

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Uhl  
Katedra Robotyki i Mechatroniki  
Akademia Górniczo – Hutnicza  
Al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków

Kraków 28. 02 .2021

**Opinia o pracy doktorskiej pt. “A method for automatic creation of model-based definition with use of knowledge based engineering and machine learning” autorstwa mgr inż. Dawid Machalica**

**1. Zagadnienie naukowe rozważone w rozprawie**

W pracy doktorskiej Autor podjął bardzo ważny, z punktu widzenia praktycznego, problem automatyzacji tworzenia dokumentacji w oparciu o koncepcje MBD (Model Based Definition). W szczególności Autor zajął się automatyzacją procesu wymiarowania i wstawiania adnotacji do opisywania własności tworzonych geometrii 3D, bez korzystania z rysunków 2D. MBD jest coraz częściej wykorzystywane w praktyce w procesie wytwarzania elementów mechanicznych i kontroli jakości ich wykonania. Autor zaproponował metodę automatycznego wymiarowania rysunków 3D oparta na inżynierii opartej na wiedzy (KBE), w której wykorzystuje się wybór wzorca wymiarowania z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Dużą uwagę Autor zwrócił na czytelność wygenerowanej dokumentacji, w tym zakresie opracował nowy unikalny algorytm optymalizujący orientację adnotacji, jak i ich rozmieszczenie. Dodatkowo, algorytmy te umożliwiają zachowanie standardów międzynarodowych w tworzeniu dokumentacji.

Opracowane algorytmy Autor zaimplementował w systemie NX 12 i zastosował do tworzenia dokumentacji dla trzech rzeczywistych modeli.

Praca stanowi dobrze zdefiniowane zadanie badawcze. Wszystkie aspekty badawcze pracy są związane z praktycznym wykorzystaniem wyników przeprowadzonych badań, w szczególności zaimplementowane w ramach pracy algorytmy w systemie CAD NX 12 mają dużą wartość aplikacyjną i mogą być wykorzystywane w procesie automatyzacji tworzenia MBD dla złożonych elementów konstrukcyjnych.

Tak postawione zadanie badawcze Autor skutecznie rozwiązał w ramach prezentowanej pracy doktorskiej.

## **2. Cel pracy i teza naukowa**

W rozdziale 3 zatytułowanym Thesis and Objectives na stronach 43 i 44 Autor podaje cel pracy jako „opracowanie algorytmów do automatycznego wymiarowania rysunków części konstrukcyjnych oraz automatycznego umieszczania adnotacji na dokumentacji oraz optymalizacja tych procesów”. Cel ten nie jest podany w sposób jawny w treści pracy, a czytający musi się go domyśleć z jej treści.

Powyższy cel jest dobrze zdefiniowanym zagadnieniem badawczym (sformułowanie algorytmów dla rozwiązania zagadnienia automatyzacji tworzenia dokumentacji) – wdrożeniowym (implementacja sformułowanych algorytmów w powszechnie używanym systemie wspomagania projektowania) ponieważ definiuje obszar badań oraz szczegółowo wskazuje na założenia przy których ma być opracowany planowany do realizacji system automatycznego wymiarowania i umieszczania adnotacji.

Autor sformułował w sposób jawny tezę pracy, która brzmi następująco; „Inżynierska dokumentacja rysunkowa w formie MBD, może być automatycznie wygenerowana bez konieczności, dokładnego definiowania wszystkich zasad wymaganych przez międzynarodowe standardy i wewnętrzne wymagania poszczególnych firm”.

Teza pracy jest sformułowana poprawnie. Cała treść pracy jest podporządkowana realizacji celu oraz udowodnienie postawionej tezy.

## **3. Ważność i aktualność zagadnienia naukowego rozpatrywanego w pracy**

Praca dotyczy istotnego, z punktu widzenia szeroko pojętej problematyki wspomagania procesu projektowania koncepcyjnego, problematyki sformułowania i wyboru algorytmów do realizacji poszczególnych procesów. Jak wynika z literatury oraz praktyki w tym zakresie, jest to zagadnienie istotne dla zapewnienia efektywnego realizowania projektów inżynierskich, w tym minimalizacja zaangażowania zasobów ludzkich w proces. Bardzo istotne, z punktu widzenia aktualności zagadnienia badawczego jest zweryfikowanie zaproponowanego przez Autora podejścia do praktycznej implementacji opracowanych algorytmów i ich walidacja na trzech modelach geometrycznych o różnej złożoności.

