

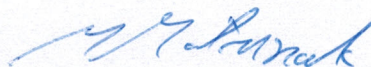
STRESZCZENIE

Dynamika procesu mikrofrezowania - badania doświadczalne i modelowanie

autor: mgr inż. Marcin Matuszak

W rozprawie doktorskiej dokonano przeglądu zjawisk występujących w mikroobróbce skrawaniem i opisano różnice między mikroobróbką a obróbką w skali makro. Zaprezentowano istniejące modele dynamiczne procesu frezowania i mikrofrezowania oraz zjawiska, jakie zostały uwzględnione przez ich autorów. Na podstawie przeglądu literatury pokazano potrzebę budowy modelu dynamicznego procesu mikrofrezowania. Wyznaczono funkcję przejścia wierzchołka narzędzia zamocowanego we wrzecionie mikrofrezarki wykonując testy impulsowe oraz wykorzystując syntezę modalną. Do pomiaru odpowiedzi narzędzia wykorzystano wibrometr laserowy. Synteza modalna nie była wcześniej stosowana do wyznaczania funkcji przejścia wierzchołka narzędzia (mikrofrezu) zamocowanego we wrzecionie mikrofrezarki. Przeprowadzono badania doświadczalne mikrofrezowania, których wyniki posłużyły do budowy modelu sił skrawania uwzględniającego wzrost współczynników oporu właściwego skrawania wraz ze spadkiem grubości warstwy skrawanej. Opracowano model dynamiczny mikrofrezowania uwzględniający zjawiska, które mogą zostać pominięte w skali makro (minimalna grubość warstwy skrawanej, nieliniowy model sił skrawania). Model umożliwia wygenerowanie sił skrawania oraz przemieszczeń dynamicznych narzędzia. Na podstawie przemieszczeń dynamicznych narzędzia oraz geometrii narzędzia zasymulowano topografię frezowanych powierzchni. Wyniki otrzymane z modelu doświadczalnego uwzględniającego występowanie zjawiska minimalnej grubości warstwy skrawanej zostały porównane z wynikami z modelu zakładającego, że narzędzie jest idealnie ostre oraz z wynikami otrzymanymi z eksperymentu mikrofrezowania.

Podczas realizacji rozprawy doktorskiej zrealizowany został główny cel rozprawy: *Budowa modelu mikrofrezowania ze szczególnym uwzględnieniem jego dynamiki, przemieszczeń dynamicznych narzędzia oraz sił skrawania, który umożliwi przewidywanie występowania drgań podczas obróbki, a teza: W budowie modelu dynamicznego procesu mikrofrezowania, uwzględniającego dynamikę układu OUPN, umożliwiającego określenie warunków stabilności mikrofrezowania konieczne jest uwzględnienie zjawisk nie występujących w skali makro, została udowodniona.*



SUMMARY IN ENGLISH

Dynamics of the micromilling process - experimental research and modeling

author: M.Sc.Eng. Marcin Matuszak

The PhD thesis presents dynamic phenomena occurring in the micromachining and differences between the micromachining and machining in a macro scale. Existing dynamic models of milling and micromilling processes are presented. Phenomena considered by the various authors are described. Literature review shown the need of micromilling process dynamic model development. Tool tip frequency response function that was mounted in a micromilling machine tool was evaluated by impact test and modal synthesis. For tool response measurement laser vibrometer was used. Modal synthesis was never used before for micromilling tool tip frequency response function evaluation. Micromilling experiment was conducted to develop cutting forces model that includes nonlinear change of cutting forces coefficients with the change of the thickness of removed material. Dynamic model of the micromilling process was developed. The model includes phenomena such as minimum chip thickness and nonlinear cutting forces model. These phenomena can be omitted in macro scale. The model outputs are cutting forces and tool dynamic displacements. Based on the tool dynamic displacements and tool edge geometry machined surface topography was generated. Results obtained from the dynamic model that includes minimum chip thickness phenomenon are compared with the results from dynamic model that doesn't include minimum chip thickness phenomenon and with the experiment results.

The main goal of the dissertation: *Development of a micromilling model with particular emphasis on its dynamics, dynamic displacements of the tool and cutting forces that will allow prediction of vibrations occurrence during machining* was achieved. The thesis argument: *In the construction of a dynamic model of the micromilling process that takes into account machine tool, tool holder, tool and workpiece, that allows to predict micromilling stability conditions, there is a need of inclusion of phenomena that not occur in macro scale,* was proved.



POLITECHNIKA OPOLSKA WYDZIAŁ MECHANICZNY Katedra Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji	
dr hab. Grzegorz KRÓLCZYK prof. PO profesor nadzwyczajny	ul. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole tel. (77) 449 84 61, fax (77) 449 99 27 e mail: g.krolczyk@po.opole.pl

Opole, 06.07.2018r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. Marcina MATUSZAKA pt.

„Dynamika procesu mikrofrezowania – badania doświadczalne i modelowanie”

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie dr hab. inż. Mirosława Pajora prof. ZUT z dnia 16 maja 2018 roku (WIMiM/104/2018) na podstawie decyzji Rady Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki z dnia 27 marca 2018 roku.

1 Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Zminiaturyzowane części maszyn i urządzeń o rozmiarach w przedziale od kilkudziesięciu mikrometrów do kilku milimetrów są obecnie szeroko stosowane w wielu gałęziach przemysłu, m. in.: lotniczym, biomedycznym, elektronicznym czy motoryzacyjnym. Części te są zazwyczaj wytwarzane przy użyciu fotolitografii, mikroobróbki elektroerozyjnej, technik laserowych i ultradźwiękowych oraz precyzyjnego skrawania ostrzami diamentowymi. Jednakże większość tych metod jest mało wydajna i ograniczona do relatywnie małej grupy obrabianych materiałów. Alternatywę dla powyższych technologii wytwarzania stanowić może mikrofrezowanie które umożliwia wydajne i precyzyjne kształtowanie ubytkowe szerokiej gamy obrabianych materiałów. Mikrofrezowanie pozwala na obróbkę materiałów przeznaczonych dla przemysłu biomedycznego, a także kształtowanie mikro-form wtryskowych z zahartowanych stali stopowych oraz elementów systemów bio-mikro-elektro-

