

Szczecin 18.04.2024

Prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin

**Recenzja pracy doktorskiej pt. ” Opracowanie metodyki szybkiej oceny
dokładności ustawienia 5-osiowych, wielozadaniowych centrów
obróbkowych, kompensacji zdiagnozowanych błędów i potwierdzenie
zdadności obrabiarki do realizacji operacji technologicznych ” autorstwa
mgr inż. Grzegorza Szyszki.**

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej Prof. dr hab. inż. Andrzeja Burghardta z dnia 30.11.2023.

1. Przedstawienie treści pracy

Obróbka skrawaniem jest jedną z częściej wykorzystywanych technologii wytwarzania metalowych części maszyn. Obecnie stawia się coraz wyższe wymagania w zakresie podwyższenia produktywności i dokładności elementów wytwarzanych tą technologią. Zaawansowaną obróbkę realizuje się obecnie na specjalizowanych, wieloosiowych centrach obróbkowych ze sterowaniem CNC. Maszyny tego typu osiągają dokładności na poziomie kilku mikrometrów i są wyposażane w coraz bardziej zaawansowane systemy diagnostyki ich stanu technicznego i kontroli procesów produkcyjnych, współpracujące z zewnętrznymi systemami informatycznymi do zarządzania i kontroli produkcji. Zgodnie z paradygmatami czwartej rewolucji przemysłowej, dąży się do tego aby maszyny wyposażać w nowe systemy sensoryczne i odpowiednie warstwy informatyczne umożliwiające automatyczną diagnostykę maszyny i automatyczną kontrolę realizowanych przez nią procesów technologicznych. Szczególnie istotne jest to w odniesieniu do branży przemysłu lotniczego, gdzie wytwarzane elementy są skomplikowane konstrukcyjnie, reżimy technologiczne ich

wytwarzania są bardzo wysokie, a produkcja ma charakter małoseryjny. W takim przypadku często stosuje się na liniach produkcyjnych uniwersalne 5-osiowe centra obróbkowe o dużej elastyczności technologicznej, wsparte zaawansowanymi procedurami kontroli jakości.

Pan mgr inż. Grzegorz Szyszka podejmuje się realizacji badań nad problematyką opracowania metodyki szybkiej oceny stanu technicznego obrabiarki oraz jej systemów pomiarowych w celu automatyzacji procedur zapewniania jakości produkcji. Działania te mają zmierzać do szybkiego podejmowania decyzji co do zdolności centrum obróbkowego do realizacji obróbki oraz wprowadzenia aktywnej kompensacji wybranych błędów geometrycznych obrabiarki, które są dynamicznie zmienne w trakcie procesu produkcyjnego. Metodyka ta winna sprawnie funkcjonować w warunkach produkcyjnych a jej głównym celem jest redukcja ryzyka powstania niezgodnych, z wymaganiami kształtowo-wymiarowymi komponentów silników lotniczych z rodziny PW800 i PW1000, produkowanych w rzeszowskim oddziale koncernu Pratt&Whitney. W recenzowanej pracy Autor zaproponował autorską, metodykę kompensacji wybranych parametrów obrabiarki, kalibracji przedmiotowych sond pomiarowych oraz pomiaru zdefiniowanych cech na dedykowanych artefaktach, w celu pozyskania danych do kompensacji i kontroli procesów produkcyjnych.

Opiniowana praca doktorska liczy 196 strony i składa się z sześciu rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, spisu symboli i skrótów oraz czterech załączników prezentujących dodatkowe dane związane z realizowanymi badaniami. Na końcu zamieszczono spis tabel, rysunków oraz literatury zawierający zestaw 98 cytowanych pozycji literaturowych. Dobór źródeł literaturowych jest prawidłowy i nie budzi zastrzeżeń. Autor przeanalizował dostępne źródła i wyciągnął poprawne wnioski podsumowujące stan wiedzy. Poszczególne rozdziały rozprawy doktorskiej obejmują: wstęp, przegląd stanu wiedzy, uzasadnienie celowości badań oraz trzy rozdziały merytoryczne zakończone wnioskami końcowymi i omówieniem perspektyw dalszych badań.

