

prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik
Politechnika Rzeszowska
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Katedra Konstrukcji Maszyn
Al. Powstańców Warszawy 12
35-959 Rzeszów



Rzeszów, 15.01.2021

**Ocena rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Romana Michalskiego**

**WERYFIKACJA I REWERYFIKACJA PARAMETRÓW DOKŁADNOŚCIOWYCH FREZARKI
W OPARCIU O PROCEDURY STOSOWANE WE WSPÓŁRZĘDNOŚCIOWYCH
SYSTEMACH POMIAROWYCH**

Podstawa recenzji

Pismo dra hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej numer DIM.63.276.2020 z dnia 1 grudnia 2020 roku.

1. Wprowadzenie

Zaprezentowana do oceny rozprawa doktorska jest związana z produkcją obrabiarek, a ściślej z procedurą odbiorczą gotowych maszyn technologicznych. Doktorant jest pracownikiem firmy FAMOT zajmującej się wytwarzaniem takich właśnie urządzeń, stąd praca ma charakter przemysłowy i wdrożeniowy. Tematyka rozprawy jest aktualna i istotna z punktu widzenia bieżących trendów naukowych. Produkcja obrabiarek na świecie jest ważnym elementem inżynierii mechanicznej od szeregu lat. Zmieniają się parametry dokładnościowe, rozszerzają się możliwości i akcesoria, niemniej obróbka różnorodnych tworzyw stosowanych do produkcji części maszyn, narzędzia do niej stosowane są cały czas ważną gałęzią przemysłu oraz motorem rozwoju nauki. Strategia Przemysł 4.0 wdrażana od kilku lat na całym świecie stawia dalsze wyzwania w tej tematyce. Natomiast silny rynek konkurencyjny zmusza producentów do poszukiwania oszczędności na każdym etapie wytwarzania. W ten właśnie obszar wpisuje się recenzowana praca doktorska, nastawiona na zmianę procedury, a co za tym idzie skrócenie czasu realizacji odbioru gotowej obrabiarki i wprowadzenia na rynek. Jest to też krok pośredni, w kierunku obrabiarki zintegrowanej ze współrzędnościową maszyną pomiarową, realizującą zarówno zadania obróbcze jak i pomiarowe.

Praca zawiera część teoretyczną i praktyczną, w której zawarto bardzo obszerny materiał badawczy. Jest on wynikiem długotrwałych pomiarów na dużej liczbie elementów obrabiarek, co samo w sobie jest wartością tej pracy. W świetle przedstawionych zagadnień podjęcie tematu rozprawy należy zatem uznać za trafne i w pełni uzasadnione, zarówno pod względem naukowym, jak i użytkowym.

2. Omówienie rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca składa się z ośmiu rozdziałów zasadniczych i zawiera 227 stron wraz z załącznikami. Oprócz rozdziałów numerowanych w pracy znajdują się jeszcze części nienumerowane, a mianowicie Spis treści, Wykaz literatury, Streszczenie i Abstract, czyli streszczenie w języku angielskim oraz Załączniki. Kolejność rozdziałów i podrozdziałów tworzy logiczny i spójny układ, kolejno przedstawiane treści rozwijają i uzupełniają myśli zawarte w częściach poprzedzających. Zawartość merytoryczna pracy jest odpowiednio i starannie zilustrowana, co niewątpliwie pomaga we właściwym zrozumieniu zawartości merytorycznej przedstawionego materiału.

Rozdział pierwszy pracy to Wstęp, w którym Doktorant przedstawia rys historyczny rozwoju techniki obrabiarkowej i jej uwarunkowania z punktu widzenia dnia obecnego stanu techniki. Omawia również skrótowo zawartość kolejnych rozdziałów manuskryptu.

