

Prof. dr hab. inż. Jerzy Andrzej Sładek
Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej (M10)
Wydział Mechaniczny
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Paweł Maciołka
**„Przestrzenny model MES odkształceń w styku elementarnych
nierówności z płaską powierzchnią przy obciążeniu
normalnym**

Podstawa opracowania:

*zlecenie Przewodniczącego komisji ds. Stopni Naukowych w Dyscyplinie Inżynieria
Mechaniczna Prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gronostajskiego z dnia 23.01.2020 -
Politechnika Wroclawska Wydział Mechaniczny*

1. Charakterystyka ogólna.

Dążenie do zwiększania dokładności wykonania wyrobów – co przynosi z reguły wymierne korzyści finansowe – jest w sytuacji dużej konkurencji rynkowej zrozumiałe. Dla realizacji tego celu koniecznym jest uwzględnienie całości czynników wpływających na dokładność wytwarzania. Taka dokładność musi dotyczyć nie tylko analizy zagadnień związanych z dokładnością maszyn produkcyjnych, ale i kwestii problemów powstających w fazie eksploatacji z uwagi na to, że podczas procesów wytwarzania ujawniają się skutki oddziaływania sił także w postaci niepożądanych przemieszczeń będących wynikiem ograniczonej sztywności układu OUPN. Takie przemieszczenia pogarszają dokładność obróbki. Bywają one poddawane analizom wynikającym z badań doświadczalnych, ale w bardzo ograniczonym zakresie i bez szerszego wnikania w istotę zjawiska odkształceń. Aspekt przemieszczeń wywołanych przez chropowatość powierzchni obrabianych części w odniesieniu np. do mocowania w uchwytach jest rzadko poddawany analizom teoretycznym i eksperymentalnym.
W tym kontekście wybór tematu pracy należy uznać za bardzo trafny.

2. Układ i obszar merytoryczny monografii

Recenzowana praca doktorska liczy 108 wliczając literaturę, spis rysunków, wykaz oznaczeń i tabel. Literatura zawiera 36 pozycji.

Rozdział 1. Wstęp. - W tym wstępie podano krótkie uzasadnienie wiarygodnego wyznaczenia odkształceń i związanych z tym przemieszczeń w obszarze styku kształtowanego przedmiotu z elementami uchwytów obróbkowych.

Rozdział 2. Przegląd literatury. - Autor przedstawił w tym rozdziale stan wiedzy w zakresie badań nad stykiem dwóch elementów obciążonych siłą. Przegląd literatury dotyczył opublikowanych prac w okresie ostatnich 20 lat i dotyczył takich zagadnień jak modele styku i kształty nierówności. Opisywane modele były związane z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES).

Rozdział 3. Cel i zakres pracy. - Przedstawiono w nim konieczność uwzględnienia w pracy kształtów nierówności zbliżonych do rzeczywistych oraz dokonania weryfikacji opracowanego modelu dla pojedynczych nierówności co znalazło odbicie w przedstawionym celu i zakresie pracy. Podano także podpunkty związane z dwoma zadaniami badawczymi i zakresem ich realizacji.

Rozdział 4. Budowa stanowiska do badań styku. – Opisano w nim stanowisko zaprojektowane przez autora a przeznaczone do doświadczalnych badań odkształceń stykowych dla powierzchni chropowatych i obciążonych siłą działającą w kierunku normalnym. Scharakteryzowano poszczególne podzespoły i układy wchodzące w skład stanowiska oraz próbki testowe. Oprócz tego przeprowadzono analizę konstrukcji z wykorzystaniem symulacji komputerowej załączając uzyskane wyniki obliczeń wraz z mapą naprężeń zredukowanych i przemieszczeń. Oszacowano również potencjalne źródła błędów jakie mogą wystąpić podczas badania próbki.

Rozdział 5. Badania eksperymentalne. – W tym rozdziale opisano rodzaje próbek i przeprowadzone badania doświadczalne dotyczące wyznaczenia charakterystyki styku pomiędzy powierzchniami o określonej chropowatości obciążonymi siłą normalną przy czym autor przyjął za charakterystykę zależność wartości przemieszczenia od siły ale równocześnie założył (ze względów praktycznych), że zmienną będzie przemieszczenie a wynikiem siła. Autor opisał też strategię (słowo chyba na wyrost w tym przypadku, lepiej metodykę oszacowania składników odkształceń w postaci odkształceń sprężystych, sprężysto-plastycznych zarówno liniowych jak i nieliniowych).

