

dr hab. inż. Anna TIMOFIEJCZUK, prof. PŚ
Politechnika Śląska
e-mail: atimofiejczuk@polsl.pl

Gliwice, 24.04.2023

OPINIA

o pracy doktorskiej mgr. inż. Marka ULIASZA

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

Opinię opracowano na zlecenie Przewodniczącego rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej

1 Wstęp

Obserwowana od ponad pięćdziesięciu lat trzecia rewolucja przemysłowa oraz aktualnie czwarta rewolucja, spowodowały wiele bardzo istotnych zmian dotyczących użytkowania maszyn i urządzeń, a przede wszystkim stopnia ich automatyzacji. Wprowadzanie do bardzo wielu obszarów urządzeń zautomatyzowanych, w tym w wielu przypadkach robotów, także robotów współpracujących z człowiekiem, pozwoliło na wiele nowych możliwości organizacji tych urządzeń w różnego rodzaju linie czy gniazda, w których wykonywane są ciągi operacji technologicznych. Systemy te są obecnie integralną częścią przedsiębiorstw. Wprowadzanie zautomatyzowanych urządzeń związane jest z zastosowaniem nowych technologii i podejść do harmonogramowania produkcji, rejestracji, gromadzenia, przesyłania i ich analizy danych. Do technologii wykorzystywanych w tym przypadku należą między innymi Przemysłowy Internet Rzeczy, przetwarzanie dużych zbiorów danych, przechowywanie danych w chmurze, uczenie maszynowe, zastosowania sztucznej inteligencji, czy zaawansowane metody analizy i rozpoznawania obrazów. Bardzo istotnym zagadnieniem urządzeń współpracujących ze sobą w gniazdach czy liniach jest ocena ich stanu technicznego. Coraz częściej urządzenia są samodiagnostujące. W tym kontekście, tematyka pracy dotycząca automatyzacji, a w szczególności oceny stanu stanowisk zrobotyzowanych jest bardzo aktualna. Przedstawiona do recenzji praca doktorska została zrealizowana w ramach projektu doktoraty wdrożeniowe. Doktorant jest pracownikiem firmy Pratt&Whitney Rezsów S.A.

2 Opis rozprawy

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów i została opracowana w języku polskim. Na końcu pracy zamieszczono streszczenia w językach polskim oraz angielskim. W końcowej części pracy zamieszczono spis rysunków i spis tabel zamieszczonych w pracy. Wraz ze streszczeniami oraz wykazem literatury, zawierającym 78 pozycji, rozprawa liczy 116 stron.

W rozdziale 1. pt. *Wprowadzenie*, liczącym 13 stron, zawarto charakterystykę tematu pracy, w tym historię firmy Pratt&Whitney, a także wybrane produkowane urządzenia, w tym silniki oraz ich elementy. Omówiono także zastosowanie robotów i stanowisk zautomatyzowanych w przedsiębiorstwach produkcyjnych należących do różnych branż. Charakterystyki te pokazano dla Polski i ukazano je na tle innych krajów. W rozdziale tym zawarto także podrozdział *Motywacja*, który został napisany w pierwszej osobie i ma charakter autoreferatu. W tym fragmencie pracy Autor wyjaśnia wieloletnie zainteresowanie robotyką, swoje osiągnięcia w tym zakresie, a także aktualne działania. Jest to moim zdaniem bardzo interesujący element pracy, który jest rzadko spotykany, a znacznie uatrakcyjnia tekst pracy i pozwala na poznanie Autora. W rozdziale *Wprowadzenie* zawarto także części zatytułowane *Geneza problemu* oraz *Cel i zakres pracy*, w których omówiono ogólnie przyjętą metodykę wdrożenia oceny stanu procesu na stanowisku zrobotyzowanym. Schemat metodyki omówiono wraz z charakterystyką poszczególnych rozdziałów pracy.

Rozdział 2, zatytułowany *Przegląd stanu wiedzy w wybranych zagadnieniach*, liczący 11 stron jest przeglądem literatury dotyczącej wszystkich zagadnień i problemów poruszanych w pracy. Autor rozpoczyna przegląd od omówienia metod spawania, w tym historii spawalnictwa i sposobów łączenia metali. W rozdziale tym wyjaśniono jakie metody są stosowane na stanowisku zautomatyzowanym, które jest przedmiotem badań w pracy. Kolejna część tego rozdziału została poświęcona kontroli jakości spoin. Omówiono w niej wybrane metody oceny złączy. W części *Systemy adaptacji trajektorii ruchu robota* omówiono wybrane metody stosowane w tych przypadkach. Część końcowa rozdziału została poświęcona systemom nadzoru procesu spawania. W rozdziale tym omówiono wybrane metody oceny procesu, stosowane podczas jego realizacji.

Rozdział 3, zatytułowany *Stanowisko badawcze*, liczący 17 stron, składa się z czterech części. We wstępie do tego rozdziału zawarto opis linii produkcyjnej, na której produkowane są kadłuby silnika. W części tej omówiono szczegółowo poszczególne elementy tej linii. W pierwszej części rozdziału zawarto charakterystykę systemu weryfikacji i kompensacji położenia ścieżki spawalniczej. Charakterystyka ta jest bogato ilustrowana zdjęciami i schematami. W drugiej części rozdziału omówiono kalibrację układów narzędzia i stosowane oraz opracowane programy kalibracji. Opisy

zilustrowano zdjęciami oraz szczegółowym schematem przedstawiającym zastosowaną procedurę kalibracji narzędzia. W części trzeciej opisano zastosowany system korekcji odległości elektrody od materiału. W części końcowej rozdziału zawarto opis zastosowanego systemu do automatycznej dystrybucji gazu.

Rozdział 4, zatytułowany *Analiza danych procesowych*, który liczy 19 stron, jest poświęcony parametrom uwzględnianym podczas obserwacji działania stanowiska oraz metodom identyfikacji wartości tych parametrów. Rozdział rozpoczyna się wprowadzeniem, w którym zawarto wyjaśnienie kolejnych kroków opracowanej metody. Polegają one na poszukiwaniu charakterystycznych parametrów, pozwalających na ocenę stanu stanowiska. Parametry te omówiono na przykładzie procesu spawania podzespołów kadłuba środkowego silnika. W tej części rozdziału parametry te zostały wymienione. Wszystkie dotyczą procesu spawania. Porównano także stan spoiny po spawaniu ręcznym oraz spawaniu automatycznym. W pierwszej części rozdziału omówiono identyfikację parametrów procesu, przy czym jako proces technologiczny, omówiono proces spawania. Parametry te zestawiono w tabeli i podzielono na trzy grupy dotyczące kalibracji i kompensacji, spawania oraz ruchu ramienia z elektrodą. W kolejnych częściach rozdziału pokazano i omówiono przykładowe przebiegi tych parametrów. W drugiej części rozdziału omówiono przyjętą w pracy klasyfikację stanów wyjściowych procesu, którą oparto na ocenie złącza wytworzonego w procesie. Stany procesu zestawiono w tabeli. Wydzielono jeden stan poprawny oraz 5 stanów niepoprawnie wykonanej spoiny. Identyfikacja niezgodności została przeprowadzona dla kilkunastu części. Na tej podstawie Autor opracował matrycę niezgodności.