Podsumowując ten aspekt oceny rozprawy należy stwierdzić, że praca dotyczy bardzo aktualnego problemu badawczego jakim jest opracowywanie i wdrażanie do praktyki projektowania systemów wspomagania projektowania automatyzacji pracochłonnych procesów wymiarowania i umieszczania adnotacji.

#### **4. Naukowość i oryginalność pracy**

Zaproponowana przez Autora metodologia badawcza zawiera wszystkie elementy procesu badawczego. Jest w niej przegląd istniejących rozwiązań (algorytmów) zdefiniowanego zadania badawczego, analiza narzędzi, które można zastosować do rozwiązania zadania, bardzo wnikliwa dyskusja przyjętych założeń i scenariuszy dla opracowywanych algorytmów automatyzacji procesów w projektowaniu oraz bardzo ciekawa i szczegółowa analiza wyników walidacji opracowanych algorytmów. Praca przedstawia gotowe rozwiązanie problemu badawczego łącznie z praktyczną implementacją w wybranym systemie komputerowego wspomaganie projektowania (NX12).

Z punktu widzenia naukowości prace można ją ocenić jako sformułowanie nowych lub znacząca modyfikacja istniejących algorytmów automatyzacji procesu wymiarowania rysunków 3D oraz umieszczania adnotacji na dokumentacji 3D. Jednym z ważnych aspektów naukowych pracy są badania walidacyjne opracowanych algorytmów.

Pomimo, że prace nad opracowaniem systemu automatycznego wymiarowania oraz umieszczania adnotacji realizowane są od dawna to jeszcze nie jest dostępny system komercyjny spełniający wymagania międzynarodowych standardów w tym zakresie. Pokazane przez Autora w pracy wyniki są oryginalne, a opracowane algorytmy są unikalne i oparte o metody sztucznej inteligencji. Spis literatury jest wyczerpujący i zawiera aktualne pozycje ściśle powiązane z tematyką pracy.

Podsumowując merytoryczną ocenę, naukowości i aktualności tematyki rozprawy doktorskiej uważam, że;

- Zdefiniowanie procesu automatyzacji wymiarowania i umieszczania adnotacji oraz podział procesu na zadania dla których opracowano procedury i algorytmy,
  - Opracowanie kryteriów podobieństwa geometrii oraz algorytmów do klasyfikacji geometrii w oparciu o opracowane cech z zastosowaniem algorytmów sztucznej inteligencji,
  - Zdefiniowanie funkcji celu oraz metody optymalizacji umieszczania adnotacji na dokumentacji,
  - Implementacja opracowanych algorytmów i ich walidacja na wybranych modelach geometrycznych,
- stanowią oryginalne elementy zadania badawczego mogącego być podstawą do nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dziedzinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika (dawniej Automatyka i Robotyka).

#### **5. Mocne i słabe strony pracy**

Mocne strony pracy:

- Opracowanie autorskiej specyfikacji i implementacja procesu automatyzacji wymiarowania geometrii 3D oraz automatyzacji umieszczania adnotacji na dokumentacji 3D w systemach komputerowego wspomaganie procesu projektowania,
- Wykorzystanie podobieństwa geometrycznego w wyszukiwaniu wzorców do wymiarowania oraz wybór zbioru cech za pomocą których określa się podobieństwo geometryczne,
- Opracowanie funkcji celu i metody optymalizacji rozmieszczania adnotacji w oparciu uczenie maszynowe
- Uwzględnienie w opracowanej metodzie wymiarowania i umieszczania adnotacji międzynarodowych standardów oraz procedur firmy (opracowane metody są elastyczne i umożliwiają uwzględnienie różnych zdefiniowanych przez użytkownika wymagań),
- Implementacja opracowanych algorytmów w rzeczywistym systemie komputerowego wspomaganie projektowania NX 12.
- Walidacja opracowanych procedur dla trzech modeli geometrycznych o różnej złożoności.