Drugi rozdział poświęcony został - zgodnie z tytułem frezarkom i frezarskim centrom obróbkowym. Autor rozpoczyna go od przeglądu wybranych rozwiązań frezarek i centrów frezarskich, dzieląc je na 3-, 4- i 5-osiowe, do obróbki z pręta i o zamkniętej strukturze kinematycznej. Podział ten ma charakter niejednoznaczny, ponieważ np. w rozwiązaniach do obróbki z pręta znajdują się układy cztero- i pięcioosiowe. Kolejny podrozdział zawiera prezentację podstawowych elementów obrabiarek, tutaj już potraktowanych łącznie, nie tylko w odniesieniu do frezarek. Wyszczególniono w nim siedem zasadniczych podzespołów o charakterze funkcjonalnym. Ten podrozdział uzupełnia kolejny - systemy wspomagające pracę obrabiarki. Opisano w nim pokrótce: systemy automatyzacji, magazyny narzędziowe, paletowe systemy wymiany przedmiotów obrabianych, systemy diagnostyczne i systemy do pomiaru narzędzia i wykonywanego elementu. Cały rozdział kończy przegląd i opis wybranych maszyn technologicznych produkowanych przez FAMOT Pleszew.

Rozdział trzeci to prezentacja podstaw i najistotniejszych cech współrzędnościowej techniki pomiarowej. W podstawach opisano układy współrzędnych i podstawowe elementy geometryczne, wraz z minimalną liczbą punktów niezbędnych do ich wyznaczenia. Osobny podrozdział poświęcono tolerancjom geometrycznym, związanym z kształtem, kierunkiem, położeniem i biciem. Każdą z występujących tu odchyłek opisano bardzo szczegółowo, wraz z pewnymi zagadnieniami dla nich specyficznymi. Osobny podrozdział poświęcono elementom odniesienia w pomiarach współrzędnościowych, gdzie Autor szczególnie skupił się na okręgach wyznaczanych jako różne elementy zastępcze. Po tym opisie następuje przegląd typów współrzędnościowych maszyn pomiarowych, przeprowadzony na podstawie normy ISO 10360 i w oparciu o inne opracowania literaturowe. Omówiono też skrótowo impulsowe i skaningowe głowice pomiarowe. Kolejny podrozdział zawiera omówienie błędów współrzędnościowych maszyn pomiarowych oraz głównych źródeł ich występowania. Omawiając weryfikacje i reweryfikację funkcjonowania współrzędnościowych maszyn pomiarowych Doktorant odniósł się do zagadnień poruszanych w części drugiej, czwartej i piątej normy ISO 10360. Siódmy podrozdział rozdziału trzeciego poświęcony został analizie mocowań stosowanych podczas pomiarów na WMP. Jest to zagadnienie o tyle istotne, że nawiązuje do niego część przeprowadzonych badań. Kończąc rozdział, Autor przedstawia metody szacowania niepewności pomiarów w technikach współrzędnościowych. Uwzględnił tutaj metody: wykorzystującą obiekt wykalibrowany, wykorzystującą obiekt niewykalibrowany oraz symulacyjną wykorzystującą wirtualną maszynę pomiarową.

Kolejny, czwarty rozdział dedykowany jest badaniu odbiorczemu frezarek sterowanych numerycznie. Scharakteryzowano tu krótko rodzinę norm ISO 10791, a szczególnie dużo miejsca poświęcono części siódmej, dotyczącej dokładności obrabianego przedmiotu próbnego. Zaprezentowano przedmiot próbny typu A i B oraz przedstawiono stosowne wymiary z tolerancjami i wytyczne odnośnie skrawania.

Opisany w pierwszych rozdziałach materiał stanowi szerokie opracowanie teoretyczne, które jest podstawą do sformułowania celu i tezy pracy przedstawionej w rozdziale piątym. Jako tezę główną Autor postawił sobie stwierdzenie, że dla nowoczesnych obróbkowych centrów frezarskich sterowanych numerycznie, możliwe jest przeprowadzenie badania i weryfikacja cech dokładnościowych obrabiarki za pomocą pomiaru elementu testowego bezpośrednio po jego wykonaniu na stole obrabiarki przy użyciu sondy przedmiotowej. Tak sformułowana teza dotyczy obszaru nowego, takich badań dotychczas nie prowadzono. Teza została wsparta tezami pomocniczymi, mówiącymi że dla nowoczesnych centrów frezarskich sterowanych numerycznie możliwe jest wyznaczenie na bazie procedury ISO 10360 błędu granicznego pomiaru (*MPE_{obr}*) za pomocą obrabiarki, a także że możliwe jest określenie metody mocowania, która minimalizuje odkształcenie mierzonego elementu i określenie najlepszej strategii pomiarowej. Jako cel pracy podano przeprowadzenie pomiaru wzorcowego elementu testowego (wcześniej zmierzonego na współrzędnościowej maszynie pomiarowej) za pomocą sondy przedmiotowej bezpośrednio po wykonaniu na obrabiarce, oraz pomiaru zgodnie z wytycznymi normy ISO 10360-2 wykonanego za pomocą centrum frezarskiego wyposażonego w sondy mierzące. Jest to cel o charakterze praktycznym, będący w rzeczywistości bardziej drogą do weryfikacji postawionych tez.