W pierwszym rozdziale rozprawy Autor prezentuje zarys historyczny rozwoju oraz możliwości zastosowania wieloosiowych obrabiarek uniwersalnych. Opisano problematykę eksploatacji 5-osiowych centrów frezarskich w przemyśle lotniczym ze szczególnym uwypukleniem obróbki złożonych komponentów do silników lotniczych.

W rozdziale drugim Autor zaprezentował problematykę powstawania błędów w obróbce jako pochodnych zmian struktury geometryczno-ruchowej obrabiarki pod

wpływem zmiennych czynników zewnętrznych, takich jak temperatura, obciążenie itp. Autor dokonał analizy stanu zagadnienia w obszarze metod diagnostyki, identyfikacji i kompensacji błędów obrabiarek oraz przedmiotowych sond pomiarowych.

W rozdziale trzecim Autor przedstawia cele oraz zakres pracy badawczej, nie formułując hipotezy. Przyjęty cel i zakres pracy nie budzą zastrzeżeń i są adekwatne do rozwiązywanych problemów naukowych z silnym aspektem wdrożeniowym, z uwagi na wdrożeniowy charakter pracy doktorskiej.

W rozdziale czwartym Autor przedstawił metodykę badań zastosowaną do realizacji testów do diagnostyki i kompensacji błędów obrabiarki oraz jej systemów pomiaru przedmiotu obrabianego w warunkach produkcyjnych. Autor przedstawił stanowisko badawcze oraz omówiono warunki w jakich przeprowadzono badania i testy eksperymentalne.

W rozdziale piątym Autor zaprezentował przeprowadzone w ramach doktoratu badania eksperymentalne. Zaprezentowano skuteczność opracowanych metod kompensacji wybranych parametrów dwóch centrów obróbkowych oraz przeprowadzono analizę wyników badań eksperymentalnych.

W ostatnim, szóstym rozdziale Autor zaprezentował podsumowanie zrealizowanych badań oraz przedstawił kluczowe wnioski poznawcze oraz użyteczne, wynikające ze zrealizowanych badań. Autor przedstawił również propozycje realizacji dalszych badań w zakresie kompensacji i korekcji błędów maszyn i systemów pomiarowych.

Podsumowując należy stwierdzić, że na podstawie zaprezentowanej analizy wyników badań eksperymentalnych Autor rozwiązał postawiony problem naukowy i udowodnił skuteczność działania opracowanej metodyki w warunkach rzeczywistego procesu produkcyjnego.

2. Oryginalne osiągnięcia pracy

Dużym atutem pracy doktorskiej Pana Grzegorza Szyszki jest wdrożeniowy charakter proponowanych rozwiązań. Autor posiada niezwykle dużą biegłość w prowadzenia badań eksperymentalnych w warunkach produkcyjnych w zakresie kontroli i korygowania dokładności wieloosiowych obrabiarek CNC. Autor posiada również rozległą wiedzę z zakresu metrologii warsztatowej. Recenzowana praca doktorska ma silny aspekt eksperymentalny. Autor przeprowadził bardzo dużą ilość pomiarów dokładności maszyn i

ich komponentów oraz testów korekcji wybranych parametrów obrabiarki. Ponadto Autor ma duże doświadczenie w technologii obróbki skrawaniem i programowaniu maszyn numerycznych do obróbki złożonych elementów korpusowych części silników lotniczych. Wyniki pracy badawczej Pana Grzegorza Szyszki dostarczają narzędzi wspomagających procesy automatycznej, szybkiej kontroli 5-osiowego centrum obróbkowego oraz przedmiotowych sond pomiarowych maszyny w zakresie zdatności do obróbki części silnika lotniczego w przewidzianych tolerancjach oraz narzędzi do wprowadzenia korekty geometrii obrabiarki. Należy również zaznaczyć, że Autor w celu walidacji działania proponowanych metod pomiaru i kompensacji obrabiarki w trakcie realizacji procesu obróbki, przeprowadził szereg badań eksperymentalnych w warunkach produkcyjnych, wykazując przy tym wysokie umiejętności planowania tych badań. Zrealizowane eksperymenty doświadczał potwierdził poprawność działania opracowanych procedur kontroli i kompensacji obrabiarki. Zaplanowane zadania Autor zrealizował konsekwentnie, a uzyskane rezultaty poddał stosownej analizie.