Rozdział 5, zatytułowany *Ocena niezgodności zrobotyzowanego procesu spawania*, liczący 27 stron zawiera wstęp, w którym zawarto charakterystykę identyfikacji niezgodności spawalniczych na przestrzeni kilku lat. Wyjaśniono także istotność poprawności procesu spawania i procedury, które uruchamiane są w przypadku stwierdzenia niezgodności. Polegają one na naprawie niepoprawnie połączonych spoina elementu. Działanie takie każdorazowo wymagają uruchomienia dodatkowych procedur, co wpływa niekorzystnie na przebieg całego procesu i inne operacje technologiczne. W pierwszej części rozdziału pokazano znane wskaźniki statystyczne, które zastosowano do oceny zarejestrowanych parametrów procesu spawania. Jak wyjaśnił Autor, celem tej analizy było znalezienie prawidłowości zachodzących w obserwowanych zjawiskach. Wyniki przeprowadzonych analiz zilustrowano wykresami wskaźników dla przebiegów obserwowanych parametrów. W drugiej części rozdziału pokazano także zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do klasyfikacji wad i niezgodności w spoinach. Autor wyjaśnia w tym rozdziale także inne zastosowania sieci neuronowych oraz to, że w rzeczywistości zastosowano gotowe algorytmy i oprogramowanie Matlab. W tej części rozdziału omówiono budowę zastosowanej sieci neuronowej oraz przygotowanie danych, w tym omówiono rozkład zestawów spoin dla poszczególnych stanów wyjściowych. W rozdziale tym Autor omawia także

zastosowaną metodę uczenia sieci neuronowych oraz prezentuje wyniki uczenia w postaci macierzy pomyłek. Następnie przeprowadzono proces uczenia sieci neuronowej przy zastosowaniu 12 różnicy algorytmów, z których 6 omówiono bardziej szczegółowo i zilustrowano przykładami. W końcowej części rozdziału omówiono wybrane dwa podejścia, dla których uzyskano 100% efektywności klasyfikacji.

W rozdziale 6, zatytułowanym *Wdrożenie na stanowisku produkcyjnym*, liczącym 5 stron, zawarto opis wdrożenia wypracowanych rozwiązań oceny. Stanu procesu na stanowisku produkcyjnym. Tą część pracy autor nazwał czwartą częścią metodyki. W rozdziale pokazano dwa schematy procedur realizowanych na tym etapie wdrażania systemu, a także omówiono to wdrożenie na przykładzie stanowiska przedstawionego w pierwszej części pracy.

Rozdział 7, zatytułowany *Podsumowanie* zawiera opis prac zrealizowanych w ramach pracy i ma charakter obszernego streszczenia. Wnioskiem z przeprowadzonych działań jest stwierdzenie, że uzyskane rezultaty są satysfakcjonujące i zgodne z założeniami oraz to, że cel został w pełni osiągnięty. W rozdziale tym przedstawiono także możliwości zastosowania opracowanych podejść do innych stanowisk zrobotyzowanych, a nawet w innych obszarach niezwiązanych z robotyką przemysłową.

Układ pracy jest typowy dla prac doktorskich z dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, w których określa się w pierwszej części zakres badań, definiuje aktualny stan wiedzy na podstawie wyników badań literaturowych, następnie formułuje się problem badawczy. W pracy nie zdefiniowano też, co nie jest obecnie wymaganym elementem. Podobnie jak w większości prac, także i w tym przypadku omówiono zaproponowane rozwiązanie problemu badawczego i wyniki weryfikacji tego rozwiązania. Praca została podzielona na rozdziały o dosyć równych długościach. Część opisów literaturowych jest zawarta w bardzo wielu opracowaniach bibliograficznych i nie jest konieczne jej przytaczanie w pracy, a jedynie podanie odnośników do odpowiedniej literatury. W niektórych miejscach Autor omawia pewne znane metody zbyt szczegółowo, a w innych zastosowanie niektórych metod i zagadnień nie jest wyjaśnione. Praca została zredagowana bardzo starannie, natomiast zwraca się dużą liczbę pojęć niepoprawnie stosowanych lub używania ich w żargonie produkcyjnym. Nie wpływa to jednak na ogólne zrozumienie pracy, lecz powoduje, że ma się wrażenie, że praca powstawała w pośpiechu.

3 Uwagi dotyczące doboru tematu, celu, tez i zakresu rozprawy

Temat pracy dotyczy metodyki oceny stanu zrobotyzowanych stanowisk, na których realizowane są procesy technologiczne. Ze względu na obecne tendencje związane z budową urządzeń coraz bardziej automatycznych i autonomicznych, docelowo zintegrowanych z systemami diagnostyki i samodiagnostyki, dobór tematu oceniam jako bardzo aktualny. Ponadto, jak wyjaśnia Autor pracy,

wdrażanie tego typu stanowisk jest procesem złożonym wymaga przeprowadzenia bardzo wielu czynności, które zdaniem Autora mogą zostać zebrane odpowiednie procedury i stanowić pewne standardy postępowania. Dobór tematu, którego podjął się Autor pozwala na praktyczne wykorzystanie opracowanego rozwiązania. Praca jest wynikiem realizacji doktoratu wdrożeniowego.

Celem pracy sformułowano jako „opracowanie metodyki oceny stanu zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych, wykonanie analizy wybranego, istniejącego stanowiska produkcyjnego, przygotowanie systemu wykrywania wad i niezgodności w trakcie wykonywania operacji oraz wdrożenie tych rozwiązań na stanowisku produkcyjnym”. W świetle opisanej wyżej tematyki pracy, cel pracy został sformułowany prawidłowo.

W pracy nie sformułowano tezę

Biorąc pod uwagę tematykę pracy i jej zakres oraz sposób jej realizacji, sformułowanie tezy nie było konieczne do wykazania zrealizowania tematu.

Zakres rozprawy dobrano prawidłowo, odpowiednio do celu rozprawy, sformułowanego przez Doktoranta. W rozdziale pierwszym opisującym zakres pracy pokazano schemat przyjętej metodyki oceny stanu procesu na stanowisku zrobotyzowanym, według którego jest zorganizowana dalsza część pracy. Ze względu na praktyczny charakter rozprawy można przyjąć, że zakres pracy jest wystarczający. Problematyka opisana w pracy jest jednak bardzo szeroka i można było dodać jeszcze kilka zagadnień, które wzbogaciłyby pracę o treści badawcze, a jednocześnie pozwoliły na zrozumienie wyboru pewnych metod i podejść przez Autora pracy.

4 Ocena merytoryczna

Tematyka pracy, podjęta przez Doktoranta, wpisuje się w trendy rozwoju inżynierii mechanicznej, a w szczególności automatyzacji i diagnostyki technicznej oraz eksploatacji maszyn. Bardzo istotne jest to, że praca jest wynikiem rzeczywistego zapotrzebowania na opracowanie tego rodzaju podejść i standardów. Wyniki pracy mogą być wykorzystane w dalszej pracy Doktoranta. Nie ulega wątpliwości, że podjęcie się tego tematu pozwala na uzyskanie bardzo przydatnego podejścia, które przy odpowiednim opracowaniu może być skalowane, wielokrotnie wykorzystywane. Istotne jest to, że wyniki pracy zostały wdrożone, a rezultaty wdrożenia zweryfikowane w rzeczywistych warunkach przemysłowych. Należy jednak podkreślić, że czytając pracę odczuwa się pewien niedosyt dotyczący aspektów naukowych i badawczych, które mogły być lepiej opisane i wyjaśnione. Badania weryfikacyjne

metody zostały również pokazane dosyć jednostronne i w ograniczonym zakresie. Czytając tytuł pracy można się spodziewać przykładów różnego rodzaju zastosowań i symulacji. Doktorant reprezentuje dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna. Praca dotyczy zastosowania urządzeń automatyki i ich odpowiedniej integracji, co pozwala na realizację odpowiedniego procesu technologicznego. Z jednej strony tematyka pracy dotyczy zagadnień szerszych niż Inżynieria Mechaniczna, a z drugiej strony główny nacisk został położony na ocenę stanu procesu, co jest elementem eksploatacji. Stąd tematykę pracy i jej umiejscowienie w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna oceniam jako poprawne.

4.1 Elementy oryginalne

Na podstawie rozprawy oceniam, że najważniejszymi oryginalnymi elementami są:

1. Opracowanie ogólnego podejścia do realizacji ciągu metod pozwalających na uzyskanie standardów oceny stanowisk zautomatyzowanych.
2. Sposób identyfikacji parametrów procesu, pozwalających na ocenę jego stanu.

4.2 Uwagi dyskusyjne

1. W tytule pracy zawarto *Opracowanie metodyki oceny stanu zrobotyzowanych stanowisk...* W świetle tego tytułu, po lekturze pracy odczuwa się pewien niedosyt. Wprawdzie w pracy opisano zagadnienia dotyczące metodyki, ale jeżeli chodzi o ich zastosowanie, to wybrano kilka następujących po sobie procedur i metod bez wyjaśnienia, dlaczego. Ponadto, biorąc pod uwagę przytoczony fragment tytułu pracy można się spodziewać, że Autor przedstawi uniwersalną metodę działania w przypadku oceny stanowisk, na których realizowane są procesy produkcyjne. Doktorant opisał jedno stanowisko, a w zasadzi jedno proces, proces spawania. Jedynie w ostatniej części pracy Autor zawarł uwagi dotyczące możliwości zastosowania opracowanych procedur dla innych procesów produkcyjnych. Jak zdaniem Doktoranta powinno być zrealizowane zastosowanie opracowanej metodyki do wspomnianego procesu skrawania? Jakie parametry tego procesu powinny być brane pod uwagę i dlaczego?
2. W tytule pracy mowa o ocenie stanu procesu, w wielu miejscach pracy Autor zamiennie stosuje ocenę stanu procesu, niezgodności i wady spawalnicze. Zależności między tymi pojęciami nie zostały w pracy wyjaśnione w sposób klarowny. W wielu miejscach mowa o identyfikacji stanu procesu, a jest on realizowany na podstawie zidentyfikowanych wad spawalniczych. Czy

Doktorant mógłby wyjaśnić co rozumie przez stan procesu i niezgodności oraz wady spawalnicze i na podstawie jakich parametrów są one wyznaczane?

3. W części dotyczącej klasyfikacji stanu procesu Autor pracy zaproponował zastosowanie sieci neuronowych. Na jakiej podstawie zostało wybrane takie podejście? Jak dokonano wyboru struktury sieci i jej parametrów? Jak uzyskano 100 % efektywności działania sieci?
4. W pracy w zasadzie nie zawarto wniosków, a w podsumowaniu zawarto obszerne streszczenie pracy i informacje, że cel został zrealizowany bez podania dokładnych wyników weryfikacji lub przynajmniej odniesienia się do tych części pracy, w których zawarto wyniki. Czy Autor pracy mógłby skomentować stwierdzenia „uzyskane rezultaty są satysfakcjonujące”, „przedstawiona metodyka może być z powodzeniem zastosowana na innych stanowiskach”, „cel pracy został w pełni zrealizowany”.
5. W rozdziale dotyczącym przeglądu literatury Autor pracy nie zawarł jednej z ostatnio popularnych metod diagnostyki procesu spawania bazującej na termowizji. W literaturze są odnośniki do opracowań z tego zakresu, np. [4]. Na literaturę tę Autor powołuje się w całkiem innym miejscu, moim zdaniem niepoprawnie. Czy Autor sądzi, że możliwe byłoby włączenie do opracowanej metodyki metod oceny procesu spawania bazujących na termowizji?

5 Wniosek końcowy

Podjęty i rozwiązany przez Doktoranta problem badawczy jest ważny z perspektywy rozwoju automatyzacji procesów produkcyjnych. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie *Inżynieria Mechaniczna* oraz wymaganą umiejętnością zaplanowania i samodzielnego przeprowadzenia badań naukowych. Sformułowane przeze mnie uwagi nie umniejszają wartości merytorycznej rozprawy.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana praca doktorska Mgr. inż. Marka Uliasia pt. *Opracowane metodyki oceny stanu zrobotyzowanych stanowisk i ich zdolności do realizacji procesów technologicznych, przy uwzględnieniu urządzeń i czynników mających na nie wpływ* spełnia wymagania Art. 187 p.1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dziennik Ustaw 2018 poz. 1668) i może zostać dopuszczona do publicznej obrony.

Anna Stępień