Słabe strony pracy:

- Cel pracy nie jest podany w sposób jawny, trzeba się go domyślać studiując całą pracę.
- Autor ograniczył rozważania w pracy do B-rep modeli CAD, wybrał tę reprezentację, jako najbardziej popularną w zastosowaniach, nie podał informacji o innych reprezentacjach, ani uzasadnienia, że ta reprezentacja jest najlepsza,
- Autor podaje w pracy (str. 25), że brak jest metody uniwersalnej do realizacji AFR, podaje od czego zależy wybór metody, natomiast nie podaje przepisu, jaką metodę wybrać w którym przypadku,
- W tabeli 2.1 brak jest cech metody Machine Learning (ML) do ekstrakcji cech, dlaczego Autor nie uwzględnił w porównaniu metod metody ML, którą w dalszej części pracy wykorzystuje,
- Na stronie 31 Autor podaje, że zastosowanie podejścia Knowledge- based engineering może w wyniku prowadzić do lepszego projektu, nie podał w tekście co oznacza lepszy projekt,
- Po bardzo obszernym przeglądzie metod stosowanych w automatyzacji procesu wymiarowania i umieszczania adnotacji na rysunkach, Autor nie dokonał krytycznej analizy tych metod, a do implementacji wybrał jedną z metod, dlaczego?
- Brak w pracy komentarza do możliwości automatyzacji procesu wyznaczania tolerancji dla obróbki i kontroli jakości, Autor na początku pracy wspomina o tym procesie i ważności tej czynności w opisie modeli, ale później nie rozwija tego zagadnienia, dlaczego?
- Jakie cechy modeli posłużyły do wybrania populacji 200 modeli, jako reprezentatywnych w procesie uczenia maszynowego (str. 46),

- Na str. 51 Autor podaje, że wzorce służące do wymiarowania muszą mieć relatywnie podobną złożoność geometrii jak model wymiarowany automatycznie przez system. W związku z powyższym nasuwa się pytanie jakie kryteria decydują, że geometria modeli jest podobna?
- Opis uczenia sieci neuronowej klasyfikacji geometrii modeli jest opisane pobieżnie, w szczególności opis tworzenia zbioru uczącego, jest moim zdaniem niewystarczający, aby ocenić poprawność procesu klasyfikacji geometrii wzorców dla wymiarowania rysunków. Również opis procesu uczenia nie pokazuje stopnia trudności uczenia, na przykład brak jest informacji, ile sesji (str. 57) pokazywania wzorca potrzeba było, aby uzyskać odpowiedni stopień wytrenowania sieci,
- Uczenie bez nauczyciela, nie jest jedyną możliwą metodą do realizacji procesu „novelty detection” w zbiorach danych, dlaczego Autor wybrał tą metodę do implementacji (str 78)
- Walidacja zaproponowanego podejścia, jest wykonana na trzech różnych modelach i moim zdaniem można z tego wyciągnąć wniosek, że dla tych modeli działa poprawnie, czy Autor zastanawiał się jak udowodnić, że metoda jest efektywna dla innych modeli w przypadku ogólnym, takich których nie było w zbiorze uczącym,
- Autor udowodnił, że zaproponowane podejście szybciej realizuje wymiarowanie oraz umieszczanie adnotacji na modelach niż robi to doświadczony użytkownik systemu CAD, natomiast zupełnie nie wskazuje, ile błędów może popełnić zaproponowany system i czy jest to więcej czy mniej jak doświadczony inżynier.

## 6. Wniosek końcowy

Praca doktorska przedstawiona przez mgr inż. Dawid Machalica, jej zawartość i forma wskazują na Jego wysoką wiedzę merytoryczną w zakresie opracowywania i wdrażania nowych metod komputerowego wspomaganie procesu projektowania, w szczególności automatyzacja procesu wymiarowania i umieszczania adnotacji. Ponadto, sposób realizacji pracy wskazuje na umiejętność posługiwania się narzędziami pracy współczesnego badacza oraz umiejętność formułowania zadań badawczych i ich skutecznego rozwiązywania. Wszystkie wymienione wyżej zagadnienia rozważane w pracy można zaliczyć do dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika.

Podsumowując, uważam, że Autor w przedłożonej rozprawie poprawnie sformułował, opisał i rozwiązał oryginalne zadanie badawczego, jakim jest automatyzacja procesu komputerowego wspomaganie projektowania w wybranych jej aspektach (wymiarowanie i umieszczanie adnotacji).

Praca odpowiada warunkom stawianym, w Ustawie o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych, rozprawom doktorskim w zakresie nauk technicznych. Wobec powyższego stawiam wniosek o dopuszczenie przedłożonej, przez Dawida Machalica rozprawy do publicznej obrony.