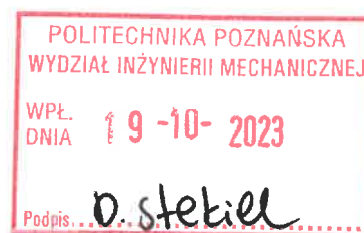


Szczecin 10.10.2023

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. "Metodyka automatyzacji programowania obróbki specjalnego oprzyrządowania produkcyjnego dla obrabiarek CNC w zintegrowanym środowisku CAD/CAM" autorstwa mgr inż. Macieja Kowalskiego.

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Pana Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr hab. inż. Olafa Ciszaka prof. PP z dnia 03.07.2023.

1. Przedstawienie treści pracy

Przemysł wytwórczy podlega szybkim przemianom, które analitycy gospodarki nazywają czwartą rewolucją przemysłową „Przemysł 4.0”. Głównym wyznacznikiem tej rewolucji jest cyfryzacja procesów produkcyjnych. W obszarze projektowania maszyn i procesów technologicznych bardzo intensywnie rozwija się problematyka cyfrowego modelowania maszyn ich procesów roboczych oraz całych systemów produkcyjnych. Rozwój techniki komputerowej oraz postęp w zakresie oprogramowania CAD/CAM daje nowe możliwości automatyzacji programowania linii produkcyjnych. Na to nakłada się jeden z paradygmatów czwartej rewolucji przemysłowej, stawiający wymóg indywidualizacji produkcji seryjnej. Jest to tzw. proces kastomizacji wytwarzanych wyrobów, który generuje nowe wyzwania przed technologami projektującymi procesy produkcyjne. Cyfryzacja produkcji zmierza do budowy kompleksowych modeli obiektów mechanicznych oraz procesów wytwarzania, nie tylko dla potrzeb symulacji numerycznych, ale również dla potrzeb obiektowego zapisu ich złożonej struktury i funkcjonalności. Działania te podejmowane są już na etapie projektowania wyrobu i technologii, a cyfrowe modele stosowane w obliczeniach i symulacjach nazywane są „Cyfrowymi bliźniakami” (Digital Twins). Rozwijane są modele opisu cech

geometrycznych części maszyn dla potrzeb wizualizacji 3D w systemach CAD, które są rozbudowywane o dodatkowe informacje przenoszące dane materiałowe niezbędne do projektowania technologii wytwarzania w systemach CAM i automatycznego programowania maszyn CNC. Silnie rozwijają się obiektowe systemy typu UML do opisu rzeczywistych procesów i złożonych fizycznych obiektów. Systemy CAM wyposażane są w coraz bardziej zaawansowane funkcje wspomagające automatyzację procesu projektowania technologii i programowania maszyn wytwórczych. Recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się w tę bardzo interesującą tematykę, niezmiernie ważną dla rozwoju technik projektowania procesów technologicznych. Pan mgr inż. Maciej Kowalski podejmuje się realizacji badań nad problematyką automatyzacji procesów programowania maszyn CNC z poziomu systemów CAD/CAM. W recenzowanej pracy Autor zaproponował autorską, metodykę automatyzacji procesu programowania, pozwalającą w sposób proceduralny uporządkować przetwarzanie wiedzy technologicznej w formę szablonów obróbkowych. Autor zaimplementował opracowaną metodę w środowisku CATIA oraz przeprowadził jej walidację na trzech przykładach procesów wytwarzania specjalnego oprzyrządowania produkcyjnego.

Opiniowana praca doktorska liczy 129 strony i składa się z dziewięciu rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz spisu: symboli i oznaczeń, rysunków i tabel. Na końcu zamieszczono spis literatury zawierający zestaw 126 cytowanych pozycji literaturowych. Dobór źródeł literaturowych jest prawidłowy i nie budzi zastrzeżeń. Autor dogłębnie przeanalizował dostępne źródła i wyciągnął poprawne wnioski podsumowujące stan wiedzy. Poszczególne rozdziały rozprawy doktorskiej obejmują: wprowadzenie, analizę literatury i stanu wiedzy, cel i hipotezę badawczą oraz sześć rozdziałów merytorycznych zakończonych wnioskami końcowymi i omówieniem perspektyw dalszych badań.

W pierwszych dwóch rozdziałach Autor prezentuje problemy zastosowania specjalnego oprzyrządowania produkcyjnego w procesach wytwarzania eksponując zagadnienia obróbki skrawaniem ich elementów i programowania obrabiarek.

