

Dr hab. inż. Wojciech Płowucha, prof. ATH  
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej  
ul. Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biała  
tel. 8279321, e-mail wplowucha@ath.bielsko.pl

#### Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Joanny Jastrzębskiej  
pt. " Budżetowanie niepewności pomiaru sztywności statycznej obrabiarek"  
Promotor pracy: dr hab. inż. Paweł Majda, prof. ZUT  
Podstawa opracowania recenzji: pismo L.Dz. WIMiM/301/2022 z 4.07.2022.

#### 1. Charakterystyka zawartości pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Jastrzębskiej obejmuje siedem rozdziałów o łącznej objętości wynoszącej 104 strony, plus wykazy tablic i rysunków, streszczenia i załączniki oraz objęte osobną numeracją wykazy oznaczeń i akronimów oraz spis treści, co daje łącznie 125 stron (drobna czcionka ok. 3700 znaków na stronie).

Rozdział 1 (Wstęp, s. 1-4) to czterostronicowe wprowadzenie, w którym m.in. zwraca się uwagę że sztywność jest istotną charakterystyką systemu obrabiarka-uchwyt-przedmiot-narzędzie, bowiem przekłada się na dokładność geometryczną przedmiotu obrabianego. Zwrócono również uwagę, że w pomiarach występujących w badaniach sztywności, podobnie jak we wszystkich pomiarach, ważna jest analiza niepewności. Wskazano na korzyści prezentowania wyników pomiaru w postaci budżetu niepewności. Zwrócono uwagę na zalety metody Monte Carlo w odniesieniu do przypadków analiz niepewności dla złożonych modeli pomiaru.

Rozdział 2 (Wprowadzanie do problematyki, s. 5-17) zawiera omówienie literatury. Składa się z trzech podrozdziałów. Pierwszy zatytułowany „Pojęcie sztywności statycznej obrabiarki” zawiera definicje sztywności i podatności. Podano występujące w literaturze sposoby przedstawiania składowych sztywności i przykładowy wykres charakterystyki siła-przemieszczenie na którym widać histerezę i ewentualną nieliniowość. Zwrócono uwagę, że badania będą dotyczyły sił w zakresie wartości występujących podczas obróbki wykańczającej.

W drugim podrozdziale zatytułowanym „Motywacja do badań sztywności obrabiarek” przedstawiono różne możliwe cele badań sztywności. Wyróżniono potrzeby projektantów oraz użytkowników obrabiarek. W drugim przypadku jako główną, wymieniono możliwość kompensacji/korekcji odchyłek wynikających z ograniczonej sztywności.

W trzecim podrozdziale, ściśle związanym z tematem pracy, zatytułowanym „Badanie sztywności statycznej” omówiono stosowane obecnie modele, metody i wyposażenie w badaniach sztywności. W szczególności zwrócono uwagę na koncepcję elastycznie połączonych systemów i zastosowanie wyposażenia o nazwie Loaded Double Ball Bar, możliwość zastosowania metody elementów skończonych, metodę dynamiczną wyznaczania sztywności statycznej czy użycie interferometru śledzącego z wykorzystaniem multilateracji. Zwrócono uwagę, że mimo opracowania serii norm ISO 230, poszczególni producenci i ośrodki badawcze stosują najczęściej własne procedury badawcze co utrudnia porównywanie publikowanych wyników badań.

Autorka pracy zwraca uwagę na brak publikacji zawierających analizy niepewności pomiarów wykonanych w ramach badań sztywności. Jako jedyną napotkaną wskazuje publikację dotyczącą sztywności skrętnej robota przemysłowego. Wnioskiem z wykonanej analizy literatury jest stwierdzenie, że z metrologicznego punktu widzenia badania sztywności statycznej obrabiarek znajdują się na początkowym etapie.

Rozdział 3 (Cel i teza pracy, s. 18) zawiera (zgodnie z tytułem) cel i tezę pracy oraz krótkie uzasadnienie podjęcia tematu. Postawiono następującą tezę: „Szacowanie niepewności pomiaru sztywności statycznej obrabiarek umożliwia potwierdzenie spójności pomiarowej z jednostką długości dla wyznaczania poprawek kształtowania przedmiotów obrabianych”. Jako cel pracy wskazano

opracowanie budżetu niepewności pomiaru sztywności statycznej obrabiarki. Budżet ten to zestawienie poszczególnych, analizowanych składników niepewności procesu pomiarowego, dzięki któremu będzie możliwa szczegółowa identyfikacja źródeł błędów pomiaru.

