazano 4 kierunki dalszych badań).

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Strona 136, zdanie „... warunkiem koniecznym oceny stopnia zgodności różnych technologii... jest wyznaczenie wartości wybranych wskaźników SGP lub prowadzenie pomiaru powierzchni zgodnie z metodyką zdefiniowaną przez konstruktora”. Konstruktor określa charakterystykę powierzchni, którą podaje w dokumentacji technicznej. Zwykle to normy podają, jaką metodykę badań należy przyjąć.
- Strona 137, wniosek nr2. Podano najbardziej efektywne (ze względu na czas pomiaru) układy – 8 i 16. Natomiast za najbardziej korzystny uznano układ 2 planu eksperymentu. Dlaczego wnioski nie odnoszą się do zalecanych ustawień urządzenia pomiarowego?
- Strony 137-138, wniosek nr5. Zalecenia podane w tym wniosku stanowią podstawę cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych w celu przeprowadzenia analizy topografii powierzchni. Zatem nie wynikają bezpośrednio z zaprezentowanych w treści rozprawy doktorskiej badań i analiz, a są jedynie potwierdzeniem standardowego podejścia do analizy topografii powierzchni.
- Strona 138, wniosek nr6. Co oznacza pojęcie „cechy jakościowe”?
- Strona 139, zdanie „Podsumowując, w wyniku przeprowadzonej weryfikacji... możliwe jest dokładne ocenienie topografii powierzchni próbki frezowanej z materiału C45 o twardości 25 HRC”. W pracy brakuje wspomnianej dokładnej oceny topografii powierzchni. Doktorantka ograniczyła się jedynie do wygenerowania wybranych parametrów, pomijając ich analizę.
- **Strona 139, wniosek nr1. Jaki konkretnie rodzaj badań porównawczych Doktorantka ma na myśli? Poza tym, kto miałby prowadzić takie badania (jedna osoba czy w każdy laboratorium inna?), skoro w załączeniu Doktorantka podała, że operator może wpływać na wynik pomiaru?**
- Strona 139, wniosek nr2. Właściwym jest lokalizowanie urządzeń pomiarowych w specjalnie przygotowanych pomieszczeniach klimatyzowanych.
- Strona 139, wniosek nr4. Wspomniane badania z wykorzystaniem multisensoryki są obecnie prowadzone nie tylko w naukowych ośrodkach zagranicznych (m.in. Francja, Wielka Brytania, USA), ale również krajowych (m.in. Koszalin, Kraków, Poznań, Rzeszów).
- Strona 140. Akapit podsumowujący rozdział dziewiąty został zbyt górnolotnie opisany. Doktorantka przedstawia w nim subiektywną ocenę zrealizowanych prac.

Literatura obejmuje zestawienie łącznie 160 pozycji, w tym 11 książek, 116 artykułów naukowych, 27 norm i 6 innych opracowań. Wśród przytoczonych pozycji literaturowych 40 pozycji zostało opublikowanych w ciągu ostatnich 5 lat (od roku 2020). **Dobór literatury pod względem tematyki uważam za poprawny, choć brakuje więcej aktualnych pozycji. Na uwagę zasługuje powołanie się w rozprawie doktorskiej na 8 współautorskich opracowań z udziałem mgr inż. Emilii Bachtiak-Radka.**

UWAGI KRYTYCZNE, EDYTORSKIE I PYTANIA

- Spis literatury powinien być alfabetyczny (wg nazwisk autorów), dzięki czemu byłby bardziej czytelny; powinien zostać zastosowany podział na publikacje, normy, strony internetowe i inne dokumenty.
- Niektóre pozycje literaturowe mają niekompletne dane – brakuje nazwisk współautorów, np. w poz. 31 brakuje V. Lubimowa, który był głównym autorem tej monografii naukowej, ekspertem w zakresie pomiarów topografii powierzchni.

PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Recenzowana **rozprawa doktorska pt. *Wpływ strategii pomiarowej na ocenę topografii powierzchni przyrządem optycznym z czujnikiem chromatycznym konfokalnym* jest opracowaniem** dotyczącym zagadnień metrologii warstwy wierzchniej w zakresie topografii powierzchni technologicznie wytworzonego przedmiotu. **Przedstawiony materiał doświadczalno-analityczny jest oryginalnym dorobkiem mgr inż. Emilii Bachtiak-Radka, opracowanym na wystarczającym poziomie merytorycznym, który wpisuje się w zakres dziedziny *nauk inżynierjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna*.**

Prace doświadczalno-analityczne podjęte przez mgr inż. Emilię Bachtiak-Radka pozwoliły na osiągnięcie celu głównego oraz celów szczegółowych zdefiniowanych w rozprawie doktorskiej,

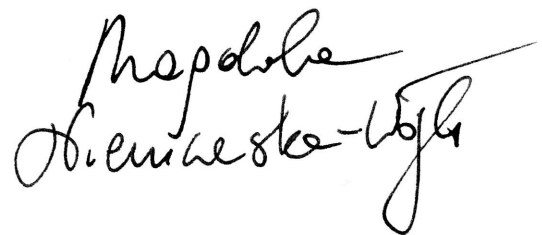
uzupełniając wiedzę w zakresie strategii pomiarów metodą profilową bezstykową topografii powierzchni technologicznie wytworzonych przedmiotów przy wykorzystaniu przyrządu optycznego z głowicą chromatyczną konfokalną.

Przedstawione w rozprawie doktorskiej informacje, badania, analiza wyników oraz wnioski wskazują, że **mgr inż. Emilia Bachtia-Radka orientuje się w bibliografii przedmiotu oraz posiada wiedzę i doświadczenie badawcze niezbędne do formułowania i rozwiązywania problemów naukowych, jak również realizowania zaplanowanych prac doświadczalno-analitycznych** w ramach podjętej tematyki.

Pomimo wskazanych uwag krytycznych i wątpliwości, należy docenić zakres **realizowanego programu badań, wymagający od mgr inż. Emilii Bachtia-Radka zaangażowania, dobrej organizacji pracy oraz umiejętności analitycznych**. Zaprezentowane w rozprawie doktorskiej badania stanowią przyczynek do ich kontynuowania w ramach dalszej działalności naukowo-badawczej mgr inż. Emilii Bachtia-Radka.

Przedstawione w recenzji rozprawy doktorskiej uwagi w większości stanowią sugestię do rozwinięcia zaprezentowanych badań, a część z nich ma charakter polemiczny, co nie wpływa znacząco na ocenę merytoryczną poziomu opracowania rozprawy doktorskiej. W związku z tym, **rozprawę doktorską mgr inż. Emilii Bachtia-Radka w ogólnym odbiorze oceniam pozytywnie**.

Na podstawie przedstawionej recenzji **stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Emilii Bachtia-Radka pt. *Wpływ strategii pomiarowej na ocenę topografii powierzchni przyrządem optycznym z czujnikiem chromatycznym konfokalnym* spełnia wymagania obowiązującej ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony w ramach dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna**.



M. Szpach