Rozdział 6. Trójwymiarowy model styku elementarnych nierówności z płaską powierzchnią z zastosowaniem metody elementów skończonych. - zostaje w nim omówiona koncepcja budowy modelu numerycznego 3D odnoszącego się do strefy styku. Opisuje dane przyjęte do obliczeń **symulacyjnych**, w tym siatkę dyskretyzacji i rodzaje elementów przestrzennych. W tym rozdziale oprócz modelu zamieszczono również wyniki obliczeń charakterystyki styku w postaci mapy naprężeń w warstwie styku dla tzw. Pełnego modelu i Ćwierć modelu. W rezultacie pozwoliło to na porównanie obliczonych wg modelu 3D charakterystyk z danymi eksperymentalnymi.

Rozdział 7. Wnioski i proponowane prace na przyszłość. – zawarto w nim nieliczne wnioski z pracy i określono potrzeby w zakresie kierunków dalszych prac.

3. Ocena przyjętej przez Autora koncepcji naukowej oraz sposobu jej realizacji.

Jednym z trudniejszych problemów dotyczących modeli kontaktu między powierzchniami chropowatymi jest obszar dotyczący naprężeń i związanych z nimi odkształceń stykowych. W większości przypadków badacze zakładają przy modelowaniu pewne uproszczenia polegające na:

- opisie nierówności przy pomocy elementarnych brył geometrycznych w postaci walca, powierzchni sferycznej, stożka a nawet klina,
- założeniu, że powierzchnia chropowata styka się z drugą powierzchnią o bardzo małej chropowatości co pozwala przyjąć styk powierzchni chropowatej z powierzchnią idealnie gładką i w ten sposób uprościć zagadnienie,
- opisie chropowatości poprzez użycie cech stereometrycznych w postaci parametrów 3D takich jak: S_z , S_a , S_q i innych.

W miarę postępu nad pracami z dziedziny styku do obliczeń odkształceń stykowych zaczęto stosować elementy w postaci czasz sferycznych oraz elipsoid, z tym że ten ostatni element zastępowano modelem sferycznym z promieniem wyliczonym jako średnia geometryczna z dwóch innych promieni identyfikujących elipsoidę. Analizowane w wielu pracach modele styku dotyczyły następujących sytuacji:

- powierzchni (najczęściej płaszczyzny) sztywnej i gładkiej z powierzchnią chropowatą o regularnym rozmieszczeniu wierzchołków,

- powierzchni sztywnej i gładkiej z powierzchnią chropowatą o wyraźnie zróżnicowanej wysokości chropowatości,
- styku dwóch chropowatych powierzchni
- styku dwóch powierzchni chropowatych z uwzględnieniem zróżnicowanej sprężystości i utwardzenia warstwy pod strefą chropowatą.

Każdy z tych przypadków może uwzględniać odkształcenia sprężyste i plastyczne. W przypadku modelu z dwoma powierzchniami chropowatymi badania przeprowadzone przez prof. Nowickiego z Politechniki Warszawskiej wykazały, że ich styk nie następuje poprzez kontakt najwyższych wierzchołków ale przez zagłębienie jednej chropowatości w warstwę chropowatą drugiej co jeszcze bardziej komplikuje model styku. Ponadto wielu badaczy akcentuje znaczenie wpływu pochylenia profilu na przebieg styku. Należy także dodać, że dla pewnej grupy powierzchni przyjmowane są modele styku klinowego np. prace Tsukada i Anno [*An Analysis of the Elastic and Plastic Deformation of Machined Surfaces in Contact – Japan Soc. Mech. Eng. Vol.17.105.1974*], gdzie nierówności mają stałą wartość pochylenia i wysokości a profil jest zbliżony kształtem do hiperboli. Na tym tle widać, że Doktorant przyjął stosunkowo prosty model do rozważań.