W rozdziale trzecim Autor przedstawia stosowane metod automatyzacji procesu programowania obrabiarek CNC w systemach CAx. Wskazywane są braki metodyczne w tym obszarze, które utrudniają metodyczne gromadzenie wiedzy technologicznej.

Rozdział czwarty poświęcony jest technice inżynierii wiedzy, która jest podstawą budowy inteligentnych systemów komputerowych, wspomagających procesy

automatyzacji zadań inżynierskich. Autor koncentruje się na obszarze projektowania technologii i wybiera narzędzia i techniki, które będzie rozwijał w swojej dysertacji.

W piątym rozdziale rozprawy, Autor definiuje problem a następnie, po wnikliwej analizie stanu zagadnienia, wykazuje potrzebę podjęcia badań nad problematyką automatyzacji procesów programowania obrabiarek. Zdefiniowany zostaje cel pracy oraz postawiona zostaje hipoteza w brzmieniu: „Automatyzacja programowania obrabiarek umożliwia: skrócenie czasu przygotowania programów obróbkowych, poprawę jakości programów obróbkowych, obniżenie kosztów wykonania oprzyrządowania. Ponadto Autor przedstawia szczegółowy plan pracy. Przyjęty cel i zakres pracy oraz postawiona hipoteza nie budzą zastrzeżeń i są adekwatne do rozwiązywanych problemów naukowych.

W rozdziale szóstym Autor prezentuje opracowaną autorską metodykę ACPUT, której celem jest automatyzacja procesu programowania obrabiarek CNC w systemach CAx z zastosowaniem szablonów obróbki, minimalizujących udział inżyniera w procesie programowania maszyny CNC.

W rozdziale siódmym Autor prezentuje budowę aplikacji bazodanowej, będącej bazą wiedzy potrzebną do walidacji opracowanej metodyki, a w następnym rozdziale ósmym prezentowane są trzy przykłady zastosowania metodyki ACPUT do programowania elementów trzech różnych systemów oprzyrządowania produkcyjnego. Rozprawę zakończono rozdziałem dziewiątym podsumowującym, w którym Autor wyciągnął wnioski z przeprowadzonych badań i ocenił poziom weryfikacji postawionej w pracy hipotez.

Podsumowując należy stwierdzić, że na podstawie zaprezentowanej analizy wyników praktycznej walidacji metodyki ACPUT, Autor rozwiązał postawiony problem naukowy i udowodnił hipotezy badawcze.

2. Oryginalne osiągnięcia pracy

Bardzo dużym atutem pracy doktorskiej Pana Macieja Kowalskiego jest duży potencjał wdrożeniowy proponowanych rozwiązań. Autor posiada dużą wiedzę technologiczną oraz biegłość w posługiwaniu się nowoczesnymi narzędziami w zakresie komputerowego modelowania i symulacji w systemach CAD/CAM złożonych problemów technicznych. Recenzowana praca doktorska ma silny pierwiastek informatyczny zaadoptowany na grunt inżynierii mechanicznej. Autor ma świadomość zachodzących

przemian w obszarze inżynierii mechanicznej (rozwój technologii cyfrowych w projektowaniu technologii i programowaniu maszyn) sprawiających, że cyfryzacja produkcji odgrywać coraz ważniejszą rolę w projektowaniu i planowaniu procesów produkcyjnych. Staje się on bowiem narzędziem do kustomizacji produkcji i zwiększenia poziomu jej elastyczności. Wyniki pracy badawczej Pana Macieja Kowalskiego dostarczają narzędzi wspomagających te przemiany. Należy również zaznaczyć, że Autor w celu walidacji proponowanej metodyki ACPUT przeprowadził szereg badań na rzeczywistych zadaniach technologicznych, wykazując przy tym wysokie umiejętności planowania badań doświadczalnych. Zrealizowane badania walidacyjne potwierdziły poprawność działania opracowanej metodyki automatycznego programowania. Zaplanowane zadania Autor zrealizował konsekwentnie, a uzyskane rezultaty poddał stosownej analizie.