Rozdział 4 (Model pomiaru sztywności obrabiarek, s. 19-61) składa się z pięciu podrozdziałów. W pierwszym, zatytułowanym „Modelowanie obiektu – obrabiarki” przedstawiono sposób modelowania obrabiarki. Poszczególne zespoły korpusowe obrabiarki traktowane są jako bryły sztywne pomiędzy którymi występują elementy sprężyste. Poszczególne elementy sprężyste mają po 6 stopni swobody i są scharakteryzowane przez 3 translacyjne i 3 rotacyjne współczynniki sztywności. W drugim podrozdziale (Model matematyczny) omówiono elementy modelu pomiaru podanego w rozdziale 2. Podano wzory i algorytm obliczania przemieszczeń uogólnionych. Zastosowano zapis macierzowy. W trzecim podrozdziale (Problematyka wyznaczania przemieszczeń uogólnionych) przeanalizowano warunki uzyskania rozwiązania układu równań. Podano wzór na wskaźnik uwarunkowania macierzy umożliwiający zdefiniowanie kryterium optymalizacji dla rozmieszczenia czujników pomiarowych. Zdefiniowano również kryterium optymalizacji dla niepewności wyznaczenia przemieszczeń uogólnionych. Wzięto pod uwagę uwzględnianie korelacji oraz oszacowanie błędu metody. W czwartym podrozdziale (Badania symulacyjne wyznaczania przemieszczeń uogólnionych) podano wyniki serii analiz, w których symulowano zastosowanie różnej liczby i różne rozmieszczenia czujników pomiarowych. Wykonano 4 analizy różniące się dwiema funkcjami celu (minimum współczynnika/wskaźnika uwarunkowania macierzy i minimum niepewności przemieszczeń uogólnionych) i dwoma rozmieszczeniami układu czujników (centralne i przesunięte względem układu współrzędnych). W każdej analizie brano pod uwagę użycie 6, 9, 12 i 15 czujników przemieszczenia. Obliczenia optymalizacyjne wykonano w programie Matlab. Wyniki analiz przedstawiono w tablicach oraz w postaci macierzy współczynników korelacji uzupełnionych o graficzne przedstawienie uzyskanych rozkładów prawdopodobieństwa. Stwierdzono m.in., że błąd metody jest pomijalnie mały oraz że niepewności przemieszczeń uogólnionych nie są zdominowane przez składnik pochodzący od dokładności czujników. W ostatnim, piątym podrozdziale (Korelacje sił uogólnionych) opracowano wyniki symulacji pod kątem występowania korelacji sił uogólnionych. Wyniki, podobnie jak wcześniej, przedstawiono w postaci macierzy korelacji uzupełnionej o informację graficzną o postaci rozkładów prawdopodobieństwa.

Rozdział 5 (Szacowanie niepewności, s. 62-98) stanowi opis części badawczej pracy i składa się z pięciu podrozdziałów. Podrozdział pierwszy (Algorytm szacowania niepewności pomiaru sztywności statycznej obrabiarek) zawiera krótkie uzasadnienie zastosowania metody Monte Carlo do wyznaczania niepewności pomiaru oraz algorytm w postaci schematu blokowego. W podrozdziale drugim (Realizacja badań) przedstawiono ogólny schemat pomiaru sztywności statycznej obrabiarki oraz elementy systemu pomiarowego użytego w badaniach. Do ważniejszych elementów tego systemu należą: układ akwizycji sygnałów pomiarowych z elementami umożliwiającymi akwizycję siły i przemieszczeń i układem kondycjonowania sygnałów napięciowych, 10 czujników przemieszczenia (czujniki pojemnościowe), siłomierz tensometryczny i siłownik pneumatyczny z oprzyrządowaniem, przeguby, tarcza pomiarowa (element, względem którego mierzono przemieszczenia) oraz uchwyty do czujników. W podrozdziale trzecim (Identyfikacja źródeł błędów) omówiono szczegółowo potencjalne źródła błędów w celu utworzenia rozszerzonego modelu pomiaru. Wzięto pod uwagę następujące błędy: błędy wskazań czujników przemieszczenia i czujnika siły, błędy układów akwizycji danych pomiarów siły i przemieszczeń, błędy od drgań czujników, błąd filtracji, odtwarzalność wskazań czujnika przemieszczeń, błąd próbkowania, błąd wynikający z założenia o ruchu bryły sztywnej, błędy pomiaru rozmieszczenia czujników przemieszczenia, błędy oceny kierunku i współrzędnych punktu zaczepienia siły oraz błąd histerezy charakterystyki siła-przemieszczenie – łącznie 24 błędy. W podrozdziale czwartym (Odtwarzalność pomiaru sztywności ze względu na strategię rozmieszczenia czujników przemieszczenia) przedstawiono wyniki badań odtwarzalności pomiaru sztywności. Pomiaru wykonywano przez 10 dni dla 10 czujników przemieszczenia. Oprócz wartości sztywności wzięto pod uwagę liniowość i opóźnienie. W podrozdziale piątym (Budżet niepewności pomiaru sztywności) wykonano cykl analiz niepewności wyznaczenia współczynników sztywności dla dwóch wariantów. W obu wariantach do pomiaru przemieszczeń użyto 8 czujników, a budżet niepewności zawierał około

