

Warszawa, 10.03.2023 r.

Prof. dr hab. inż. Robert Zalewski
Zakład Techniki Komputerowych
Instytutu Podstaw Budowy Maszyn
Politechniki Warszawskiej
ul. Narbutta 84
02-524 Warszawa

OPINIA

o rozprawie doktorskiej mgr. inż. Marka Uliaszka pt.

„Opracowanie metodyki oceny stanu zrobotyzowanych stanowisk i ich zdolności do realizacji procesów technologicznych, przy uwzględnieniu urządzeń i czynników mających na nie wpływ”

Promotor pracy: dr hab. inż. Andrzej Burghardt, prof. PRz

Promotor pomocniczy: dr inż. Magdalena Muszyńska

Podstawa formalna wykonania opinii:

Uchwała RD IMech NR 10/11/2022 Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukaszczyka z dnia 30 listopada 2022 r.

umowa o dzieło polegająca na opracowaniu opinii rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marka Uliaszka pt. „Opracowanie metodyki oceny stanu zrobotyzowanych stanowisk i ich zdolności do realizacji procesów technologicznych, przy uwzględnieniu urządzeń i czynników mających na nie wpływ”

1. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Przedstawiona do opinii rozprawa doktorska mgr. inż. Marka Uliaszka została udokumentowana na 116 stronach. Rozprawa została podzielona na 7 rozdziałów uzupełnionych:

- podziękowaniami,
- spisem treści.

Ponadto po ostatnim, siódmym rozdziale w rozprawie zamieszczono:

- bibliografię (78 pozycji),
- spis rysunków,
- spis tabel,
- streszczenia w języku polskim i angielskim.

2. OCENA ROZPRAWY

Rozważane w opiniowanej rozprawie problemy naukowe są aktualne i mają istotne znaczenie praktyczne. Dotyczą zasadniczo analizy poprawności realizacji procesu spawania. Przeprowadzono je w oparciu o narzędzia statystyki opisowej oraz wykorzystano elementy inteligencji maszynowej w postaci sztucznych sieci neuronowych. Problemy te są w sposób prawidłowy i jednoznaczny ujęte, a sama rozprawa stanowi oryginalne ich rozwiązanie. Doktorant realizując kolejne etapy programu badań konsekwentnie zmierzał do postawionego celu. Prawidłowo zdefiniował poligon badawczy, dokonał właściwej syntezy funkcjonujących w literaturze metod rozwiązywania podobnych problemów. Realizacja tych prac świadczy o poziomie wiedzy Doktoranta, dobrej znajomości problematyki, wysokich umiejętnościach organizacyjnych, co wymaga specjalnego podkreślenia przy realizacji programu badań zmierzającego do wdrożenia proponowanych rozwiązań na stanowisku produkcyjnym, znajdującym się na wydziale W56 w firmie Pratt&Whitney Rzeszów S. A. W opiniowanej pracy doktorskiej Doktorant zaproponował wskaźnik, którego oszacowanie wartości umożliwi korelację z występowaniem wad spoin części kadłuba silnika lotniczego PW800 wytworzonych metodą TIG i tym samym wykrycie ponad 40% przypadków niezgodności.

W podejmowanej w rozprawie tematyce Doktorant wykazał się trafnością postępowania badawczego i poprawnością wnioskowania, co świadczy o wiedzy i umiejętności samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

3. ANALIZA ROZPRAWY

Praca powstała w ramach programu „Doktoraty wdrożeniowe” prowadzonego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Badania zostały przeprowadzone na rzeczywistym stanowisku produkcyjnym w firmie Pratt & Whitney Rzeszów S.A.

Rozdział pierwszy (Wprowadzenie) zasadniczo obejmuje przedstawienie rysu historycznego i motywacji autora do podjęcia rozważanej tematyki dysertacji, a także zawiera genezę rozważonego problemu.

W tym miejscu warto zauważyć, że przemysł napotyka na coraz to wyższe wymagania jakościowe stawiane produkcji zaawansowanych technologicznie komponentów silnikowych. Determinują one wdrażanie zautomatyzowanych procesów produkcyjnych. W celu kontroli jakości tych procesów wymagane jest opracowywanie oryginalnych systemów nadzorujących ich przebieg. Procesowi takiemu towarzyszy wymierny aspekt ograniczenia czasochłonności i oczywistych aspektów ekonomicznych (kosztów produkcji). Wykrycie oraz zdiagnozowane wady lub niezgodności procesu mogą zostać usunięte bezpośrednio na stanowisku pracy

eliminując konieczność przeprowadzania niepożądanych napraw, będących konsekwencją wykrycia wspomnianych defektów na etapie kontroli jakości.