Szesty rozdział Autor poświęcił przedstawieniu przedmiotu badań i stanowisk badawczych. W pierwszej części zaprezentowano pomiary elementów korpusowych przy różnych układach podparcia. Autor omówił wykorzystaną współrzędnościową maszynę pomiarową oraz metodykę realizacji procedury badawczej. Scharakteryzował kolejno cechy geometryczne osi X, Y i Z, przedstawiając dla każdego z nich rodzaje podparcia lub mocowań oraz analizę MES. Druga część to pomiary elementów korpusowych przy różnych bazach i strategiach pomiarowych. Tutaj również przedstawiono stanowisko badawcze i metodykę realizacji pomiarów pokazano badane cechy geometryczne oraz układy baz i strategie pomiarowe. Podobnie zaprezentowana została część pracy związana z badaniami powtarzalności WMP - podrozdział zawiera metodykę prowadzenia badań, opis badanych cech geometrycznych i procedurę wyznaczenia niepewności pomiaru, wraz z zależnością na niepewność rozszerzoną i jej składowymi. Kolejny fragment pracy dotyczy badania powtarzalności sondy przedmiotowej na frezarce. Opisano w nim przedmiot badania z uwzględnieniem materiału, z jakiego został on wykonany, proces technologiczny wykonania elementu próbnego (obróbka zgrubna i wykańczająca) oraz badane cechy geometryczne. Przedstawiono założenia do programu pomiarowego, opisano sondę przedmiotową i metodykę badania. Następnie Autor zaprezentował badanie elementu testowego za pomocą sond przedmiotowych stosowanych na frezarce sterowanej numerycznie oraz badanie parametrów dokładnościowych tej frezarki przy zastosowaniu procedury opartej o normę ISO 10360-2. Tutaj także omówił stanowisko badawcze, czyli obróbkowe centrum frezarskie CMX 70 U i przedmiot badań (wzorzec długości), a także przedstawił metodykę realizacji pomiarów (uwzględniając orientację położenia wzorca długości na stole obrabiarki) wraz z opisem sond przedmiotowych.

Kolejnym rozdziałem pracy jest rozdział siódmy, w którym zawarto przykładowe wyniki badań i pomiarów (reszta wyników stanowi załącznik do pracy, będący bardzo obszernym materiałem źródłowym) oraz ich analizę. Wyniki podzielono na poszczególne procedury badawcze, czyli:

- wyniki pomiarów elementów korpusowych przy różnych mocowaniach, wraz z analizą dla sań osi X, Y, Z,
- wyniki pomiarów cech geometrycznych sań przy różnych bazach i strategiach pomiarowych,
- wyniki pomiarów powtarzalności współrzędnościowej maszyny pomiarowej, wraz z wyznaczeniem niepewności pomiaru,
- wyniki pomiarów cech za pomocą sondy na frezarce, wraz z wyznaczeniem niepewności pomiaru realizowanego za pomocą obrabiarki z sondą,
- wyniki badań elementu testowego za pomocą sond przedmiotowych stosowanych na frezarkach sterowanych numerycznie,
- wyniki badań parametrów dokładnościowych frezarki sterowanej numerycznie w oparciu o normę PN-EN ISO 10360-2.

Oprócz samych wyników rozdział ten zawiera również ich analizę i wnioski z niej wypływające.

Rozdział ósmy przedstawia wnioski i kierunek dalszych badań Doktoranta. Wnioski podzielono na te, które wynikają z badań przeprowadzonych za pomocą współrzędnościowej maszyny pomiarowej oraz wynikające z badań przeprowadzonych na obróbkowym centrum frezarskim. Autor potwierdził tu również udowodnienie postawionej tezy.

Wykaz literatury będący rozdziałem nienumerowanym zawiera 194 pozycje, w tym współautorskie publikacje Doktoranta, a także normy i strony internetowe.