50 składników. Wielkości wyjściowych było 5 (jedna składowa wektora współczynników sztywności nie występowała). Propagację niepewności wykonano metodą Monte Carlo przy zastosowaniu 10000 prób (trials). W wariancie 1 wykorzystano wyniki ze świadectw wzorcowania użytych przyrządów (niepewności wzorcowania), w wariancie 2 wykorzystano jedynie (podawaną przez producentów) informację o maksymalnych błędach dopuszczalnych (MPE). Budżety niepewności (osobne dla współczynnika sztywności, jego liniowości, opóźnienia odpowiedzi na wystąpienie obciążenia i wyrazu wolnego równania liniowego wyrażającego siłę uogólnioną jako funkcję przemieszczeń uogólnionych) przedstawiono w postaci wykresów słupkowych. W osobnej tablicy przedstawiono macierz korelacji dla 5 wielkości wyjściowych uzupełnioną informacją graficzną o rozkładach par tych wielkości. W podrozdziale szóstym (Problematyka kompensacji sztywności) przedstawiono sposób (model) wykorzystania wyników badań sztywności do obliczenia poprawki i jej niepewności w punkcie funkcjonalnym. Przy obliczaniu niepewności wzięto pod uwagę możliwość występowania korelacji między wielkościami wejściowymi. Szczegółową analizę wykonano dla modelu uproszczonego do modelu płaskiego z jednym współczynnikiem sztywności translacyjnym i jednym rotacyjnym. Wykonano również porównanie otrzymanych wyników niepewności z tolerancjami normalnymi wymiarów. Dość szczegółowo omówiono wnioski z wykonanych badań i analiz.

Rozdział 6 (Podsumowanie, s. 99-100) zawiera krótkie odniesienie się do otrzymanych wyników.

Literatura (s. 101-104) obejmuje 70 pozycji (52 artykuły, 2 książki, 10 norm i 6 katalogów). Na uwagę zasługuje fakt, że w jednym z artykułów autorstwa Promotora i Doktorantki, opublikowanym w czasopiśmie Measurement, przedstawione zostały wyniki badań wykonanych w ramach niniejszej pracy.

## 2. Ocena tematu, celu i tezy pracy

Problematyka niepewności pomiaru należy do bardzo aktualnych. Publikacja w 1995 roku pierwszego wydania Przewodnika do wyrażania niepewności pomiarów, znanego w Polsce pod skrótem Przewodnik GUM uporządkowała w znacznym stopniu zarówno terminologię, jak i metodykę postępowania. Od tego czasu opracowano kilka suplementów do tego dokumentu. Z punktu widzenia niniejszej pracy, oprócz samego Przewodnika GUM (*PKN-ISO/IEC Guide 98-3:2021 Niepewność pomiaru. Część 3: Przewodnik wyrażania niepewności pomiaru*) najciekawsze są cytowane w pracy dokumenty JCGM 101 (*PKN-ISO/IEC Guide 98-3/Suppl.1:2009 Niepewność pomiaru. Część 3: Przewodnik wyrażania niepewności pomiaru. Suplement 1: Propagacja rozkładów metodą Monte Carlo*) i 102 (*PKN-ISO/IEC Guide 98-3/Suppl.2:2011 Niepewność pomiaru. Część 3: Przewodnik wyrażania niepewności pomiaru. Suplement 2: Rozszerzenie dla dowolnej liczby wielkości wyjściowych*) oraz niecytowane JCGM 104 (*PKN-ISO/IEC Guide 98-1:2009 Niepewność pomiaru. Część 1: Wprowadzenie do wyrażania niepewności pomiaru*) i JCGM GUM-6:2020 *Guide to the expression of uncertainty in measurement. Part 6: Developing and using measurement models*.