We Wprowadzeniu zawarto jasno określony cel i zakres pracy. Zaprezentowano zastosowaną metodykę wdrożenia oceny stanu procesu na zrobotyzowanym stanowisku produkcyjnym. Poszczególne etapy tej metodyki zostały przedstawione w kolejnych rozdziałach na podstawie procesu zrobotyzowanego spawania metodą TIG.

Kolejny rozdział zawiera szczegółowy przegląd literatury, uwzględniający tematykę pracy. Obejmuje on kompleksowy przegląd funkcjonujących metod spawania oraz procesów kontroli jakości spoin. Skupiono się także na prezentacji badań nad systemami adaptacji trajektorii ruchu robota. Przeanalizowano, związane z przewodnią tematyką rozprawy, zagadnienia z zakresu systemów nadzoru procesów spawania. Przywoływane prace naukowe poruszają zarówno tematykę metod rejestracji danych o różnorodnych procesach spawania jak i prowadzenia późniejszych analiz z ich wykorzystaniem.

Rozdział trzeci zawiera szczegółowy opis stanowiska badawczego, będącego częścią zautomatyzowanej linii produkcyjnej w firmie Pratt & Whitney Rzeszów S.A. Przedstawiono w nim m.in. główne urządzenia i systemy wchodzące w skład stanowiska wraz ze wskazaniem ich funkcji w prowadzonym procesie zrobotyzowanego spawania elementu silnika lotniczego. W sposób szczegółowy opisano systemy wersyfikacji i kompensacji ścieżki spawania, kalibracji układów narzędzi, korekcji odległości elektrody od materiału oraz automatycznej dystrybucji gazu ochronnego. Szczegółowa analiza urządzeń stanowiska pozwoliła na identyfikację parametrów procesu, które mają wpływ na jego poprawną realizację.

W rozdziale czwartym przedstawiono charakterystykę badanego procesu spawania metodą TIG oraz dokonano analizy jego parametrów. Zidentyfikowano grupy parametrów kalibracyjnych i kompensacyjnych, parametrów spawania oraz parametrów ruchu. Dla każdego z 19 parametrów opisano źródło jego pozyskania oraz przedstawiono jego charakterystykę i przykładowe przebiegi w formie czytelnych wykresów. Zaprezentowano opracowany system akwizycji wspomnianych danych w zaprojektowanej strukturze w celu prowadzenia późniejszych analiz. Dokonano także klasyfikacji spoin, czyli identyfikacji stanów wyjściowych bazując na przykładowych wadach pojawiających się w tego typu połączeniach nierozłącznych. Przedstawiono również rozkład ich występowania na podstawie rzeczywistych danych produkcyjnych.

W rozdziale piątym zaprezentowano ocenę poprawności przedstawionego zrobotyzowanego procesu spawania metodą TIG za pomocą oceny statystycznej oraz sztucznych sieci neuronowych. Celem budowanego systemu była ocena poprawności wykonania spoin na podstawie analizy zidentyfikowanych parametrów. W ocenie statystycznej wykorzystano funkcje takie jak wartość średnia, wariancja, odchylenie standardowe, skośność oraz kurtoza. Przedstawiono ich opis, zależności wykorzystane do obliczenia ich wartości oraz przykładowe wyniki dla przebiegów napięcia i prędkości spawania. Wartości funkcji statystycznych, obliczone dla

przebiegów poszczególnych parametrów zidentyfikowanych w rozdziale czwartym, przedstawiono graficznie na odpowiednich wykresach w zestawieniu z zebranymi danymi jakościowymi określającymi wynik procesu spawania czyli klasyfikację poprawności ich wykonania. Dla charakterystyk skośności obliczonych dla przebiegów napięcia spawania wyznaczono wartość graniczną skorelowaną z występowaniem dwóch typów wad, stanowiących ok. 45% ogólnej liczby defektów występujących w przedstawionej grupie części produkcyjnych.

W drugiej części rozdziału piątego przedstawiono zastosowanie sieci neuronowych do oceny poprawności realizacji procesu spawania. Do implementacji wykorzystano środowisko programu Matlab. W kolejnych krokach zaprezentowano przygotowanie danych uczących sieci, proces uczenia oraz porównanie wyników dla różnych parametrów sieci neuronowej. Spośród uzyskanych rozwiązań szczegółowo opisano dwa, w przypadku których otrzymano najwyższe wartości parametrów efektywności klasyfikacji. Dla przedstawionych zbiorów danych produkcyjnych uzyskano 100% wykrywalności wad w spoinach uzyskując jedynie kilkuprocentowy poziom wskazań fałszywych dla spoin ocenionych jako poprawne, co spełnia wstępne założenia prowadzonych prac.