Pracę uzupełniają załączniki (jest ich łącznie 39), które zawierają wyniki pomiaru cech geometrycznych i obliczeń statystycznych sań X, Y i Z dla różnych mocowań, wyniki pomiaru i obliczeń statystycznych sań X, procedurę wyznaczenia powtarzalności pomiaru współrzędnościowej maszyny pomiarowej, wyniki pomiarów elementu i obliczenia statystyczne dla próbnego przedmiotu na obrabiarce, wyniki badania powtarzalności obrabiarki oraz wyniki pomiarów i odchyłki wzorca długości na różnych egzemplarzach obrabiarki CMX 70 U.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Pod kątem merytorycznym przedstawiona rozprawa zawiera bardzo bogaty materiał badawczy, który jest wynikiem tysięcy dokonanych pomiarów. Ten wkład pracy Autora jest z pewnością dużą wartością, wymagał ogromnego zaangażowania i wsparcia ze strony macierzystego zakładu. Wsparcie to umożliwiło dokonanie pomiarów wielu elementów obrabiarek oraz dostęp do stosowanych urządzeń pomiarowych. Sama praca jest klasycznym doktoratem aplikacyjnym, wpisującym się w założenia dedykowane dla programu doktoratów wdrożeniowych będącego inicjatywą Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, chociaż formalnie przygotowana została poza tym programem. W rozprawie

można zauważyć działania o charakterze badawczym i rozwojowym, które doprowadziły do możliwości wdrożenia zmodyfikowanej procedury wdrożeniowej.

Autor udowodnił tezę (wraz z tezami pomocniczymi) i zrealizował cel, chociaż był on bardziej manualny niż badawczy. Do szczególnych wartości pracy - oprócz zrealizowanych pomiarów - zaliczyć należy:

- zaproponowanie koncepcji obrabiarki funkcjonującej jako współrzędnościowa maszyna pomiarowa,
- opracowanie procedury analizy obrabiarki z punktu widzenia czynności przewidzianych dla współrzędnościowych maszyn pomiarowych,
- rozwinięcie standardowych programów dla sond pomiarowych do zadań realizujących pomiary odchyłek związanych z kształtem i położeniem,
- przygotowanie wstępnych danych do możliwości realizacji obrabiarki jako jedno urządzenie ze współrzędnościową maszyną pomiarową.

Wartości te posiadają charakter nowatorski, takie podejście nie jest spotykane w publikacjach, choć firmy obrabiarkowe i pomiarowe wytyczają sobie wspólne cele, zmierzające do efektów podobnych jak prace Doktoranta.

W pracy można też dostrzec pewne niedociągnięcia. Mam wrażenie, że przynajmniej częściowo ich przyczyną jest coś, co określiłbym jako zapał naukowca na początku swojej drogi, który czasem objawia się w niezbyt precyzyjnym formułowaniu myśli, stosowaniem skrótów myślowych i pojęć nie do końca zgodnie z ich definicjami. Stąd nie wszystko w pracy wyjaśnione jest w sposób zadawalający, co z kolei wymaga miejscami dużo bardziej wnikliwą analizę ze strony recenzenta. Tendencja ta jest zresztą bardziej powszechna właśnie w doktoratach o charakterze przemysłowym, co wynika z doświadczeń i większego skupienia na efektach praktycznych niż samej procedurze badawczej.

Zapoznając się z treścią manuskryptu nasunęły mi się pewne uwagi w stosunku do treści, które mogą być dla Doktoranta punktem wyjścia do ciągłego doskonalenia warsztatu naukowego i edytorskiego, a także do dyskusji z Recenzentem. Wśród takich uwag są następujące:

- 1) Strona 7 - pisząc o maszynach w ogólności, warto przytoczyć definicję maszyny, którą przyjął Doktorant.
- 2) W pracy warto przytoczyć definicję pojęcia "dokładność".
- 3) Strona 9 - podana definicja frezarki nie jest jednoznaczna, dla tej właśnie obrabiarki. Jeśli faktycznie jest zaczerpnięta z podanej pozycji literaturowej, to zawsze należy mieć do tego krytyczny stosunek.
- 4) Strona 10 - klasyfikacja frezarek - lepsze byłoby zaproponowanie kilku odrębnych podziałów frezarek, pod kątem różnych cech.
- 5) Strona 11 i dalsze - rozdział 2 ma tytuł odnoszący się do frezarek. Tymczasem jego treść począwszy od podrozdziału 2.2 dotyczy ogólnie obrabiarek. Może należałoby mienić w tytule na obrabiarki i tylko jeden podrozdział (pewnie ostatni) poświęcić przeglądowi wybranych rozwiązań frezarek i centrów frezarskich.
- 6) Na rysunku 4 pokazano obróbkowe centrum frezarskie z manipulatorem wymiany palet. Niestety manipulatora na zdjęciu praktycznie nie widać, a to on jest tu treścią.
- 7) Podając literaturę dotyczącą sond przedmiotowych (strona 15), dobrze byłoby się odnieść do treści wzmiankowanych publikacji.

- 8) Podrozdział 2.4 - na jakiej podstawie Autor wybrał do bardziej szczegółowego opisu akurat te obrabiarki z całego zakresu produkcji firmy FAMOT?
- 9) Na końcu rozdziału 2 przydałoby się krótkie podsumowanie tego, co on wnosi do pracy.
- 10) Na stronie 19 Autor dwukrotnie opisuje istotę współrzędnościowej techniki pomiarowej, w zdaniach: "W pomiarach współrzędnościowych proces pomiarowy polega na pomiarze wartości współrzędnych X, Y, Z ..." i "Istotą pomiarów współrzędnościowych [10,42,46] jest wyznaczenie ...". W każdym z tych zdań przywołano inne pozycje literaturowe. Jaki jest tego cel?
- 11) Podrozdział 3.2 - mógłby być w swojej treści nieco szczuplejszy, ale rozumiem, że tolerancje z punktu widzenia celu pracy są dla doktoranta i obrabiarek szczególnie istotne. Ma to też związek z wynikami pomiarów sondą na frezarce, gdzie widać, że właśnie wymagania odchyłek związanych z kształtem i położeniem są najtrudniejsze do spełnienia. Jest to przy okazji ciekawy przegląd odchyłek, systematyzujący te zagadnienia.
- 12) Podrozdział 3.4 - w pracy skupiono się wyłącznie na głowicach stykowych. Czy Autor rozważał zastosowanie w weryfikacji i reweryfikacji głowice bezstykowe?
- 13) W podrozdziale 3.4.1. Autor najpierw pisze, że nie jest celowe szczegółowe opisywanie budowy współrzędnościowych maszyn pomiarowych, dalej jednak taki opis się pojawia. Czy wykorzystanie innych typów konstrukcyjnych niż ten zastosowany w rozprawie ma uzasadnienie koncepcyjne z punktu widzenia obrabiarek?
- 14) Strona 44 - maszyny przedstawione na rysunkach 60 i 61 określa się jako wspornikowe, maszyny kolumnowe to stara nazwa maszyn wysięgnikowych.
- 15) Strona 45 - podrozdział 3.4.2 - z uwagi na wykorzystanie obu typów głowic można było je omówić nieco szerzej.
- 16) Strona 49 - rysunek 66 - nie ma omówienia tego co znajduje się na rysunku.
- 17) Cel pracy - zdecydowanie lepszy byłby cel o charakterze badawczym, niż sformułowany jako działanie praktyczne, przeprowadzenie pomiaru wzorcowego elementu testowego za pomocą sondy przedmiotowej bezpośrednio po wykonaniu na obrabiarce. W celu określono sondę OMP 400, czy za pomocą innej sondy też można byłoby dokonać pomiaru?
- 18) Strona 66, tabela 6.1 - MPE to jest rodzina błędów maksymalnych dopuszczalnych, a nie niepewność pomiaru.
- 19) W podrozdziale 6.1.2 zabrakło mi wyraźnego określenia celu tej części badań. Domyślam się, że chcąc się uniezależnić od błędów układu sąń stosowanego zarówno do obróbki jak i pomiaru, a nie mając oddzielnej ramy obróbczej i pomiarowej, Doktorant postanowił zidentyfikować charakter występujących błędów. Dobrze byłoby wyraźnie to opisać.
- 20) Strona 62 - dlaczego jako materiał obrabiany podano żeliwo, skoro przedmiot testowy nie jest z niego wykonany
- 21) Strona 71 - wartość przemieszczenia liniowego określono jako od 0,00003 do 0,0012mm. Czy ta liczba miejsc dziesiętnych jest uzasadniona?
- 22) Strona 74 - co to jest okno odlewnicze?
- 23) Strona 79, podrozdział 6.2.1 - dlaczego zastosowano inną współrzędnościową maszynę niż poprzednio?
- 24) Strona 82 - co to jest powierzchnia przylgowa?
- 25) Strona 82, tabela 6.7 - na jakiej podstawie przyjęto liczby punktów pomiarowych?