Do największych oryginalnych osiągnięć tej pracy zaliczyć można:

1. Opracowana efektywnej metodyka szybkiej kompensacji zmiennego błędu położenia osi stołu obrotowego 5-osiowego centrum obróbkowego Mazak Integrex e-1600V. Metodyka została opracowana dla potrzeb obróbki korpusów cienkościennych do silników lotniczych PW800 i PW1000 produkowanych w firmie Pratt&Whitney Rzeszów.
2. Opracowanie szybkiej, warsztatowej metodyki kontroli przedmiotowych sond pomiarowych oraz zdolności 5-osiowego centrum obróbkowego Mazak Integrex e-1600V do realizacji zadań obróbkowych korpusów.
3. Badania eksperymentalne kontroli różnych czynników zewnętrznych, mających wpływ na zdolność obrabiarki Mazak Integrex e-1600V do realizacji procesu obróbki korpusów. Analiza korelacji pomiędzy rejestrowanymi zmiennymi a danymi z procesu korekcyjnego maszyn oraz kontroli jej zdolności produkcyjnej. Wyniki analizy korelacyjnej ujawniające różne ścieżki wpływu otoczenia zewnętrznego na zdolność produkcyjną obrabiarki, obrazujące znaczenie tego typu analiz w kontroli procesów produkcyjnych.

Wysoko oceniam oryginalność, innowacyjność i poziom naukowy wymienionych osiągnięć.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Do uwag dyskusyjnych i krytycznych zaliczyłbym:

1. Na str.17 Autor użył niefortunnego sformułowania, że jako jedną z zalet wieloosiowych centrów obróbkowych jest możliwość redukcji kosztów jednostkowych wytwarzania nawet do 100%, a to oznacza, że możemy produkować za darmo. Raczej to nie jest prawda.
2. Na str. 39 Autor przy omawianiu zakresu pracy używa pojęcia „dedykowanych artefaktów”, w tym miejscu pracy trudno jest wykonypować, co Autor ma na myśli. W dalszej części pracy wyjaśnia się czym są owe dedykowane artefakty, ale użycie jakiegoś pojęcia wymaga od razu jego wyjaśnienia. W przeciwnym przypadku czytanie i zrozumienie pracy jest utrudnione. Dalej na str. 49 Autor ponownie rozbudowuje narrację i mówi o artefaktach zgrupowanych na przyrządzie kalibracyjnym – temat staje się jeszcze bardziej niezrozumiały dla czytającego pracę, a nawet zamieszczone rysunki nie do końca ułatwiają zrozumienie. Na str. 50 dołożony jest jeszcze do zestawu niewyjaśnionych urządzeń ”uniwersalny przyrząd kontrolny” oraz na str. 52/rys 4.10 „oprzyrządowanie specjalne z artefaktami”. Oczywiście czytając dalsze rozdziały pracy czytelnik zaczyna rozumieć co Autor miał na myśli. Polecam jednak na przyszłość definiowanie na bieżąco używanych pojęć, co zdecydowanie ułatwia rozumienie treści.
3. W podobnym tonie jest uwaga dotycząca rys. 4.10/ str. 52. Opis tego rysunku znajduje się na str.50. Opis ten nie do końca koresponduje ze schematem, trzeba się domyślać, które z opisanych podpunktów powiązane są z blokami prezentowanymi na rysunku. Pojawia się system analizy termiki, opisany w zupełnie innym miejscu. Pojawia się system akwizycji danych zupełnie nie opisany. Opisy te w dalszej części pracy w rozdziałach szczegółowych są zamieszczane. Jednak taki układ pracy zdecydowanie utrudnia rozumienie treści?
4. Na str.125 prezentowana jest tabela 5.22 z wynikami prowadzonych w pracy analiz. Autor w tabeli używa indeksu zmiennych. Opis tych zmiennych był prezentowany dużo wcześniej. Zmiennych tych jest duża ilość, trudno jest zatem czytającemu zorientować się w tych wynikach. Proponuję posłużenie się nazwami lub przypomnienie pod tabelą co poszczególne zmienne oznaczają. Ta sytuacja powtarza się na następnych stronach w kolejnych tabelach.