W rozdziale szóstym przedstawiono prace związane z wdrożeniem uzyskanych rozwiązań oceny stanu procesu spawania na rzeczywistym stanowisku produkcyjnym. W pierwszym przypadku wykorzystano opracowaną korelację funkcji statystycznej, skośności, z występowaniem części wad spoin. Algorytm obliczający wskaźnik bezpośrednio po procesie spawania zaimplementowano na sterowniku stanowiska produkcyjnego. Wynik jest porównywany do wartości granicznej, a w przypadku jej przekroczenia proces dalszego spawania jest przerywany i następuje przekazanie informacji do operatora stanowiska. W przypadku rozwiązania wykorzystującego sieci neuronowe nakreślono jedynie sposób implementacji z wykorzystaniem dedykowanego sterownika PLC z wbudowanymi algorytmami sztucznej inteligencji.

Ostatni rozdział zawiera podsumowanie rozprawy wraz ze wskazaniem perspektywicznych kierunków dalszych prac badawczych oraz wdrożeniowych.

Spis literatury uwzględnia szereg prac z zakresu omawianej tematyki badawczej, w tym wiele prac o podstawowym znaczeniu dla rozważanego problemu, zawiera również dwie współautorskie publikacje Doktoranta. Cytowane prace zostały w większości opublikowane w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym.

W podsumowaniu tej części recenzji można stwierdzić, że dysertacja prezentuje uniwersalną i autorską metodykę oceny stanu zrobotyzowanego stanowiska produkcyjnego, na którą składają się wykonanie analizy istniejącego stanowiska, przygotowanie systemu wykrywania wad i niezgodności oraz wdrożenie tych rozwiązań na stanowisku produkcyjnym.

4. UWAGI, SUGESTIE I SPOSTRZEŻENIA

Uwagi, pytania, sugestie i spostrzeżenia, które nasuwają się podczas czytania rozprawy, mają raczej charakter polemiczny. Najważniejsze z nich to:

- czy zaproponowaną metodykę można również wykorzystać do oceny innych procesów technologicznych niż spawanie? Doktorant wspomina o procesie prac ślusarskich czy można by ją jednak zastosować do innych procesów?
- czy gazy i pyły emitowane w procesie spawania nie miały negatywnego wpływu na działanie systemu wizyjnego? Dlaczego zdecydowano się na zaimplementowaną w pracy metodę pomiaru?
- ważnym etapem oceny połączeń spawanych są badania ultradźwiękowe i badania radiograficzne. Dlaczego nie zdecydowano się na uwzględnienie ich w metodyce? Mogłoby one przynieść niezwykle interesującą i ważną ocenę jakości spoiny i tym samym całego procesu.
- zbyt ogólnie przedstawiono proces spawania rozpatrywanego elementu, zwraca uwagę brak wymagań dotyczących spoiny,
- zaprezentowana klasyfikacja spoin, stworzona „na własne potrzeby”, nie jest zaczerpnięta z wymagań jakościowych ani z norm,
- w rozdziale 5.1 brak jest informacji o wielkości analizowanej grupy części produkcyjnych,
- sieci neuronowe co do struktury są wzięte z gotowych bibliotek,
- proces uczenia jest stosunkowo znany i nie stanowi znaczącego „novum” recenzowanej dysertacji,
- rodzi się pytanie czy do procesu uczenia nie wykorzystano zbyt małego zbioru danych...,
- tematyka systemów wizyjnych do analizy diagnostyki jest niezwykle rozwojowa, dająca szansę wykazania się wykorzystaniem i rozwijaniem innych ciekawych algorytmów...

5. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

W pracy przedstawiono oryginalny algorytm wykorzystujący elementy statystyki opisowej, który jako wdrożone rozwiązanie pozwolił na wykrycie blisko 50% części z wadą spoin. Opracowane przez Doktoranta rozwiązanie, które wykorzystuje SSN do analizy wad i wykazuje blisko 100% skuteczność wciąż oczekuje na wdrożenie. Jak informuje autor dysertacji opóźnienia w zastosowaniu praktycznym zaproponowanej metody wynikają z ograniczeń realizacji złożonych algorytmów przez elementy automatyki przemysłowej zaimplementowane w zrobotyzowanej stacji spawalniczej.

Recenzowana praca zawiera uniwersalną autorską metodykę oceny stanu zrobotyzowanego stanowiska produkcyjnego, na którą składają się wykonanie analizy istniejącego stanowiska, przygotowanie systemu wykrywania wad i niezgodności oraz wdrożenie tych rozwiązań na stanowisku produkcyjnym. Poprawność rozwiązania została potwierdzona rzeczywistym wdrożeniem, a uzyskane wyniki mają istotne znaczenie z punktu widzenia przedsiębiorstwa.