Do największych oryginalnych osiągnięć tej pracy zaliczyć można:

1. Opracowanie metodyki ACPUT (Automatic CAM Programing Using Machining Templates) do zautomatyzowanego programowania obrabiarek CNC w procesach wytwarzania specjalnego oprzyrządowania technologicznego. Metodyka umożliwia gromadzenie specjalizowanej wiedzy technologicznej i jej implementację w postaci szablonów obróbki.
2. Badania walidacyjne opracowanej metodyki ACPUT na trzech wytypowanych przykładach procesów projektowania technologii wytwarzania oprzyrządowania technologicznego, zaczerpniętych z praktyki przemysłowej.
3. Wielopoziomowa analiza i ocena wyników badań walidacyjnych metodyki ACPUT z uwzględnieniem czasu, kwalifikacji kadry oraz kosztów. Wyniki analizy dają szeroki obraz potencjału wdrożeniowego opracowanej metodyki.

Wysoko oceniam oryginalność i potencjał wdrożeniowy opracowanej metody oraz uzyskane wyniki badań walidacyjnych, które są niemal instrukcją dla technologów jak wdrażać automatyzację procesów programowania maszyn CNC.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Po lekturze dysertacji mam kilka uwag natury dyskusyjnej:

1. W pracy do budowy bazy danych zastosowano system MS Access. Jest to bardziej baza danych personalna, a nie profesjonalny system bazodanowy z rozbudowanymi procedurami wielodostępu sieciowego. Dlaczego zdecydowano się na takie rozwiązania?

2. Analizując zaproponowane przez Autora przykłady części, dla elementów oprzyrządowania produkcyjnego, nasuwa się pytanie czy nie można było te trzy przykłady zapisać w jednym meta-elemente? Dzisiejszy poziom oprogramowania CAD/CAM teoretycznie daje możliwość zaprojektowania takiej wirtualnej części, która zawiera w sobie np. wszystkie (czy większość) operacje technologiczne jakie można wykonać na parku maszynowym danego przedsiębiorstwa. Co stoi na przeszkodzie aby podjąć próby budowy meta-elementów zawierających dużą ilość zabiegów technologicznych stanowiących szablony obróbki?
3. Tematyka pracy doktorskiej pokrywa się z trendami zmierzającymi do cyfryzacji procesów produkcyjnych. Zagadnienie cyfryzacji produkcji jest na tyle istotne, że pojawiła się już norma ISO 23247 definiująca pojęcie „cyfrowego bliźniaka”. Szkoda, że Autor rozprawy nie odniósł się do tego i nie wskazał w jakim zakresie wyniki pracy doktorskiej spełniają założenia tzw. „cyfrowego bliźniaka”.
4. Zaproponowane przez Autora algorytmy działania w ramach metodyki ACPUT bazują głównie na czysto deterministycznym podejściu z zastosowaniem elementów statystyki. Obecnie jednak bardzo silnie rozwijane są algorytmy bazujące na sztucznej inteligencji i sieciach neuronowych głęboko uczonych. Czy zdaniem Autora zastosowanie tej technologii nie dałoby możliwości bardziej elastycznego gromadzenia danych technologicznych, a zastosowanie odpowiedniej konstrukcji sieci neuronalnej nie będzie rozwiązaniem bardziej efektywnym w obszarze generowania programów obróbkowych? Znane są bowiem dzisiejsze możliwości tej technologii w zakresie automatycznego generowania kodów źródłowych w językach wyższego poziomu, kodów PLC itp.

Tekst pracy został napisany bardzo starannie, część edytorska pracy jest na wysokim poziomie i zasługuje na bardzo dobrą ocenę. W trakcie czytania pracy wykryłem pewne drobne błędy redakcyjne:

- Str. 4, trzeci wiersz, błąd w numeracji strony w spisie literatury.
- Str. 12, 10 wiersz, źle sformułowane zdanie sugeruje, że to „samochód typu rura”.
- Str. 22, ostatnie zdanie, brak podmiotu w zdaniu.
- Str.60, czwarty wiersz, jest „uzupełniania”, winno być „uzupełniana”.
- Str.62, drugi wiersz, zdanie błędnie sformułowane: na podstawie jakich informacji z bazy danych jest wyznaczany czas?
- Str.68, drugi wiersz, powtórzenie „na podstawie”.

- Str.76, rys.8.6, ten rysunek niewiele mówi jeżeli nie jest wskazane o jakie metadane chodzi.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę powyższą ocenę treści rozprawy stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę o stopniach i tytule naukowym 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. Macieja Kowalskiego praca charakteryzuje się wysokim poziomem innowacyjności. Praca ta stanowi oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego oraz wskazuje na duży poziom wiedzy teoretycznej i praktycznej jej Autora. **Reasumując stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska może być dopuszczona do publicznej obrony.**