Autor niniejszej pracy zajął się problemem analizy styku głównie pomiędzy gładką płaszczyzną a pojedynczą nierównością. W odniesieniu do tego terminu należy zauważyć, że Autor często posługując się tym terminem w ogóle go nie precyzuje. Tymczasem przyjmuje się, że w skład nierówności powierzchni wchodzi: odchyłki kształtu, falistość i chropowatość. Granice między tymi pojęciami są dość płynne ale w praktyce są wyraźnie podawane a poprzez pomiar identyfikowane za pomocą wyboru filtrów. Autor zdaje sobie sprawę z tego faktu pisząc o użyciu filtra Gaussa i granicznej długości fali (np. str.53). Nie jest jasne, czy Autor pisząc o nierównościach ma na myśli nierówność (nieprzefiltrowaną) czy właśnie chropowatość. Odnosząc się do opisu chropowatości Autor przyjął jej opis za pomocą parametrów 3D takich jak S_a i S_z . O ile przyjęcie parametru S_z jako wskazującego na obszar (uogólnienie pasma dla chropowatości 2D) zajęty przez chropowatość, to zastosowanie do opisu powierzchni parametru S_a jest co najmniej problematyczne, ponieważ do tego parametru przywiązuje się dużo mniejszą wagę, jako iż reprezentuje wartość średniej arytmetycznej, niż np. parametr S_q [30].

Pisząc o modelu styku to nasuwa się pytanie, co Autor rozumie pod pojęciem modelu?. Mianowicie w podrozdziale 6.1. (str.65) jest mowa o modelu numerycznym ale w podrozdziale 6.2 (str.87) jest mowa o modelu jako strukturze warstwy stykowej zawierającej górną

powierzchnię próbki w postaci powierzchni idealnie gładkiej o niewielkim obszarze, z warstwą stykową o określonej chropowatości oraz o materiale rdzenia. Opis modelu 3D styku jest bardzo fragmentaryczny, więcej uwagi poświęcono modelowaniu komputerowemu. Wyniki otrzymane w ten sposób Autor porównał z wynikami badań doświadczalnych (przy użyciu zaprojektowanego stanowiska) uzyskując dobrą zbieżność.

Jak już wspomniałem wyżej, Autor koncentruje się w swojej koncepcji na analizie styku pojedynczych nierówności z płaską powierzchnią (czyli płaszczyzną). W zasadzie nie odnosi się do faktu, że taki styk może zaistnieć w ograniczonej liczbie przypadków np. przy styku końcówki pomiarowej z mierzonym elementem. W zdecydowanej większości przypadków styk następuje w pewnej liczbie miejsc tym bardziej, że jest w pracy mowa o styku z uchwytem obróbkowym. Zatem siły nacisku rozłożą się na większą powierzchnię styku. Co prawda istnieją w pracy fragmenty o tym mówiące np. podpunkt 4.6 (str.52, 53) oraz fakt, że zostało to uwzględnione w konstrukcji przyrządu ale analiza zagadnienia od strony naukowej pomija ten fakt koncentrując się na omawianiu modeli styku. Przy tym kontakt między pojedynczymi nierównościami jest zastępowany przez uproszczone i geometrycznie idealne twory geometryczne jak okrąg, kula, walec. Związki przyczynowo-skutkowe (siła – odkształcenie) określa Autor na bazie teorii Hertza. Przy tym Autor nie wspomina, że możliwe jest zastosowanie bardziej współczesnych teorii np. Sztajermana (opisana m.in. w książce R. Grybosia pt. „Teoria uderzenia w dyskretnych układach mechanicznych” (PWN, Warszawa, 1969) którego zresztą Autor cytuje (poz. Lit. [31]). W dalszej części pracy Autor przyjmuje przybliżenie kształtu nierówności w postaci półkuli co jak już wcześniej zauważono jest niezbyt dobrym odwzorowaniem rzeczywistych kształtów nierówności co zresztą jest widoczne w tekście ze str.25 wspominając o zaletach paraboloidy. Ponadto analizy poczynione przez Autora bardzo często dotyczą modeli MES, co do których można mieć wątpliwości czy uwzględniają rzeczywiste uwarunkowania styku. Z tym związane jest także zagadnienie udziału materiałowego o czym jest mowa w wielu pozycjach np. [30]. Krzywa udziału materiałowego wskazuje na rzeczywistą powierzchnię styku i moim zdaniem pominięcie tego aspektu zagadnienia w analizie zagadnienia jest nieuzasadnione, ze względu na przydatność do obliczeń przemieszczeń i sił. Natomiast pozytywną stroną analizy styku jest uwzględnienie modeli z warstwą o nieliniowej sprężystości, z materiałem pod nierównościami w tym z przypadkiem utwardzenia materiału. Osobną sprawą jest analiza

styku oddziaływanie sąsiednich nierówności a także styk 3D z bocznym obciążeniem dwóch nierówności aczkolwiek ten ostatni przypadek jest mało przejrzyście opisany a zamieszczone informacje na rys.2.14 nie w pełni opisane.