Temat pracy: „Budżetowanie niepewności pomiaru sztywności statycznej obrabiarek” wskazuje, że Autorka chce poznać możliwie wszystkie składniki niepewności pomiaru. Słowo „budżetowanie” w temacie pracy wskazuje, że zainteresowanie jest skierowane na rozpoznanie „wagi” potencjalnych składników niepewności.

Podany cel pracy, którym jest „opracowanie budżetu niepewności pomiaru sztywności statycznej obrabiarki stanowi potwierdzenie takiego rozumienia tytułu.

Postawiono następującą tezę: „Szacowanie niepewności pomiaru sztywności statycznej obrabiarek umożliwia potwierdzenie spójności pomiarowej z jednostką długości dla wyznaczania poprawek kształtowania przedmiotów obrabianych”. Użycie w tezie sformułowania „potwierdzenie spójności pomiarowej z jednostką długości”, czyli formułki występującej na świadectwach wzorcowania wystawianych przez akredytowane laboratoria wzorcujące wskazuje, że Autorka ma zamiar opracować procedurę szacowania niepewności, która powinna spełniać podobne wymagania jak procedury wzorcowania wzorców i przyrządów pomiarowych. Inaczej mówiąc, występowanie w tezie pracy terminu „spójność pomiarowa z jednostką długości” świadczy o próbie potraktowania obrabiarki jako „przyrządu pomiarowego” występującego w łańcuchu wzorcowań.

Oceniając temat, cel i tezę pracy należy zwrócić uwagę na oryginalność podjętych badań. Dotychczas opublikowane dokumenty dotyczą pojedynczych mierzonych wielkości, podczas gdy w pracy mamy do czynienia z analizą sygnałów: wielkość wejściową stanowi sinusoidalny sygnał siły a cztery wektorowe wielkości wyjściowe to współczynniki sztywności statycznej, wyrazy wolne równania liniowego wyrażającego związek między siłą a przemieszczeniem, opóźnienie sygnału wyjściowego względem sygnału wejściowego i błąd liniowości. Warto również zauważyć, że znane dotychczas analizy niepewności wykonywane są przede wszystkim w odniesieniu do wzorcowań wyposażenia pomiarowego i ostatnio (coraz częściej) w pomiarach mających na celu podjęcie decyzji o zgodności/niezgodności wyrobów. Wykonanie analizy niepewności pomiarów wykonywanych w badaniach należy do bardzo trudnych, szczególnie z powodu braku podobnych przykładów.

Praca jest związana z ciągle aktualnym dążeniem do uzyskiwania wysokiej dokładności geometrycznej w obróbce skrawaniem przy możliwie niskich kosztach produkcji. Na obecnym rozwoju środków produkcji (powszechne stosowanie sterowania komputerowego) jedną z możliwości praktycznie bezkosztowego podniesienia dokładności jest stosowanie kompensacji/korekcji numerycznej.

Podsumowując: temat pracy, teza i cele są określone poprawnie i uwzględniają aktualny poziom wiedzy w dziedzinie inżynierii mechanicznej a w szczególności w metrologii.

### 3. Szczegółowa ocena rozprawy

Doktorantka w swojej pracy podjęła się praktycznego wykorzystania dostępnej wiedzy z zakresu badań sztywności obrabiarek i obowiązującej metodyki wyznaczania niepewności pomiarów do zdefiniowania algorytmu wyznaczania niepewności pomiaru sztywności statycznej z użyciem metody Monte Carlo. Przez określenie „badanie sztywności” rozumiem cztery wymienione już wielkości w rozpatrywanym układzie współrzędnych uogólnionych, tzn. współczynniki sztywności statycznej (translacyjne i rotacyjne), wyrazy wolne równania liniowego wyrażającego związek między siłą a przemieszczeniem, opóźnienie sygnału wyjściowego względem sygnału wejściowego i błąd liniowości. W tym celu konieczne było zidentyfikowanie możliwie wszystkich składników niepewności pomiaru.

Same badania zostały wykonane z użyciem dokładnych czujników siły (membranowy siłomierz tensometryczny EMS 30) i przemieszczenia (czujniki pojemnościowe CPL 190 Elite Series). W pracy opisano szczegółowo stanowisko badawcze, na które składały się (oprócz czujników siły i przemieszczenia) siłownik pneumatyczny i układ akwizycji danych (NI PXI-e-1082) umożliwiające sterowanie siłownikiem i równoczesne zbieranie (w czasie rzeczywistym) danych dotyczących aktualnych wartości siły i przemieszczenia. Siłownik z osprzętem jest mocowany pomiędzy stołem i wrzecionem. Dzięki użyciu dwóch przegubów, możliwe jest wykonanie badań przy różnych kierunkach działania siły. Pomiary przemieszczenia wrzeciona względem stołu obrabiarki wykonywano z użyciem 12 czujników zmontowanych w uchwytych połączonych ze stołem względem tarczy połączonej wrzecionem.

Dużo uwagi poświęcono badaniom symulacyjnym mającym na celu określenie optymalnej liczby czujników przemieszczenia. Sporo uwagi poświęcono problematyce korelacji wielkości wejściowych. Wyniki badań przedstawiono w postaci wykresów słupkowych przedstawiających (w skali) poszczególne składniki niepewności pomiaru. Głównym wynikiem pracy jest opracowany i przetestowany algorytm umożliwiający uzyskanie szczegółowego budżetu niepewności dla zaproponowanej metody badania sztywności.

Na podstawie wykonanych w ramach pracy analiz można uznać, że Doktorantka **posiada wystarczającą ogólną wiedzę teoretyczną** wymaganą od kandydata na stopień doktora w swojej dyscyplinie naukowej.

Analizując przedstawioną do oceny rozprawę doktorską pani mgr inż. Joanny Jastrzębskiej, a w szczególności część badawczą tej rozprawy można wyróżnić następujące najważniejsze osiągnięcia Autorki:

1. Opracowanie metodyki badań mających na celu ocenę niepewności pomiaru sztywności i jej składników.
2. Zaprojektowanie, wykonanie i opracowanie wyników eksperymentów do oceny składników niepewności metodą typu A.

3. Opracowanie algorytmu i oprogramowania do wyznaczania niepewności pomiaru sztywności metodą Monte Carlo.

Można uznać, że przedstawione zadania badawcze zostały zrealizowane przy użyciu prawidłowych, z naukowego punktu widzenia, metod analizy i badań. Wymienione powyżej efekty rozprawy potwierdzają naukowy charakter prowadzonych badań w zakresie niepewności pomiarów sztywności obrabiarek.

W moim przekonaniu **rozwiązanie problemu naukowego jest oryginalne** a sposób wykonania badań świadczy o **umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**.

Na szczególną uwagę zasługuje współautorstwo publikacji Majda P., Jastrzębska J., Measurement uncertainty of generalized stiffness of machine tools. Measurement 170 (2021). (200 pkt.).

Oceniając pozytywnie recenzowaną pracę, chciałbym przedstawić kilka uwag polemicznych i krytycznych.