Podsumowując recenzowaną pracę stwierdzam, że do szczególnych osiągnięć Autora można zaliczyć:

- wykonanie szczegółowej analizy systemów pracujących na stanowisku oraz identyfikacji parametrów procesu, wymagającej dużego nakładu pracy i kompleksowej wiedzy z zakresu automatyki. Na uznanie zasługuje fakt, że jako stanowisko badawcze wykorzystano zrobotyzowaną stację wykorzystywaną aktualnie w produkcji opisanego komponentu silnika lotniczego. Niewątpliwie wymagało to zachowywania specjalnych środków ostrożności, aby wprowadzane funkcjonalności nie wpływały negatywnie na ciągłość jego pracy,
- zaprezentowanie możliwości praktycznego zastosowania metod statystycznych w analizie danych technologicznych zaawansowanych procesów stosowanych w produkcji lotniczej. Zbudowany w oparciu o funkcję skośności system analizy jednego z parametrów technologicznych procesu (napięcia spawania) jest w stanie wykryć ok. 45% wad spoin, co umożliwia ich poprawę bezpośrednio w procesie. W warunkach produkcyjnych jest to duże wsparcie redukujące pracochłonność, a także zwiększające możliwości produkcyjne. Wdrożenie tego rozwiązania i uruchomienie w procesie produkcyjnym pokazuje duże możliwości adaptacji metod statystycznych w różnych obszarach produkcji bez ponoszenia wysokich kosztów zakupu dodatkowego sprzętu,
- uniwersalność zaprezentowanej metodyki, która to wydaje się być możliwa do implementacji przy analizie innych procesów technologicznych na zautomatyzowanych, zrobotyzowanych stanowiskach produkcyjnych,

- zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w analizie parametrów rzeczywistego procesu technologicznego i wykazanie ich wysokiej skuteczności w zadaniach rozpoznawania charakterystycznych wzorców w dużej ilości danych. Zaprojektowany układ osiągnął 100% poziom wykrywalności wad i niezgodności występujących w spoinach w testowanej serii produkcyjnej opisanego komponentu. Wdrożenie takiego systemu niewątpliwie wpłynie na zwiększenie jakości oraz wydajności w rozważanym obszarze produkcyjnym.

Autor w ramach rozprawy podjął się wielowątkowego i dość ambitnego zadania badawczego. Przegląd literaturowy świadczy o dobrym rozeznaniu tematyki w podejmowanych obszarach. Stanowił on punkt wyjścia do formułowania celów pracy dotyczących kontroli poprawności realizacji operacji spawania na przykładzie elementu kadłuba lotniczego silnika PW800.

Autor swobodnie i umiejętnie przeplata własne przemyślenia z doniesieniami literaturowymi. Materiał ilustracyjny jest na ogół dobrze dobrany. Autor przygotował wielowariantowy, szczegółowy plan badań, który konsekwentnie realizował. Przyjęte metody badawcze świadczą o dobrym opanowaniu przez Doktoranta warsztatu badawczego. Rozprawa jest wartościowym opracowaniem zawierającym oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego o walorach wdrożeniowych.

Doktorant jest niewątpliwie praktykiem o bardzo dużym doświadczeniu. Swobodnie stosuje narzędzia do programowania robotów przemysłowych, zarówno aplikacje produkcyjnych jak i funkcjonalnych interfejsów HMI. Podczas adaptacji rzeczywistego stanowiska produkcyjnego do prac związanych z gromadzeniem danych i pracami badawczymi wykazał się wiedzą w obszarze programowania elementów automatyki, budowania systemów komunikacji pomiędzy nimi oraz agregowaniem danych. Doktorant ponadto udowodnił swoje kompetencje przy prowadzeniu prac badawczych i symulacyjnych z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych.

Całość pracy oceniam pozytywnie, a sama rozprawa stanowi wartościowe dzieło o dużym znaczeniu praktycznym. Przedstawione w powyższych punktach wątpliwości recenzenta, pytania i wymagające wyjaśnienia zagadnienia mają charakter stricte dyskusyjny i nie wpływają na ogólną, pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marka Uliaszka. Mogą być tym niemniej uwzględnione przez Niego przy przygotowywaniu publikacji z zakresu objętego rozprawą. Podejmowane problemy naukowe Doktorant rozwiązał w sposób oryginalny.

Zatem stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Marka Uliaszka pt. „Opracowanie metodyki oceny stanu zrobotyzowanych stanowisk i ich zdolności do realizacji procesów technologicznych, przy uwzględnieniu urządzeń i czynników mających na nie wpływ” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w rozumieniu Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 roku, poz.1669), Ustawy z 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym

oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz. U. z 2016 roku poz. 882 ze zmianą: Dz. U. z 2016 roku poz. 1311) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2016 roku poz. 1586).

Podsumowując niniejszą recenzję wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukaszcwicza o dopuszczenie Pana mgr. inż. Marka Uliasz do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Robert Zalewski