Autor w swojej analizie zagadnienia akcentuje rolę MES w odniesieniu do oddziaływań kontaktowych. Takie modele pozwoliły przeanalizować wpływ kilku czynników na charakterystykę styku jednakże w wielu przypadkach zabrakło weryfikacji doświadczalnej. I tę okoliczność postanowił uwzględnić Autor konstruując i wykonując stanowisko badawcze. Wydaje się, że Autor pracy poświęcił nieproporcjonalnie dużo miejsca problemom konstrukcji stanowiska na niekorzyść naukowej strony pracy, gdyż przestrzenny model odkształceń zajmuje względnie mały udział w całości pracy (końcowa część pracy o tytule zgodnym z tytułem pracy to zaledwie kilkanaście stron. Pewnym usprawiedliwieniem takiego stanu rzeczy jest fakt, że konstrukcja stanowiska do badań styku musiała spełniać szereg trudnych warunków, w tym dotyczących sztywności. Dlatego do analizy konstrukcji a zwłaszcza korpusu wykorzystano symulację komputerową uwzględniającą różne rodzaje obciążeń, które mogłyby wpłynąć na odkształcenia całej konstrukcji. Z kolei ruchomy element wewnętrzny musiał mieć zapewnione ograniczenie co do przemieszczeń +/- 1,5 mm a powierzchnie stykowe musiały cechować się bardzo dobrą równoległością. Ponadto w zakresie pomiarów należało zapewnić dużą dokładność. Zaproponowany układ pomiarowy składa się z 4 bezstykowych czujników przemieszczeń i 4 tensometrycznych czujników siły. Jednak brak w pracy bliższych danych metrologicznych o użytych czujnikach; Autor podaje tylko, że wymagana rozdzielczość w tym przypadku rzędu dziesiątych mikrometra została zachowana. Należy tu jednak podkreślić, iż rozdzielczość nie jest tożsama z dokładnością. Trudno zrozumieć czym kierował się tu Autor skoro np. w podpunkcie 4.9.1. podaje wyczerpujące dane o płytkach z głowicy frezowej tj. SEKW 1204 AFSN.Z52 (str.61) co w tej sytuacji jest rzeczą drugorzędną.

Niezależnie od szeregu problemów konstrukcyjnych Recenzent jest zdania, że opis stanowiska do badań nie jest zgodny z głównym nurtem rozważań naukowych i zagadnienia konstrukcyjne powinny zostać ujęte w **dodatku** do pracy.

Uwaga ogólna; ocena naukowej strony pracy jest nieco utrudniona z uwagi na konsekwentne pomijanie matematycznego opisu zagadnienia przez Doktoranta w zakresie modelowania styku. Model fizyczny zjawiska kontaktu, wyjaśniający „co i dlaczego się dzieje” byłby bardzo istotnym elementem tej pracy. Ta uwaga dotyczy zwłaszcza tych części pracy, które stanowią pewien własny wkład w

analizę problemu styku powierzchni chropowatej z inną powierzchnią.

4.Uwagi odnośnie opracowania pracy.

Pomimo poprawnej ogólnie redakcji pracy to Recenzent zauważył pewne nieścisłości i błędy wymagające odniesienia się do nich przez Doktoranta. Poniżej podaję ważniejsze zauważone błędy i nieścisłości.

Str.21 czym różni się geometria sfery od geometrii kuli?

Str.23 dotyczy rys.2.2. Na rys.2.2 pokazano 4 krzywe, z których tylko 3 są opisane. 4-ta krzywa wyraźnie różniąc się od pozostałych jest pozostawiona bez opisu.

Str.24. Autor opisuje zastępcze kształty nierówności ale – o czym wcześniej w recenzji wspomniano – brak sprecyzowania czy chodzi chropowatość czy o chropowatość łącznie z falistością?. Autor myli też kształty o charakterze przestrzennym takie jak półkula i elipsoida z płaskimi parabola, okrąg.

Str.33.literówka. Nazwisko matematyka Gaussa piszemy przez podwójne s.

Str.39. brak sprecyzowania co oznacza sformułowanie, że nierówności stykają się z boku? Z tego względu użyteczny byłby odpowiedni rysunek wyjaśniający.

Str.42. 4-ty wiersz od góry sformułowanie: próbki mierzonego profilogramu. Otóż profilogram nie podlega pomiarom lecz stanowi ich rezultat w postaci graficznej.

Str.45. 3-ci wiersz od góry; zamiast moja praca lepiej napisać niniejsza praca, jako że prace pisze się bezosobowo.

Str.47. dotyczy podpunktu 3.2. zamiast Opracowywano (czynność niedokończona) powinno być: Opracowano.

Str.47. dotyczy również podpunktu 3.2. 5-ty wiersz od dołu; Autor nazywa skanowanie bezdotykowym. Taki sformułowanie powtarza się kilkakrotnie np. gdy mowa o przyrządzie do pomiaru chropowatości czyli Talysurf CCI Lite (str. 48, 52, 63, 72, 85). Zwracam uwagę, że sam Autor pracy stosuje w tytule termin Styk a nie dotyk więc logicznym byłoby konsekwentne stosowanie tego sformułowania w całości pracy, tym bardziej, że słowo dotyk jest w zasadzie zastrzeżone dla istot żywych.

Str.48. wiersz 13-ty i 14-ty od góry. Zamiast liczby pojedynczej był powinna być użyta liczba mnoga; były. Ponadto w wierszu 7-mym od dołu zamiast słowa odciążenia powinno być obciążenia.

Str.52. literówka, wiersz 1-szy od dołu. Zamiast słowa szlifowanie powinno być: szlifowaniem.

Str.54. wiersz 5-ty od dołu. Także literówka. Zamiast słowa stop powinno być stopu.

Str.56. wiersz 6-ty od góry. Dotyczy sposobu zapisu wartości równoległości. W tym względzie istnieją ustalenia normatywne, które w sposób jednoznaczny definiują sposoby zapisu wartości liczbowej. Autor stosuje tutaj jednostkę de facto bezwymiarową tj 0,001 interpretując to jako 0,1 mm na długości 100mm. Zapis 0,001 oznacza wartość dopuszczalnej odchyłki równoległości równą 0,001 mm natomiast zapis 0,1/100 oznacza dopuszczalną odchyłkę w granicach obszaru cząstkowego = 100mm. Z kolei zapis błędu równoległości w postaci podanej tutaj tj. $0,2e^{-3}$ też należy uznać za nieprawidłowy, ponieważ nie może występować w dokumentacji technicznej z uwagi na duże ryzyko pomyłki. System zapisu liczbowego błędów (odchyłek) powtarza się potem w niniejszej pracy wielokrotnie co pewnie wynika z zapisów komputerowych. Przykładem są zapisy ze stron 57, 58 (rys.4.6), 59(rys.4.7), 64.

Str.57. wiersz 1-szy od góry. Dotyczy prawa przenoszenia błędów i zapisu tego prawa. Skoro Autor pisze o przenoszeniu błędów średnich to we wzorze w następnym wierszu powinien uwzględnić zapis dla wartości średnich (w postaci kresek nad składnikami wzoru). Przypominam, że prawo przenoszenia (lepiej propagacji) błędów nie odnosi się tylko do średnich.

Str.58. wiersz 8-my od góry. Literówka. Jest słowo część, powinno być części.

Str.61. wiersz 6-ty od góry. Słowo pięcioostrzową piszemy razem, ponieważ wyrazy tworzące całość nie są językowo równoważne. Ale ważniejsza jest następną uwagę. Głowica frezarska jest oznaczona grecką literą Φ . Tymczasem średnice oznacza się znakiem specjalnym w postaci okręgu przekreślonego ukośną kreską (a nie grecką literą). Recenzent zdaje sobie sprawę, że taki symbol w praktyce czytany jest jako **fi**, jednak w poważnej pracy jaką jest rozprawa doktorska takich błędów być nie powinno.

Str.64. Większość zapisu z tej strony jest niepoprawna merytorycznie. Autor posługuje się tutaj pojęciem **pochylenia**, podczas gdy dotychczas używał określenia równoległości. Czy wobec tego używa terminu pochylenie w miejsce równoległości? Merytorycznie pochylenie dotyczy określania kąta dla elementów typu klin i jest to wartość bezwymiarowa! Kolejna sprawa związana jest z rozumieniem słowa **rozrzut**. Otóż rozrzut to to samo co rozproszenie i mówi o pewnym zjawisku statystycznym i nie jest parametrem liczbowym (podobnie jak termin dokładność nie jest liczbą). Parametrami rozrzutu są rozstęp i odchylenie standardowe lub wariancja. Sytuację pogarsza fakt, że Autor podaje wartości liczbowe rozrzutu w postaci +/- co wywołuje przypuszczenie o całkowicie subiektywnym rozumieniu terminu rozrzutu przez Doktoranta. Jest to jednak niedopuszczalne w takiej

naukowej pracy.

Str.77. wiersz 6-ty od dołu. Pomyłka w nazwisku. Jest Graboś a powinno być Gryboś.

Str.80. wiersz 7-my od góry. Prawdopodobnie błąd odniesienia do rys. w tekście. Zamiast rys.5.7 powinno być rys.5.8.

Str.86. wiersz 9-ty od dołu. Autor pisze „że, ...przekrój stempla przyczynił się do zmniejszenia **falistości** ... Zdanie to wymaga rzeczowego wyjaśnienia, czy rzeczywiście chodzi o falistość. Zmniejszenie tej wartości do 0,2 μm jest praktycznie niemożliwe w wyniku oddziaływań obciążeniowych, chropowatość może wtedy ulec zmniejszeniu, falistość nie (falistość jest najczęściej wywołana drganiami samowzbudnymi).

Str. 87.Podpunkt 6.2. wiersz 2-gi od góry. Autor pisze ...modelowano jako powierzchnię idealnie gładką.... Nasuwa się pytanie, czy chodzi o dowolną powierzchnię np. sferyczną czy po prostu o płaszczyznę. Niejasny jest również zapis (wiersz 9-ty od dołu) o wysokości chropowatości wynoszącej 12,5 μm . Czy chodzi o wartość parametru S_z czy o coś innego?

Str.95. wiersz 2-gi od dołu. Doktorant kąt pochylenia podaje w radianach. Taka miara może mieć sens w rozważaniach matematycznych, ale nie w zagadnieniach technicznych. Żaden przyrząd pomiarowy nie podaje kąta w takiej jednostce ani żaden przyrząd nastawczy. Nie ma bowiem możliwości odniesienia się do wzorców kąta dla zapewnienia tzw. spójności pomiarowej. Kąty nominalne należy podawać w stopniach, minutach i sekundach kątowych (jedynie w USA formalnie można używać systemu dziesiętnego po stopniach np.35,78°). Na marginesie: odchyłki kąta w dokumentacji zaleca się podawać w **mm!** Toleruje się wtedy nachylenie ze względu na stałą szerokość pola tolerancji!

4. Ocena rozprawy doktorskiej i wniosek końcowy

Pomimo przedstawionych krytycznych uwag stwierdzam, że Autor przedstawił spójną koncepcję naukową odnoszącą się do modelu styku powierzchni, z czego wnioskuję, iż opanował w sposób właściwy podstawy metodologii i metodyki pracy badawczej, które są niezbędne do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Dobór i analiza bibliografii z zakresu tematu, mimo pewnych niedostatków jest odpowiednia do omawianych zagadnień. Uporządkowanie i przeprowadzona analiza obszaru tematycznego mimo zawartych wyżej uwag dowodzą, że doktorant opanował szeroki zakres wiedzy w sposób, który umożliwia właściwe z niej korzystanie i rozwijanie własnej działalności badawczej.

Praca została napisana poprawnym językiem a przyjęta forma prezentacji wyników jest zrozumiała. Recenzowana rozprawa należy do dyscypliny naukowej – budowa i eksploatacja maszyn, wchodząca obecnie w zakres inżynierii mechanicznej i zdaniem recenzenta stanowi istotny wkład w jej rozwój.

Powyższa ocena upoważnia mnie do przedstawienia wniosku, że recenzowana praca mgr inż. Pawła Maciołka spełnia wymagania stawiane przy ubieganiu się o stopień naukowy doktora nauk technicznych a zawarte w ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (*ustawa z dnia 14 marca 2003 r., tekst ujednolicony z dnia 07 marca 2018 r. wraz z rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r.*)

Wnoszę zatem o dopuszczenie recenzowanej pracy do publicznej obrony.



Kraków, 22.03.2020.