- 26) Strona 88, podrozdział 6.4.1 - podrozdział bardziej dotyczy materiału z jakiego wykonano przedmiot niż samego przedmiotu.
- 27) Strona 98, tabela 6.14 - podany parametr to raczej nie jest dokładność wpisywania tylko rozdzielczość wpisywania.
- 28) Strona 101, podrozdział 6.6.2 - dlaczego zastosowano dwie różne sondy pomiarowe? Trochę szkoda, że obie sondy nie zostały opisane obok siebie.
- 29) Strona 108, tabela 7.2 - jak należy rozumieć w tym przypadku pojęcie wariancja? Czy ta liczba miejsc dziesiętnych ma sens? Podobna uwaga do tabeli 7.4, gdzie liczba miejsc dziesiętnych jest jeszcze większa.
- 30) Strona 128, tytuł podrozdziału 7.4 - to nie są wyniki pomiarów niepewności, niepewność się szacuje dla konkretnych zmierzonych cech.
- 31) Strona, tytuł podrozdziału 7.4.1. - wyznaczenie powtarzalności - w całym podrozdziale jest mowa o niepewności a nie o powtarzalności.
- 32) Strona 148 - niezrozumiałe zdanie przy omawianiu prostoliniowości o tym, że "... w jednym przypadku ... uzyskane wartości wyniosły powyżej zera.". Prostoliniowość nie może przyjmować wartości ujemnych.
- 33) Strona 150, tytuł podrozdziału 7.6 - powinno być o normę a nie o normy PN-EN ISO 10360 – 2, ponieważ to jest tylko jedna część, czyli jedna norma.

Oceniając stronę edytorską należy stwierdzić, że praca napisana została dość poprawnym językiem polskim, ze stosunkowo dobrą stylistyką. Zawiera bogaty materiał rysunkowy. Wśród uwag edytorskich warto zwrócić uwagę na następujące:

- 1) W pracy brak wykazu ważniejszych oznaczeń, który jest często bardzo dużym ułatwieniem dla czytającego.
- 2) W spisie treści należałoby poprawić justowanie (np. podrozdział 3.4.1, 3.8.1, 6.6.2, 6.6.3, 7.3.1).
- 3) W spisie treści brak podrozdziału 3.8.3.
- 4) W spisie treści rozdział 6.4 powinien mieć numer 6.5.
- 5) Powinno się unikać wydzielenia w podrozdziale tylko jednego podrozdziału niższego rzędu. Należy się wtedy zastanowić albo nad włączeniem go do treści zasadniczej, albo - jeśli oprócz niego zawarte są dodatkowe informacje - nad utworzeniem dwóch podrozdziałów. Dotyczy to np. podrozdziału 6.4.4.1, 7.5.1 i 7.6.1.
- 6) Dla rzeczowników policzalnych przyjmuje się termin "liczba" a nie "ilość" (np. strona 7)
- 7) Niektóre rysunki powinny być trochę większe, a przez to bardziej czytelne. Dotyczy to na przykład rysunków 2, 3, 64, 74, 76, 94, 102, 106, 107, 108, 109, 110, 114.
- 8) W tekście brak powołania na niektóre rysunki, na przykład 11, 12, 13, 31, 66, 73, 78, 81, 84, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 93, 96, 97, 98, 100, 102, 113, 117.
- 9) Strona 21 - wymienione po słowie "bicia" pozycje literaturowe odnoszą się do wszystkich odchyłek, powinny być wymienione przed dwukropkiem, po słowach "tolerancje geometryczne (tabela 3.2)".
- 10) Strona 42 - błędny numer rysunku (rys. 60).
- 11) W pracy występują tzw. teksty wiszące, czyli teksty znajdujące się np. pomiędzy tytułem rozdziału głównego a tytułem podrozdziału. Zasady edytorskie stanowią, że przy numeracji cyfrowej wielorzędowej np. po tytule podrozdziału 3.8 (strona 55) powinien od razu następować tytuł podrozdziału 3.8.1 (podobnie jest w innych miejscach pracy). Między nimi nie powinno być żadnych tekstów (zwanymi wiszącymi). Teksty te to z reguły ogólne wprowadzenia do rozdziałów, omówienia czy streszczenia. Jeżeli tekst

wiszący jest cennym i niezbędnym wprowadzeniem do tematu – powinien mieć numer i tytuł.