5. Na str. 126/rys. 5.36 Autor prezentuje wyniki długofalowej analizy temperatury, których opis jest na str. 124. Zwracam uwagę, że temperatura bloków maszyny nie jest tylko pochodną temperatury zewnętrznej otoczenia, ale również intensywności aktualnej pracy maszyny. Ten aspekt winien być również analizowany podczas poszukiwania korelacji temperatury otoczenia z innymi zmiennymi kontrolującymi dokładność obrabiarki.
6. Autor w pracy przedstawił bardzo rozległe wyniki badań eksperymentalnych, które niosą szereg interesujących informacji o wzajemnej korelacji różnych czynników na wynikową przydatność obrabiarki do procesu produkcji i metodyce kontroli tego stanu. Brakuje mi w pracy pełnej analizy poziomu niepewności pomiarowych z uwzględnieniem różnych źródeł zakłóceń. Taka analiza ukierunkowałaby wnioski na jakie aspekty szczególnie zwracać uwagę i kiedy poruszamy się w obszarze rzeczywistego wpływu na dokładność obrabiarki, a kiedy wpływ ten jest jedynie o charakterze losowym. Tym bardziej, że w pracy kilka wyników obarczone było bardzo dużym rozrzutem a przyczyny tego stanu rzeczy nie zostały dogłębnie wyjaśnione.

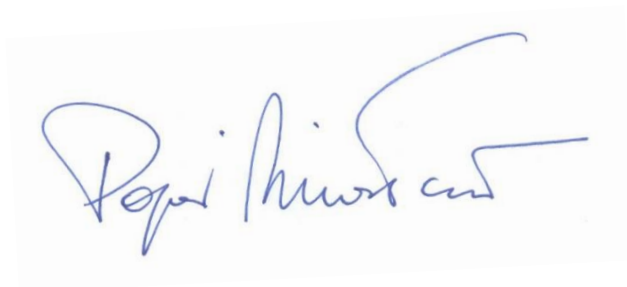
Tekst pracy został napisany bardzo starannie (jedynie mam wcześniej wyrażone uwagi co do układu pracy), część edytorska pracy jest na najwyższym poziomie i zasługuje na wysoką ocenę. W trakcie czytania pracy zauważyłem tylko nieliczne błędy redakcyjne:

1. Na str. 47, podpis pod rys.4.6 jest „ustawieni”, winno być „ustawianie”.
2. Na str. 161, pierwszy akapit, jest „połączoną”, winno być „połączonej”.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę powyższą ocenę treści rozprawy stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę o stopniach i tytułach naukowych z dnia 14 marca 2003 r. (z późniejszymi zmianami) oraz Rozporządzeniu Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15 stycznia 2004 r. (z późniejszymi zmianami). Zrealizowana przez mgr. inż. Grzegorza Szyszkę praca charakteryzuje się

wysokim poziomem innowacyjności oraz ma bardzo silny aspekt wdrożeniowy, co przy doktoracie wdrożeniowym ma fundamentalne znaczenie. Praca ta stanowi oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu badawczego, wnosi nową wiedzę w dziedzinie nauk inżyneryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz wskazuje na duży poziom wiedzy teoretycznej i praktycznej jej Autora. **Reasumując stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska może być dopuszczona do publicznej obrony.**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Pepi Krawiec', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke extending to the right.