mechanicznych (bio-MEMS). Do zasadniczych problemów technologicznych występujących podczas mikrofrezowania zaliczyć należy trudności w uzyskaniu wysokiej jakości obrobionej powierzchni oraz wyłamania narzędzi skrawających. Główną przyczyną tych problemów są nadmierne siły oddziaływujące na mikrofrezę, a także wywołane nimi ugięcia narzędzia. Obniżenie wartości siły, a tym samym ugięcia frezu jest możliwe poprzez dobór odpowiednich parametrów i strategii obróbkowych, a także efektywnego chłodzenia oraz smarowania strefy skrawania. Aby to osiągnąć, konieczne jest opracowanie dokładnych modeli matematycznych dynamiki procesu mikrofrezowania. Jednakże, tematyka ta jest aktualnie bardzo słabo rozpoznana w literaturze.

Recenzowana dysertacja, w której Autor opracował własną, autorską metodykę badawczą oraz podjął się opisanie za pomocą modelu proces mikrofrezowania o wysokiej dokładności wymiarowo kształtowej mieści się w zasadniczym nurcie współczesnych kierunków badań inżynierskich. Tematyka badań jest aktualna i zyskuje coraz bardziej na popularności ze względu na coraz większe zainteresowanie wynikające z potrzeb przemysłu. Recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Marcina Matuszaka powstała na starannie przygotowanym gruncie wcześniejszego rozpoznania merytorycznego Instytutu Technologii Mechanicznej. Doktorant mgr inż. Marcin Matuszak w swojej rozprawie doktorskiej zajął się niezwykle ciekawą i aktualną tematyką połączenia technologii maszyn i mechaniki skrawania w procesie precyzyjnej obróbki. Autor opracował modele matematyczne dedykowane do mikrofrezowania, sprawdził je poprzez badania empiryczne oraz wykonał parametryczną analizę jakości powierzchni obrobionej.

Wymienione wyżej okoliczności potwierdzają trafność i sensowność wyboru tematyki badawczej. Uzasadnieniem wspomnianej trafności wyboru jest nie tylko sam fakt usytuowania pracy na szerszym tle ogólnościowych badań naukowych, ale również to, że podejmowana w rozprawie doktorskiej tematyka rokuje nadzieje epistemologiczne oraz dużą nadzieję na uzyskanie walorów użytkowych.

Strukturę rozprawy stanowi wprowadzenie, osiem numerowanych rozdziałów oraz bibliografia. Układ pracy jest prawidłowy - typowy dla prac eksperymentalnych. **Tytuł dysertacji** jest zgodny z jej treścią. Wyeksponowana w odrębnym punkcie **teza pracy**, a raczej hipoteza, jest dobrze ugruntowana w dotychczasowym stanie wiedzy, nie ma charakteru trywialnego, ale niestety jest bardzo ogólna, będąc zarazem odpowiedzią samą w sobie. **Cel pracy** sformułowany na stronie 31 podany jest w sposób jasny. **Zakres pracy** przedstawiony został w sposób wyczerpujący lecz bardzo ogólny. Zakres pracy jest raczej streszczeniem dysertacji, przedstawionym bez podania skwantyfikowanych przedziałów badań.

Wprowadzenie napisane jest w jasny sposób.

Analiza stanu zagadnienia z zakresu podjętej tematyki przedstawiona została w rozdziale drugim. Dobór analizowanych zagadnień jest prawidłowy i jest odzwierciedleniem dotychczasowego stanu wiedzy. Stanowi podstawę do określenia obszaru badań własnych Autora. Jest to także właściwa baza wiedzy do sformułowania przez Autora tezy pracy. Układ tej części rozprawy oceniam jako logiczny, choć mam pewne uwagi szczegółowe:

- 1) Strona 5 – Autor napisał: „Mikroobrobka skrawaniem jest dziedzina nauki”. Dziedzina nauki jest trwale ukształtowaną i wyodrębnioną grupą dyscyplin naukowych. Obróbka skrawaniem, także w skali mikro jest niewątpliwie częścią nauk technicznych.

- 2) Str. 6 – Autor napisał: „Aspektem rozpoznawanym przez badaczy...”, wymienienie tych osób z nazwisk niewątpliwie podniosło by czytelność tego stwierdzenia,
- 3) Str. 7 – Autor napisał: Graham, Mehrpouya, Nagamune, i Park”, gdy powołujemy się na publikację gdzie Autorów jest więcej niż dwóch przyjęło się pisanie nazwiska pierwszego Autor i in. Wypisywanie nazwisk wszystkich Autorów pogarsza czytelność a w przypadku gdy Autorów jest kilkuset jak ma to miejsce w pracach z zakresu fizyki doświadczalnej jest niemal niemożliwe. W tym przypadku czytelniejsze było by Graham i in.,
- 4) Str. 8 – Autor używa sformułowań „wysokie prędkości, niskie prędkości”, takie sformułowania są raczej potoczne i nie najlepsze stylistycznie. Niski czy wysoki jest wzrost a nie prędkość obrotowa,
- 5) Str. 9 – Autor powołując się na publikację innych Autorów wymienia ich zazwyczaj z nazwiska, w tym przypadku podając imię i nazwisko. Sposób powoływania się na wcześniejsze publikacje powinien jednak zostać ujednolicony.

Przywołania literatury przedstawione przez Autora w niektórych miejscach utrudniają czytelność pracy, zwłaszcza gdy jest ich kilka na raz. Natomiast przy powoływaniu się na istotne dla tematyki prace dobrze jest wymienić nazwisko autora danej pracy np. Liu i in. [58].

Zasadniczą część rozprawy z punktu widzenia etapów badania naukowego stanowią rozdziały, w których Autor referuje metodykę, wyniki i analizę wyników badań własnych. Są to rozdziały od 3 do 9. W tej części pracy Autor zawarł ogólną charakterystykę materiału podlegającego próbom, opisał stanowisko badawcze oraz przedstawił wyniki badań własnych empirycznych oraz symulacyjnych. W rozdziale siódmym Autor przedstawił autorski model dynamiczny procesu mikrofrezowania. Rozdział ósmy stanowi porównanie wyników otrzymanych z modelu dynamicznego z wynikami badań empirycznych laboratoryjnych oraz ich analiza. Całość pracy ułożona jest w poprawny z metodologicznego punktu widzenia ciąg. W tej części wykresy przedstawione na rysunkach czy algorytmy modelu dynamicznego, powinny być przedstawione w języku polskim. Część wykresów ponadto zawiera dane i informacje wprost z programów komputerowych, ich jakość w niektórych przypadkach jest niewystarczająca. Moje zapytania i uwagi do tej części pracy są następujące:

- 1) Str. 89 – Autor użył sformułowania: „Przykładową topografię powierzchni wygenerowaną... przedstawiono na rys. 7.26”. Rys 7.26 przedstawia morfologiczny obraz powierzchni bez jej parametrycznego opisu,
- 2) Str. 94 – Autor użył sformułowania: „Wartość chropowatości R_a wyznacza się dla pięciu odcinków pomiarowych...”. Parametr R_a jest średnią arytmetyczną rzędnych profilu wewnątrz odcinka elementarnego. Parametr R_a jest najczęściej stosowanym parametrem chropowatości w warunkach przemysłowych co wynika głównie z przyczyn historycznych i tendencji człowieka do wiary w wartości średnie. Parametr R_a nie zawiera informacji o rodzaju profilu a jego przełożenie na wartości użytkowe powierzchni jest właściwie niemożliwe,
- 3) Str. 94 – Autor użył sformułowania: „Parametry opisujące strukturę geometryczną powierzchni uzyskaną jako profil...”, to raczej niefortunny zwrot, co Autor miał na

myśli w kontekście braku przełożenia parametru Ra na wartości użytkowe powierzchni?

- 4) Str. 98 – wiersz 9 od dołu, Autor użył sformułowania: „Obserwacja jedynie parametrów Sa i Sz nie pozwala na stwierdzenie kiedy podczas obróbki występowały drgania”. Odpowiedź dotyczącą drgań w procesie skrawania można uzyskać poprzez analizę Gęstości Widmowej Mocy (GWM) obrobionej powierzchni. GWM odzwierciedla całą topografię powierzchni, a jej zastosowanie do oceny funkcjonalności powierzchni zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym jest możliwe. Taka analiza niewątpliwie wzbogaciła by pracę. Szkoda że Autor wykonał tylko podstawowe badania jakości powierzchni wiedząc iż taka analiza jest niewystarczająca.

Ponadto w tej części pracy brakuje, moim zdaniem, wyjaśnienia bądź przedstawienia kilku istotnych szczegółów mogących wpływać na zaprezentowane wyniki:

- 5) Brak danych szczegółowych dotyczących badania mikrotwardości: jak przygotowano próbki, czy są to pomiary wykonane promieniowo, co jaką odległość wykonywano pomiar? Czy pomiary są zgodne z normą mówiącą o pomiarach mikrotwardości (PN-EN ISO 6507-1).
- 6) Wyniki pomiarów mikrotwardości dobrze jest przedstawić w formie wykresów,
- 7) Brak analizy metrologicznej wygenerowanych powierzchni, Autor przedstawił jedynie statystyczne parametry powierzchni takie jak Sa czy Sz w celu opisu powierzchni. Taki opis powierzchni jest niewystarczający zwłaszcza że różnice pomiędzy przedstawionymi powierzchniami wynoszą dziesiąte bądź setne części mikrometra,
- 8) Autor do pomiarów SGP użył mikroskopii konfokalnej. Dokładność tej metody pomiarowej zależy od numerycznej przysłony a zakres skanowania mniejszy od odległości roboczej obiektywu. Dlaczego Autor wybrał tę właśnie metodę a nie mikroskopię różnicowania ogniskowej która jest metodą bardziej dokładną przy badaniach chropowatości powierzchni?
- 9) Model dynamiczny jest opisany bardzo ogólnie, czy Autor przewidział w nim bicie promieniowe narzędzia?

Na podkreślenie zasługuje to, że Autor w swojej pracy wykonał kompleksowe badania oraz wykorzystał nowoczesną aparaturę badawczą.

Podsumowanie sformułowane na końcu pracy jest interesujące i istotne z praktycznego punktu widzenia, natomiast niektóre punkty podsumowania przedstawione są w sposób uproszczony, ponieważ wydają się być raczej obserwacyjne niż przedstawiające wartości naukowe. Na podstawie wyników badań pewne ogólne i podstawowe wnioski naukowe powinny być przedstawione. Ze swej strony proponuję także w bardziej widoczny sposób przedstawić odpowiedź na tezę pracy. Przedstawione w pracy wnioski poprzedzone są krótkim podsumowaniem pracy będącym zarazem wprowadzeniem do dalej przedstawionych wniosków. **Literatura** zamieszczona w końcowej części pracy jest bardzo obszerna. Autor analizuje i cytuje najnowszą światową literaturę, literatura jest sformatowana jednakowo, podana jest pierwsza litera imienia autorów oraz pełne nazwisko. Publikacje wymienione są wg prawidłowego szablonu natomiast w języku angielskim o czym świadczy słowo and poprzedzające nazwisko ostatniego Autora pracy.

2 Ocena rozprawy doktorskiej

Omawiana rozprawa doktorska jest próbą opracowania modelu dynamicznego procesu mikrofrezowania uwzględniającego zjawiska nie występujące w skali makro. Podane wyżej omówienie wyników recenzowanej dysertacji pokazuje jak obszerny zakres prac wykonany został przez Doktoranta. Jego praca jest samodzielna, co świadczy o dojrzałości naukowej i dużym już doświadczeniu w prowadzeniu prac badawczych. Pan mgr inż. Marcin Matuszak w swojej rozprawie opisał w spójny i logiczny sposób zaplanowane i zrealizowane eksperymenty. Doktorant w pełni zrealizował swój cel. Przedstawioną rozprawę ocenić można w dwóch aspektach: merytorycznym i edytorskim. Zaczynając od tego drugiego należy stwierdzić, że Autor posługuje się poprawnym językiem, słowa dobrane są w sposób przemyślany i ze zrozumieniem treści jakie ze sobą niosą. Rysunki wykonane są starannie oraz wplecione są umiejętnie w całość. To sprawia, że zapoznanie się z zawartością rozprawy jest stosunkowo łatwe. Wczytując się natomiast w treść można dostrzec pewne drobne niedociągnięcia stylistyczne i literowe, tych ostatnich jest natomiast niewiele.

Przedstawiona analiza rozprawy zawiera wystarczające moim zdaniem przesłanki do sformułowania oceny. Treść rozprawy jest zgodna z tematem zaakceptowanym przez Radę Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Podjęty temat jest ważny zarówno z poznawczych, jak i praktycznych względów i opracowany został obszernie oraz wyczerpująco. Sformułowane w niniejszej recenzji uwagi nie umniejszają wartości materiału dowodowego pracy, albowiem w większości odnoszą się do sposobu prezentacji uzyskanych wyników. Nie mogą więc stanowić podstawy do kwestionowania wartości pracy. Pod względem metodycznym rozprawa jest poprawna. Literatura specjalistyczna została dobrana trafnie. Układ rozprawy i podział treści między poszczególnymi rozdziałami jest logiczny, choć moim zdaniem, można by go nieco zmodyfikować wykorzystując podane przeze mnie wcześniej sugestie, zwłaszcza dotyczące treści. Zbiór pojęć, jakimi posługuje się Autor, jest na ogół poprawny. Zdarzają się pewne stylistyczne niedociągnięcia, ale raczej wynikające z potocznego języka charakterystycznego dla osób blisko współpracujących z przemysłem. Strona ilustracyjna pracy jest bez większych zastrzeżeń, redakcja rozprawy zaś wykazuje pewne niedociągnięcia.

Przedstawioną do oceny rozprawę oceniam jako pracę wartościową z naukowego jak i utylitarnego punktu widzenia, zawierającą bardzo bogaty materiał badawczy. Podsumowując stwierdzam, że rozprawa Pana mgr inż. Marcina Matuszaka:

- spełnia wymóg wykazania Jego ogólnej wiedzy teoretycznej w uprawianej dyscyplinie,
- spełnia wymóg oryginalnego rozwiązania przez Autora zagadnienia naukowego,
- wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Autora pracy naukowej.

3 Wniosek końcowy

Całość oceny rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Matuszaka pt. „Dynamika procesu mikrofrezowania – badania doświadczalne i modelowanie” umożliwia sformułowanie wniosku o spełnieniu warunków określonych ustawą o stopniach naukowych i tytule



naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku i dopuszczeniu jej do publicznej obrony przed Radą Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie w ramach dyscypliny Budowa i Eksploatacja Maszyn.

Guzon Wolsky



POLITECHNIKA POZNAŃSKA
INSTYTUT TECHNOLOGII MECHANICZNEJ
ZAKŁAD PROJEKTOWANIA TECHNOLOGII

Prof. dr hab. inż. Stanisław LEGUTKO
profesor zwyczajny, prof. h. c.

ul. Piotrowo 3 60-965 Poznań
tel. (0-61) 665-25-77, fax (061) 665-22-00
e-mail: stanislaw.legutko@put.poznan.pl

Poznań, 14.07.2018r.

Recenzja nr 38/dr/SL

rozprawy doktorskiej mgra inż. Marcina MATUSZAKA pt. *Dynamika procesu mikrofrezowania - badania doświadczalne i modelowanie*

Podstawa opracowania recenzji: pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie dra hab. inż. Mirosława Pajora, prof. nadzw. nr WIMiM 103/2018 z dnia 16.05.2018 oraz stosowna umowa o dzieło.

1. Analiza rozprawy

Współczesną technologię maszyn można scharakteryzować wyróżniając trzy jej warstwy: metodologiczną, metodyczną oraz merytoryczną. W warstwie metodologicznej aktualnie wykorzystywane procedury tworzenia metod projektowania technologii oraz procedury tworzenia metod wykonawstwa na poziomie warsztatu składają się na aktualny paradygmat tej sfery działalności ludzkiej. Warstwa metodyczna, według przyjętego przeze mnie rozróżnienia, obejmuje aktualne metody projektowania, pomiarów, mechanizacji, automatyzacji i robotyzacji wytwarzania, komputerowe wspomaganie projektowania i realizacji technologii, metody działania maszyn technologicznych itp. Jako warstwę merytoryczną rozumiem różnego rodzaju technologie w aspekcie ich fizycznej czy fizykalno – chemicznej istoty, wyróżniane m. in. przez J. Kaczmarską jako części składowe technologii maszyn, a więc: technologie objętościowe, ubytkowe, przyrostowe, ulepszające, łączące i miernicze. Rozwój dokonujący się w warstwie merytorycznej owocujący nowymi niekonwencjonalnymi dotąd sposobami wytwarzania inicjuje postęp w warstwie metodycznej. Z drugiej strony również i w tej warstwie odnotowywany jest niebywały rozwój uwarunkowany, dzisiaj w szczególności i przede wszystkim, postępem w zakresie komputerowego wspomaganie. Zmiany nagromadzone w warstwach metodycznej i merytorycznej prowadzą do zmiany w warstwie metametodycznej, a więc do tworzenia się nowego paradygmatu – kształtuje się więc nowe oblicze technologii maszyn.

Recenzowaną rozprawę doktorską, z naukowniczego punktu widzenia, można usytuować przede wszystkim w warstwie merytorycznej współczesnej technologii maszyn. W analizowanym przypadku - w jej fragmentach określanych, jako ubytkowa obróbka skrawaniem narzędziami o określonej geometrii ostrza. Identyfikacja usytuowania niniejszej pracy na tym tle oraz zarysowanie głównych dróg rozwoju tego obszaru, w którym ona się mieści, pozwoli na osądzenie, czy Autor trafnie wybrał tematykę badawczą.

Współczesne tendencje rozwoju obróbki skrawaniem narzędziami o określonej geometrii ostrza wskazują, że przesuwa się obszar zastosowania sposobów i rodzajów skrawania w kierunku dużej dokładności wymiarowo-kształtowej wyrobów i wysokiej jakości technologicznej warstwy wierzchniej oraz w związku z miniaturyzacją wyrobów – w kierunku mikro- i nanoskrawania. Jak się

okazuje, podczas skrawania w skali mikro szczególnego znaczenia nabierają zjawiska, które choć pojawiają się również w skali makro, lecz ich wpływ na uzyskiwane efekty dokładnościowe nie jest tak dotkliwie odczuwany, jak w skali mikro. Dlatego nie można bezpośrednio przenieść do skali mikro modeli stosowanych w skali makro. Jest oczywistym, że jednym ze zjawisk mających największy wpływ na jakość powierzchni obrobionych w skali mikro są drgania układu Obrabiarka-Uchwyty-Przedmiot-Narzędzie (OUPN) występujące podczas skrawania. Ważną kwestią jest więc dobór parametrów skrawania zapewniających minimalizację drgań, co może być wynikiem badania zjawisk dynamicznych występujących podczas mikroskrawania.

Wiąże się to z koniecznością zapewnienia dużej efektywności ekonomicznej i ekologiczności zarówno procesów skrawania, jak i mikroskrawania, niezawodności narzędzi i komfortu obsługi stanowiska obróbkowego. Wymagania te są w coraz większym stopniu spełniane. Coraz lepsze właściwości skrawne narzędzi, pomimo wzrostu kosztu narzędzi i systemów narzędziowych, umożliwiają efektywne kształtowanie wyrobów w zintegrowanym wytwarzaniu na nowoczesnych obrabiarkach. Ponadto obserwuje się tendencję do stosowania toczenia, czy frezowania wykończeniowego zamiast szlifowania, które wprowadza na ogół niekorzystne naprężenia rozciągające w warstwie wierzchniej. Innym znaczącym kierunkiem jest ograniczanie stosowania płynów chłodząco-smarujących, aż do ich zupełnego wyeliminowania w przypadku obróbki na sucho. Decydują o tym względy ochrony środowiska oraz finansowe. Poza tym w przypadku niektórych nowoczesnych materiałów obrabianych użycie cieczy obróbkowych jest niewskazane, bądź całkowicie wykluczone. Stąd liczne badania dotyczące skrawania z minimalną ilością cieczy obróbkowych, czyli skrawanie w warunkach MQCL (Minimum Quantity Cooling Lubrication) lub MQL (Minimum Quantity Lubrication). Ponadto stałym dążeniem badaczy jest zmniejszenie współczynnika tarcia w strefie skrawania, między innymi przez wytworzenie relatywnie trwałej powłoki na powierzchniach ostrza. Odnosić należy także prace dotyczące zastosowania stałych środków smarnych za pomocą substancji o budowie płytkowej. Ma to szczególne znaczenie w odniesieniu do obróbki skrawaniem ostrzami o małej odporności na szoki termiczne i małej odporności na kruche pękanie, jak to ma miejsce w przypadku ceramiki narzędziowej.

Poznanie i opisanie istoty zjawisk determinujących skrawanie może dawać znakomitą perspektywę do świadomego sterowania nimi, a także stwarzać potencjał praktycznego wykorzystania tej wiedzy na poziomie warsztatu.

Recenzowana dysertacja, w której Autor bada zjawiska dynamiczne w procesie mikroskrawania na przykładzie mikrofrezowania mieści się, przeto w zasadniczym nurcie współczesnych kierunków badań obróbki skrawaniem ostrzami o zdefiniowanej geometrii ostrza. Liczący się ośrodek szczebiński wnosi twórczy wkład, m. in. w rozwój tej warstwy technologii maszyn, którą określam jako merytoryczną. Inicjatywy profesorów Wiesława Olszaka, Krzysztofa Malcherka i Stefana Berczyńskiego są z powodzeniem rozwijane przez ich uczniów i doskonale znane w środowisku zainteresowanych specjalistów. Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Matuszaka napisana pod kierunkiem dra hab. inż. Bartosza Powalki prof. nadzw. powstała, więc na starannie przygotowanej i w wysokiej kulturze utrzymywanej glebie wcześniejszego rozpoznania merytorycznego i metodycznego wydzielonego obszaru inżynierii maszyn.

Recenzowana dysertacja, w której Autor rozpoznaje zagadnienia dynamiki mikroskrawania, mieści się przeto w zasadniczym nurcie współczesnych kierunków badań obróbki skrawaniem. Z drugiej strony, jeżeli zgodzić się ze stwierdzeniem, że wytwarzanie części maszyn i narzędzi do ich kształtowania stanowi transformację kształtowo-wymiarową materiału obrabianego z ewentualnymi elementami transformacji materiału stosowanych narzędzi, to tematyka niniejszej pracy wpisuje się w ogólny nurt wysiłków badawczych mających na celu racjonalizację procesów wytwarzania.

Wymienione okoliczności poczytuję przeto, jako potwierdzenie **trafności i sensowności wyboru tematyki badawczej**. Uzasadnieniem wspomnianej trafności wyboru jest nie tylko sam fakt usytuowania pracy na szerszym tle ogólnoswiatowych badań, ale również i to, że podejmowana w rozprawie doktorskiej tematyka szczegółowa rokuje nadzieje poznawcze, a także, co też ma szczególne znaczenie w kontekście rozpatrywanej tematyki, nadzieję na uzyskanie walorów użytkowych.

Strukturę rozprawy stanowi dziewięć ponumerowanych rozdziałów, wykaz ważniejszych oznaczeń stosowanych w pracy, spis literatury, spis rysunków i tabel, streszczenia w języku polskim i angielskim. Do wykazu ważniejszych oznaczeń można byłoby włączyć wyjaśnienie akronimów używanych w pracy. Jest to spójna tematycznie praca, jej układ zaś jest prawidłowy - typowy dla prac analityczno-eksperymentalnych. **Tytuł dysertacji** jest zgodny z jej treścią.

Fundamentem intelektualnej konstrukcji budowanej przez Autora jest przypuszczenie oznaczone jako **teza**. Przedstawiona teza nie ma charakteru trywialnego, jest dobrze ugruntowana w dotychczasowym stanie wiedzy, lecz do jej sformułowania mam zastrzeżenie. Moim zdaniem zastosowany zwrot „...uwzględniającego dynamikę układu OUPN...” jest niepotrzebny. Model dynamiczny bowiem z racji swojej istoty jest opracowywany po to, by uwzględniać dynamikę.

Cel pracy i jej zakres przedstawione na stronach 31 i 32, są podane jasno. Jednak, co do sformułowania głównego celu pracy mam uwagę podobną, jak w przypadku tezy pracy – przecież przemieszczenie dynamiczne i siła skrawania są elementami dynamiki. Można byłoby wobec tego usunąć słowo „...dynamiki...”.

Wprowadzenie, jako tekst pierwszego rozdziału pracy wprowadzającego czytelnika w badane zagadnienie napisany jest lakonicznie, lecz przekonująco i co do jego treści nie zgłaszam zastrzeżeń.

Szczegółowa i dogłębna **analiza piśmiennictwa** z zakresu podjętej tematyki została przedstawiona w rozdziale drugim. Dobór rozpatrywanych zagadnień jest prawidłowy i moim zdaniem, pozwala na rekonstrukcję dotychczasowego stanu wiedzy oraz stanowi solidną podstawę do określania obszaru oraz metodyki badań własnych Autora. Przedstawione są modele dynamiczne frezowania i mikrofrezowania, sposoby wyznaczania funkcji przejścia wierzchołka ostrza, pokazany jest przegląd istniejących modeli siły skrawania, omówione zostało zagadnienie minimalnej grubości warstwy skrawanej oraz wpływ mikrostruktury materiału obrabianego na proces mikrofrezowania. Wachlarz prac analizowanych przez Autora jest stosunkowo obszerny. Potrafi On umiejętnie zsyntetyzować przedstawiane informacje.

W lapidarnie ujętym rozdziale trzecim Autor przedstawia tezę, cel i zakres pracy.

Układ tej części rozprawy pracy oceniam jako logiczny, choć mam pewne zapytania, sugestie i uwagi szczegółowe:

- 1) str. 4 i dalej w pracy – jest oznaczenie F_t zamiast ogólnie stosowanego F_p ;
- 2) str. 4 - w polskiej terminologii przez r_e oznacza się promień naroża ostrza, a nie tak nazywany przez Autora promień zaokrąglenia ostrza narzędzia; czy promień zaokrąglenia ostrza narzędzia, to promień zaokrąglenia krawędzi skrawającej?
- 3) str. 5 – nie podano, co oznacza akronim MEMS;
- 4) str. 11, wiersz 7g – zamiast „elastyczno-plastyczne” lepiej byłoby „sprężysto-plastyczne”;
- 5) str. 15 - brak wyjaśnienia znaczenia symboli k_{ct} i k_{tt} ;
- 6) str. 16 - symbol h powinien dotyczyć grubości warstwy skrawanej, natomiast h_z grubości warstwy skrawanej na ostrze;
- 7) str. 17 u dołu – ma być h , czy h_j ?
- 8) str. 19 - Autor powinien wyjaśnić znaczenie zwrotu „efekt rozmiaru”;
- 9) str. 20, wiersz 10g - powinno być „większa”, a nie „mniejsza”;

10) str. 20 - czy symbol α_n w równaniach 2.15 do 2.18 na pewno oznacza „normalny kąt natarcia”? A może jest to tzw. kąt stagnacji, określający położenie punktu stagnacji podczas skrawania;

11) str. 22, wiersz 3g – powinno być „powrotu sprężystego” zamiast „odsprężynowania”.

Zasadniczą część rozprawy z punktu widzenia etapów badania naukowego, stanowią rozdziały, w których Autor referuje **metodykę, wyniki i analizę wyników badań własnych**. Są to rozdziały 4, 5, 6, 7 i 8.

W rozdziale czwartym przedstawiona została specyfika mikrofrezowania na tle frezowania w skali makro, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnienia pomiaru siły skrawania w mikroobróbce.

Rozdział piąty dotyczy charakterystyki dynamicznej narzędzia zamocowanego we wrzecionie mikrofrezarki - obejmuje prezentację stanowiska pomiarowego, wyniki testów impulsowych oraz wyniki analizy modalnej.

W rozdziale szóstym Autor charakteryzuje składowe siły skrawania na podstawie własnych badań eksperymentalnych uwzględniając wpływ mikrostruktury materiału obrabianego na jego właściwości, przedstawiając wyniki pomiarów składowych siły skrawania i dokonując analizy tych wyników oraz wprowadzając zmienność współczynników oporu właściwego skrawania w zależności od pola przekroju warstwy skrawanej.

Bardzo ważny z merytorycznego punktu widzenia i z punktu widzenia osiągnięć dra inż. M. Matuszaka rozdział siódmy poświęcony jest opracowaniu dynamicznego modelu mikrofrezowania. Doktorant na początku przedstawia tzw. podstawowy model dynamiczny, następnie uwzględnia kwestię minimalnej grubości warstwy skrawanej i ocenia jej wpływ na stabilność procesu mikrofrezowania, wreszcie koncentruje się na generowaniu powierzchni obrobionej na podstawie pręemieszczeń dynamicznych narzędzia.

Rozdział ósmy dotyczy weryfikacji eksperymentalnej dynamicznego modelu mikrofrezowania. Autor opisuje stanowisko pomiarowe, przedstawia przebieg eksperymentu oraz wyniki pomiarów, a także porównanie danych doświadczalnych z wynikami symulacji, jeżeli chodzi o składowe siły skrawania i topografię powierzchni.

Moje zapytania, uwagi i sugestie do tych części pracy są następujące:

- 1) str. 33 – występuje tzw. tekst wiszący;
- 2) str. 39 wiersz 3d – na czym polegało „dołożenie wszelkich starań”?
- 3) rys. 5.6 – trudno się zorientować, gdzie to lustro – mogło to być oznaczone;
- 4) błędna numeracja równań w rozdziale 5;
- 5) str. 56, wiersz 2g – powinno być „większa”, zamiast „mniejsza”;
- 6) str. 58 - Autor napisał: „Do wyznaczenia kąтового położenia narzędzia najłatwiej skorzystać z minimum wypadkowej siły skrawania”. Wyrażenie to jest nieprecyzyjne i wymaga dalszych wyjaśnień, dlaczego akurat minimum wypadkowej siły skrawania i o którą składową to chodzi?
- 7) str. 59 - Autor stwierdził: „Na przebiegu widoczny jest spadek odporowej siły skrawania po przekroczeniu maksymalnej grubości warstwy skrawanej, a następnie wzrost siły odporowej skrawania, podczas gdy grubość warstwy skrawanej maleje”. Brak jednak wyjaśnienia, co może być tego przyczyną;
- 8) str. 62 – 65, rys. 6.8 – 6.13, podpis osi x to h – grubość warstwy skrawanej. Jednakże podczas frezowania grubość warstwy skrawanej jest zmienna w funkcji kąta obrotu narzędzia. W związku z tym, jaka miara/wartość grubości brana była pod uwagę podczas wykonywania tych wykresów?
- 9) rys. 6.14 i dalsze – przy opisie modeli brak słowa „nieliniowy” i co znaczy „rzeczywistej siły skrawania”?

- 10) str. 66 - brak jednoznacznego opisu, w jaki sposób opory właściwe skrawania zostały wyznaczone na bazie równań 6.1 oraz 6.2.
- 11) str. 70 – jak rozumieć to zdanie: " W obróbce w skali makro, wielu badaczy zajmowało się dynamiką procesu mikrofrezowania"?
- 12) str. 71 – w wyjaśnieniu do równania (7.2) niepotrzebnie napisano a_p ;
- 13) str. 73 – zdanie rozpoczynające się od słów „Testy impulsowe...” jest niezrozumiałe;
- 14) str. 78, rys. 7.12 - podczas frezowania pełnego zjawisko minimalnej grubości warstwy skrawanej wpływa zarówno na kąt wejścia, jak i wyjścia ostrza z materiału. Niemniej jednak wg rysunku 7.12 wpływa jedynie na kąt wejścia?
- 15) str. 80 - z opisu działania algorytmu modelu dynamicznego nie wynika jednoznacznie, jakie wartości przyjmują siły kiedy $0 \leq h < h_{min}$. Czy mają wartość zero? Jeśli tak, to dlaczego pominęto wpływ sił bruźdzących/nagniatających?
- 16) str. 83 - z rysunku 7.17 nie wynika, czy dotyczy amplitudy FFT drgań narzędzia, czy siły odporowej? Wcześniej w tekście napisano: „(...) wybrano maksymalną amplitudę z szybkiej transformaty Fouriera (...) siły odporowej skrawania (...)”?
- 17) rys. 7.19 – na osi pionowej jednostką jest [RPM], podczas, gdy w innych miejscach pracy jest obr/min;
- 18) rys. 7.23 – co to jest f_s ?
- 19) str. 87 i 88 – może zamiast „geometrii narzędzia” lepiej byłoby użyć „geometrii ostrza”?
- 20) rys. 7.26 – brak jednostek na osiach;
- 21) rys. 8.3 i rys. 8.4 – dobrze byłoby opisać, gdzie te akcelerometry;
- 22) rysunki obrazujące wykresy szybkiej transformaty Fouriera mają opisy w języku angielskim;
- 23) str. 96, wiersz 5d, str. 97, wiersz 9g i str. 98, wiersz 3g – amplituda drgań, czy przyspieszenie?
- 24) str. 97 – 98, rys. 8.5 – 8.7 - w tekście brak wyjaśnienia przyczyny różnic w amplitudach drgań powstałych podczas obróbki stali w różnych stanach obróbki cieplnej;
- 25) str. 98 , wiersz 7d chyba powinno być „(tab. 8.3)” oraz chyba pomyłka w komentarzu do tej tabeli w wierszach 7d do 4d;
- 26) rys. 8.10 – chyba nie „normalizująco”?
- 27) rozdział 8.4 - brak analizy wyników pod kątem aspektów jakościowych (kształtu) przebiegów czasowych siły;
- 28) str. 108, wiersz 5g – zamiast drgań powinno być siły.

Na podstawie dotąd przeprowadzonej analizy można podjąć próbę rekonstrukcji **osiągnięcia naukowego rozprawy**. Jako elementy tego osiągnięcia widocznie odróżniające je od aktualnego stanu wiedzy w rozpatrywanej problematyce oraz świadczące o oryginalności rozprawy uważam:

1. Opracowanie kompleksowego dynamicznego modelu procesu mikrofrezowania, umożliwiającego oszacowanie chwilowych wartości składowych siły całkowitej, a także chwilowych wartości ugięcia narzędzia i stabilności procesu.
2. Uwzględnienie w zaproponowanym modelu zjawiska regeneracji po śladzie i minimalnej grubości warstwy skrawanej.
3. Opracowanie miarodajnej metodyki wyznaczania parametrów dynamicznych układu obrabiarzka-uchwyt-mikrofrez.

Autor zastosował w swojej pracy adekwatną do potrzeb aparaturę badawczą. Program badań doświadczalnych jest wystarczająco obszerny. Doktorant zastosował także odpowiedni do założonych celów aparat metodyczny.

W rozdziale dziewiątym zatytułowanym *Podsumowanie* Autor sformułował końcowe konkluzje dotyczące pracy w postaci stwierdzenia, że założony cel badań został osiągnięty, a postawiona teza udowodniona. Ustosunkował się również do celów szczegółowych i przedstawił wnioski wynikające z badań. Zasugerował również kierunek dalszych badań. Przedstawiony tu tekst, moim zdaniem,

jest ujęty w formie zbyt ujednoliconej, na skutek czego walory pracy nie są w pełni uwidocznione. Wyniki pracy byłyby bardziej klarowne w odbiorze, gdyby zgodnie z tradycją akademicką w tym względzie tekst został podzielony na: wnioski dotyczące tezy pracy, wnioski poznawcze, utylitarne i charakterystykę kierunków dalszych badań. I jeszcze jedna uwaga szczegółowa - zdanie na str. 111, wiersze 12d do 14d jest niezrozumiałe.

Co do całości tekstu nasuwają mi się jeszcze następujące uwagi i sugestie:

- 1) schemat blokowy realizacji pracy doktorskiej zwiększyłby komunikatywność przedstawionego tekstu, choć muszę podkreślić, że praca jest napisana klarownie;
- 2) brak wyraźnego sformułowania problemu naukowego pracy;
- 3) zdarza się niewłaściwe używanie niektórych słów, np.: słowa „niski”, gdy lepiej byłoby „mały”, np. na str. 8, 9, 34, 35, 39, 95, 98; „wielkość” zamiast „wartość”, np. na str. 33; „wysoki”, gdy lepiej byłoby „duży”, np. na str. 33; „najwyższy” zamiast „największy”, np. na str. 95; „elastyczny” zamiast „sprężysty”.

Bibliografia zamieszczona w końcowej części pracy zawiera 107 pozycji, w tym 6 pozycji z udziałem Autora ważnych dla tematu pracy (jedna pozycja autorska). Mgr inż. Marcin Matuszak analizuje i cytuje literaturę najnowszą, a także klasyczne dzieła o nieco starszym rodowodzie.

2. Ocena rozprawy

Przedstawiona analiza rozprawy zawiera wystarczające, moim zdaniem przesłanki do sformułowania oceny. Treść rozprawy jest zgodna z tematem zaakceptowanym przez Radę Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Podjęty temat jest ważny zarówno z poznawczych, jak i praktycznych względów i opracowany został obszernie i wyczerpująco. Jest to solidna praca badawcza dotycząca sensownego zagadnienia. Sformułowane w niniejszej recenzji uwagi nie umniejszają wartości materiału dowodowego pracy, w większości albowiem odnoszą się do sposobu prezentacji uzyskanych wyników. Nie mogą, więc stanowić podstawy do kwestionowania wartości pracy.

Praca wykonana jest w ośrodku o długoletnich tradycjach badawczych i dużym potencjale oraz zgromadzonej wiedzy. Bazą dla niniejszej rozprawy są liczne prace badawcze wykonane wcześniej, w tym również z udziałem Autora.

Pod względem metodycznym rozprawa jest poprawna. Literatura specjalistyczna została dobrana trafnie. Układ rozprawy i podział treści między poszczególne rozdziały jest logiczny, choć moim zdaniem, można by go nieco zmodyfikować wykorzystując sugestie podane przeze mnie wcześniej. Zbiór pojęciowy, jakim posługuje się Autor, z wyjątkiem wskazanych przeze mnie przypadków, jest poprawny. Strona ilustracyjna pracy jest bez zastrzeżeń, redakcja rozprawy zaś wykazuje drobne niedociągnięcia. W dostarczonym do recenzji egzemplarzu stwierdziłem szereg błędów korektorskich i drobnych nieścisłości. Zaznaczyłem to w tekście, niektóre z nich przedstawiłem powyżej.

Godna pochwały jest pracowitość Doktoranta owocuująca wartościową pracą wykazującą walory poznawcze i utylitarne. Esencjonalne i skondensowane przedstawienie wyników badań własnych poczytuję również jako walor tego tekstu pozwalający zainteresowanemu czytelnikowi na uzyskanie oglądu całości bez specjalnego trudu.

Warunkiem dysertabilności rozprawy doktorskiej jest jej związek z problemem metodologicznym, metodycznym lub poznawczym bezpośrednio lub pośrednio wpływającym na stan wiedzy. W przypadku recenzowanej rozprawy warunek ten jest spełniony pod względem drugiego i trzeciego z wymienionych aspektów, co wykazałem w analizie rozprawy. Rozprawa jest w wystarczającym stopniu poprawna metodologicznie, gdyż zawiera elementy, które w metodologii nauk określa się jako etapy badania naukowego.

Na podstawie analizy rozprawy oraz bibliografii dorobku Autora można stwierdzić, że jest On przygotowany do prowadzenia samodzielnej pracy naukowej. Doktorant wydatnie poszerzył swoją wiedzę z zakresu bardzo subtelnych zagadnień obróbki skrawaniem w skali mikro.

Podsumowując moją ocenę stwierdzam, że rozprawa:

- spełnia wymóg oryginalnego rozwiązania przez Autora zagadnienia naukowego,
- spełnia wymóg wykazania Jego ogólnej wiedzy teoretycznej w uprawianej dyscyplinie
- oraz wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Autora pracy naukowej.

3. Wniosek końcowy

W świetle dokonanej analizy i sformułowanych ocen stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Marcina Matuszaka pt. *Dynamika procesu mikrofrezowania - badania doświadczalne i modelowanie* spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące w tym względzie aktualne przepisy (Ustawa z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw) oraz tradycję akademicką i może stanowić podstawę do nadania jej Autorowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn. Może być, przeto dopuszczona do publicznej obrony.



Uchwała nr 108 /2018
Rady Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Technologicznego w Szczecinie
z dnia 16 października 2018 r.

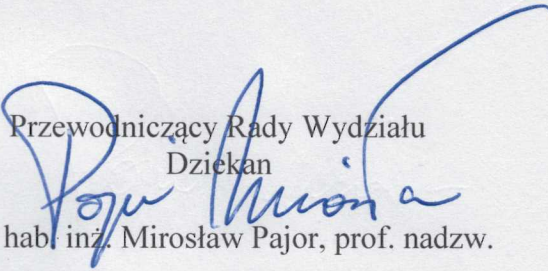
w sprawie: nadania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Budowa i eksploatacja maszyn **mgr inż. Marcinowi Matuszakowi.**

§ 1

Rada Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, działając na podstawie art. 14 ust.2 pkt. 5 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22.09.2011 r. (Dz.U. nr 204, poz. 1200) w sprawie *szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora* i Ustawie z dnia 3 lipca 2018r. *Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* art. 179.3 pkt. 1, **nadaje mgr inż. Marcinowi Matuszakowi stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn.**

§ 2

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

Przewodniczący Rady Wydziału
Dziekan

dr hab. inż. Mirosław Pajor, prof. nadzw.