1. Sporą trudność przy czytaniu pracy sprawia powiązanie wielkości występujących w wykonywanych badaniach (siła, przemieszczenie, sztywność, opóźnienie, liniowość, wyraz wolny równania) z terminologią stosowaną w przewodniku GUM, które z tych wielkości to wielkości wejściowe, które wyjściowe – brakuje mi przedstawienia na początku pracy czytelnego modelu pomiaru. Ze wzoru (4.1) nie da się tego łatwo wywnioskować. Model obrabiarki przedstawiony na rys. 4.1 składający się z pięciu elementów nie jest w pracy wykorzystany – w dalszych analizach i badaniach obrabiarka jest traktowana jako jeden element.
2. W mojej ocenie zbyt dużo uwagi poświęcono kwestii określenia optymalnej liczby czujników pomiarowych przemieszczenia. Minimalna ich liczba to oczywiście 6. Dodanie dodatkowych 3 jest uzasadnione możliwością wykrywania błędów nadmiernych (nie ma o tym mowy w pracy). Najważniejsze jest oczywiście odpowiednie ich rozmieszczenie. W kontekście rozmieszczenia czujników pojawia się pytanie, czy zamiast tarczy nie powinna być użyta kostka sześcienna umożliwiająca jednakowe rozstawienie czujników wzdłuż każdej z trzech osi obrabiarki.
3. W rozdziale 4.4 przedstawiono wyniki eksperymentów symulacyjnych służących określeniu optymalnej liczby czujników. Algorytm tego eksperymentu powinien być opisany jaśniej. Brakuje też jasnego opisu, ciekawego sposobu wizualizacji otrzymanych wyników.
4. W rozdziale 2 znajduje się stwierdzenie, że „obok dwóch metod szacowania niepewności ...” (chodzi o metody A i B wyznaczania składników niepewności) „... stosowana jest technika symulacyjna nazywana metodą Monte Carlo.”. Rzeczywiście technika symulacyjna może również służyć do wyznaczania składników niepewności (o tym nie mówi się w Przewodniku GUM) ale w Przewodniku GUM metoda Monte Carlo jest jedną z trzech metod propagacji rozkładów (składników niepewności) obok metody analitycznej (obliczanie splotów) i metodyki GUM (GUM uncertainty framework). Na usprawiedliwienie Doktorantki trzeba powiedzieć, że jest to błąd występujący powszechnie. W przypadku stosowania metody Monte Carlo nie uzyskuje się budżetu niepewności (przedstawiony w pracy sposób odtworzenia budżetu niepewności jest całkiem ciekawy).

Oprócz przedstawionych uwag polemicznych, w pracy dostrzegam także usterki terminologiczne, nieścisłości, błędy literowe i niedociągnięcia edytorskie. Przedstawiam tylko najważniejsze z nich.

1. W języku polskim znakiem dziesiętnym jest przecinek (w pracy używana jest kropka).
2. W rozdziale 2 współczynnik sztywności jest oznaczany przez  $k$  (mała litera) a w pozostałej części pracy przez  $K$  (wielka litera).
3. W pracy używa się określenia „liczba informacji” (np. str. 23) – powinno być ilość informacji.
4. Wzór (4.25) oraz tekst „... potęgowanie macierzy ... wykonuje się tablicowo” wymaga wyjaśnienia.
5. Pozycje [9] i [10] to ten sam Przewodnik GUM.
6. Str. 66 „Producent czujników deklaruje, że rozszerzona niepewność ...” – producent czujników powinien podawać MPE lub MPL, która może być użyta do obliczenia (metodą B) niepewności standardowej.
7. Wzór (5.1): brakuje mnożenia drugiego członu przez odległość; jakie jest znaczenie drugiego członu przy zakresie pomiarowym  $\pm 250 \mu\text{m}$ ?

8. Str. 68: co oznacza 10 kS/s?
9. Str. 68: zamiast 5V ma być 5 V.
10. Str. 69: „w sposób randomowy” – losowy?
11. Str. 69: co oznacza „zmierzenie mostka”?
12. Str. 75 i 76: zamiast „błędów grubych” lepiej użyć „błędów nadmiernych”.
13. Wzór (5.25): brakuje pierwiastka.
14. Literówki: str. 14 „analogi”, str. 72 „meteorologicznego”, str. 75 „błędów gruby”, str. 80 „jedno” (jednego), str. 93 0.1mm, str. 94 „zdolność” (zdolności).

#### 4. Ocena końcowa rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Jastrzębskiej dotyczy wyznaczania niepewności pomiaru w badaniach sztywności obrabiarek czyli łączy dwa poważne problemy: badania sztywności obrabiarek i wyznaczanie niepewności pomiaru.

Postawiony problem naukowy ma duże znaczenie poznawcze i praktyczne. Sposób jego rozwiązania zaproponowany w rozprawie potwierdza umiejętności Doktorantki w zakresie samodzielnego podejmowania i rozwiązywania zadań naukowych. Wartość merytoryczną uzyskanych wyników oceniam pozytywnie.

Na podstawie powyższych stwierdzeń wyrażam opinię, że przedstawiona rozprawa doktorska pt. „Budżetowanie niepewności pomiaru sztywności statycznej obrabiarek” mgr inż. Joanny Jastrzębskiej spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r. w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i tym samym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Na podstawie powyższych stwierdzeń wyrażam opinię, że przedstawiona rozprawa doktorska pt. „Budżetowanie niepewności pomiaru sztywności statycznej obrabiarek” mgr inż. Joanny Jastrzębskiej spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789); rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 poz. 261); ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668) i tym samym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

*Grzegorz Nowakowski*