- 12) Rysunek 88 - teksty na rysunku powinny być w języku polskim.
- 13) Strona 97, przy opisie obrabiarki serii CMX U, w nawiasie powinien być rys. 112 a nie 111.
- 14) Na rysunkach 125 - 144 wykresy powinny składać się z kropek, a nie linii. ponieważ każdy punkt to jest konkretna obrabiarka i nie ma stanów pośrednich. Zostało to zrobione poprawnie np. na rysunkach 145 - 154.

Uwagi stylistyczne i literowe:

- Strona 8. Jest *na Świecie* powinno być *na świecie*
- Strona 8. Jest *pozwoli na produkowanie* powinno być *pozwoli ono na produkowanie*
- Strona 8. Jest *obrabiarki. Współrzędnościowej* powinno być *obrabiarki, współrzędnościowej*
- Strona 8. Jest *niepewność pomiaru* powinno być *niepewności pomiaru*
- Strona 11. Jest *zaciski⁴ magnetyczne* powinno być *zaciski magnetyczne*
- Strona 12. Jest *urządzenie służące* powinno być *urządzenia służące*
- Strona 12. Jest *przenoszenia narzędzi* powinno być *przenoszenia narzędzi*
- Strona 14. Jest *zwiększenie wydajności* powinno być *zwiększeniu wydajności*
- Strona 14. Jest *minimalna liczbę* powinno być *minimalną liczbę*
- Strona 40. Jest *wyznaczony względem* powinno być *wyznaczony względem*
- Strona 44. Jest *przeznaczenie maszyny* powinno być *przeznaczeniem maszyny*
- Strona 51. Jest *możliwych wzorca* powinno być *możliwych położenia wzorca*
- Strona 62. Jest *z jakiego materiały* powinno być *z jakiego materiału*
- Strona 62. Jest *przyjmie się że* powinno być *przyjmie się, że*
- Strona 65. Jest *Na, rysunku 79* powinno być *Na rysunku 79*
- Strona 66. Jest *przygotowano w środowisko* powinno być *przygotowano w środowisku*
- Strona 78. Jest *stosowane mocowania* powinno być *stosowane mocowanie*
- Strona 148. Jest *uzyskane wartość* powinno być *uzyskane wartości*
- Strona 149. Jest *odrzucają błędy* powinno być *odrzucając błędy*
- Strona 150. Jest *innego oprogramowania* powinno być *innego oprogramowania.*
- Strona 165. Jest *na udowadnianie* powinno być *na udowodnienie*

Przedstawione powyżej uwagi w żadnym stopniu nie umniejszają wartości opiniowanej pracy, a część z nich ma charakter zagadnień i tematów do dyskusji.

4. Wnioski

W rozprawie Autor poruszył bardzo szeroki temat, jakim jest koncepcja realizacji pomiarów współrzędnościowych na obrabiarce. Temat ten z pewnością jest tematem przyszłościowym, w tym kierunku rozwijać będą się centra obróbcze wpisane w strategię

Przemysł 4.0. Tematyka pracy została zatem wybrana w sposób trafny, a zakres przedstawionego manuskryptu spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Formalny układ pracy jest prawidłowy. Dysertacja odnosi się do aktualnej wiedzy, a w wielu elementach wnosi treści nowe. Praca zawiera część teoretyczną i badawczą, wraz z opracowaną koncepcją wdrożenia w warunkach przemysłowych. Postawiona w pracy teza została udowodniona. Powyższe fakty świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne.

5. Podsumowanie

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Romana Michalskiego pt. *Weryfikacja i reweryfikacja parametrów dokładnościowych frezarki w oparciu o procedury stosowane we współrzędnościowych systemach pomiarowych*, spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i może być dopuszczona do publicznej obrony.

prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik

