

dr hab. inż. Sławomir Błasiak, prof. PŚk
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Technologii Mechanicznej
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

Kielce, dnia 29.02.2024 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Mateusza Przytuły**
nt. „**Metodyka automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego MEX**
z zastosowaniem infrastruktury sieciowej”.

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik

Promotorem pomocniczym jest dr inż. Andrzej Paszkiewicz

Praca doktorska reprezentuje dyscyplinę inżynieria mechaniczna.

1. Podstawa wykonania recenzji

Podstawą do wykonania niniejszej recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej, dr hab. inż. Andrzeja Burgharda z dnia 19 grudnia 2023 r. sygn. RM-530-29-03/2023, z prośbą o wykonanie recenzji rozprawy **mgr inż. Mateusza PRZYTUŁY**, pt. „**Metodyka automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego MEX z zastosowaniem infrastruktury sieciowej**” w związku z powołaniem na recenzenta przez Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza.

2. Zakres i charakterystyka rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska pt. „**Metodyka automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego MEX z zastosowaniem infrastruktury sieciowej**” liczy 171 stron i składa się z 7 głównych rozdziałów, spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń i skrótów, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz spisu literatury obejmującej 127 pozycji. Bibliografia zawiera odwołania zarówno do prac naukowo-badawczych, jak również książek, stron internetowych, czy norm oraz literatury patentowej. Istotnym faktem jest to, że w spisie literatury można odnaleźć dwie publikacje z 2021 roku, których współautorem jest Doktorant.

Obecnie można zaobserwować znaczący rozwój w dziedzinie przemysłu związanego z technologiami przyrostowymi, popularnie nazwanymi – drukiem 3D. Postęp ten obejmuje zarówno projektowanie nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń wytwórczych, jak również opracowywanie innowacyjnych technologii umożliwiających wykonywanie części maszyn lub przedmiotów, które mogą charakteryzować się pełną funkcjonalnością.

Rozprawa Doktorska Pana mgr inż. Mateusza Przytuły związana jest z automatyzacją procesu wytwarzania przyrostowego opartego na metodzie MEX.



Główne założenia dotyczące zastosowania procesu automatyzacji odnoszą się zazwyczaj do: zwiększenia efektywności produkcji, redukcji kosztów wytwarzania, poprawy dokładności wykonania oraz do minimalizacji ryzyka związanego z czynnikiem oddziaływania człowieka. W pracy, Doktorant skupił się (jak to zostało nazwane) na dwóch trybach automatyzacji:

- wytwarzanie w trybie z pierwszym stopniem automatyzacji, w którym urządzenia wytwórcze zostały połączone w heterogeniczną strukturę sieciową,
- wytwarzanie w trybie z drugim stopniem automatyzacji, gdzie dodatkowo zaimplementowano ramię robota (Universal-Robots UR5e) wyposażonego w specjalnie zaprojektowany element wykonawczy (chwytak), umożliwiającą demontaż podstawy modelowej z przestrzeni roboczej urządzenia.

Podstawowym celem rozważań Doktoranta była *analiza procesu wytwarzania przyrostowego pozwalająca na opracowanie rozwiązań z zakresu automatyzacji produkcji i zarządzania procesem wytwórczym z wykorzystaniem struktur sieciowych w wyniku, której zostanie opracowana metodyka automatyzacji i informatyzacji procesu druku 3D opartego o wytłaczanie warstwowe.*

Do osiągnięcia założonego celu pracy niezbędne było m.in.: zbudowanie stanowiska badawczego w postaci zautomatyzowanego środowiska wytwórczego posiadającego budowę modułową, opracowanie metodyki badań, realizacja badań, przeprowadzenie analiz, opracowanie aplikacji nadzorującej proces druku 3D, przedstawienie wyników analiz w formie ilościowej i jakościowej, a także opracowanie wniosków i podsumowania. Przedstawiona do recenzji praca doktorska ma zatem charakter zarówno praktyczny, jak również teoretyczny oraz potencjał aplikacyjny. Uzyskane przez Autora rozprawy wyniki badań stanowią cenne wskazówki przy projektowaniu procesów technologicznych z wykorzystaniem technologii przyrostowych.

Rozdział 1 stanowi krótką charakterystykę „wytwarzania przyrostowego”, wskazując je, jako alternatywę dla obróbki ubytkowej. Omawia korzyści, jakie wynikają z zastosowania tego rodzaju technologii wytwarzania w odniesieniu do czwartej i piątej rewolucji przemysłowej. Autor podsumowuje ten rozdział dość ogólnym stwierdzeniem: „że w ostatnim czasie temat automatyzacji procesów wytwarzania przyrostowego stał się bardzo popularny” i zasadnym będzie „opracowanie metodyki integracji takich maszyn w połączone sieciowo, zautomatyzowane zespoły produkcyjne.”

Rozdział 2 – „ANALIZA STANU ZAGADNIENIA” jest to dość obszerna część pracy, licząca 29 stron. W rozdziale tym kompleksowo omówiono metody druku 3D wraz z prezentacją konstrukcji wybranych typów urządzeń stosowanych w procesie wytwarzania przyrostowego, jak również ich zastosowania w produkcji małoseryjnej. Autor, na podstawie dostępnej literatury przedstawił rozwiązania odnoszące się do wyzwań związanych z automatycznym usuwaniem wydrukowanych modeli, uwypuklając w ten sposób praktyczne problemy związane z tym obszarem procesu (post)produkcyjnego. Ponadto, Doktorant przedstawia przegląd stosowanych już metod automatyzacji procesu druku 3D oraz przytacza przykłady rozwiązań, takich jak np. zastosowanie algorytmów sztucznej inteligencji do detekcji

defektów, które mogą pojawiać się w trakcie procesu wytwarzania przyrostowego lub też integracja drukarek w zdalne systemy zarządzania.

Podsumowanie tak obszernego rozdziału jest raczej zdawkowe i nie wynika z niego geneza podjęcia tematu pracy.

Rozdział 3 Zatytułowany cyt. „3. TEZA CEL I ZAKRES PRACY”

Doktorant, na podstawie przeprowadzonej analizy literatury zauważa, że cyt. „różnorodność podejścia do automatyzacji, która w zależności od rozwiązania obejmuje wybrane elementy procesu przyrostowego, nie podejmując kompleksowego ujęcia procesu automatyzacji, informatyzacji i zarządzania produkcją opartą o maszyny przyrostowe”.

Na podstawie tego stwierdzenia została sformułowana teza pracy, która mówi, że cyt. „*integracja drukarek 3D, systemów numerycznych, systemów monitoringu i zrobotyzowanych urządzeń wykonawczych z zastosowaniem infrastruktury sieciowej umożliwi automatyzację wytwarzania przyrostowego, szczególnie w zakresie operacji przed i poprocesowych co z kolei umożliwi skrócenie czasu pracy operatora i zmniejszenie kosztów wytwarzania produktów*”.

W dalszej części tego rozdziału został przedstawiony cel pracy i zakres pracy, podzielony na 10 etapów.

W mojej opinii cel pracy został sformułowany dość ogólnie, a część wyszczególnionych etapów, jak:

- analiza stanu zagadnienia w zakresie automatyzacji technologii addytywnych,
- określenie możliwości automatyzacji przedprocesowej i poprocesowej w odniesieniu do funkcjonujących technologii druku 3D,

częściowo zostały, albo powinny zostać w całości przeanalizowane w rozdziale: 2. Analiza Stanu Zagadnienia i na tej podstawie należało sformułować cel pracy.

Rozdział 4, w którym wyróżnić można siedem podrozdziałów, gdzie Autor przeprowadził analizę bogatego parku maszynowego będącego na wyposażeniu Katedry Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej, dokonał podziału maszyn wytwórczych pod względem rodzaju zastosowanej technologii przyrostowej, jak również dedykowanego oprogramowania wspomagającego prawidłową pracę tych urządzeń.

Autor omówił również strategię monitorowania ilości dostępnego materiału w kontekście środowiska produkcyjnego opartego na technologiach przyrostowych. Zaproponował on cztery modele systemów pomiaru i ewidencji materiałów, które różnią się zarówno stopniem zautomatyzowania jak i kosztem implementacji. Modele standardowe (np. Model I i II), według Doktoranta, mają cechować się relatywnie niskimi kosztami wdrożenia, jednakże wymagają interwencji operatora oraz mogą podlegać pewnym błędom związanym z oszacowaniem ilości materiału. Natomiast modele III i IV, oferują precyzyjny pomiar ilości materiału oraz automatyczną identyfikację szpul za pomocą technologii RFID, dzięki czemu mogą być stosowane w większych i bardziej złożonych środowiskach produkcyjnych. Ostatecznie, przedstawione modele stanowią zbiór narzędzi pozwalających efektywnie zarządzać dostępnymi zasobami materiałów produkcyjnych w kontekście wytwarzania technologiami przyrostowymi.

Autor zwraca również uwagę na konieczność implementacji kamer umożliwiających zdalny nadzór i szybką detekcję defektów dzięki zastosowaniu algorytmów sztucznej inteligencji podkreślając, że skuteczność algorytmów użytych do analizy zależy w głównej mierze od jakości obrazu oraz warunków oświetleniowych panujących w przestrzeni roboczej drukarki. Przedstawia również dwa podejścia do procesu automatyzacji transportu wyrobów z drukarek 3D za pomocą robota współpracującego: z wykorzystaniem chwytaka dwupalczastego lub specjalnie zaprojektowanego chwytaka stosowanego do wymiany platform roboczych. Zwraca również uwagę na pewne mankamenty obu metod, jakimi są m. in.: usuwanie pozostałości materiału i konieczność dostosowywania elementów wykonawczych (chwytaków) do różnych konstrukcji drukarek.

W dalszej części tego rozdziału Autor przedstawił metodykę automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego obejmującą dwie podstawowe fazy: przygotowawczą i wytwórczą. Faza przygotowawcza obejmowała swoim zakresem koncepcję środowiska wytwórczego, integrację sieciową urządzeń oraz opracowanie systemu nadzoru informatycznego. Natomiast faza wytwórcza zawierała: konfigurację systemu, automatyczne przydzielenie zasobów, monitorowanie procesu wytwarzania oraz wykrywanie defektów. W zależności od stopnia automatyzacji, proces mógł być wykonywany przez operatora lub przez zrobotyzowany układ wspomagający wytwarzanie.

Dwa ostatnie podrozdziały zawierają opis stanowiska badawczego oraz aplikacji nadzorującej proces wydruku 3D. Autor zwraca uwagę, że stanowisko badawcze ma budowę modułową i integruje drukarki 3D, robota współpracującego oraz aplikację nadzorującą, umożliwiając operatorowi zdalny dostęp i monitorowanie procesu produkcyjnego. Zastosowanie rozszerzonej funkcjonalności systemu monitorowania, zapewnia ciągłość produkcji, co przekłada się na zwiększenie wydajności całego procesu.

Aplikacja nadzoru procesu druku 3D opiera się na dwóch głównych komponentach: interfejsie użytkownika, umożliwiającym kontrolę zdalną urządzeń takich jak drukarki 3D i roboty oraz aplikacji back-end działającej na serwerze, zapewniającej automatyczną realizację zdefiniowanych scenariuszy pracy.

W mojej opinii tak obszerny rozdział powinien zostać podsumowany również obszernymi wnioskami podkreślającymi autorskie rozwiązania Doktoranta, które stanowią istotny wkład merytoryczny w opracowywanie tego rozdziału.

Rozdział 5 stanowi istotę recenzowanej rozprawy doktorskiej.

W rozdziale tym przedstawiono wyniki badań symulacyjnych dotyczących wpływu zaimplementowanej metodyki automatyzacji w procesie produkcji. Badania te obejmowały wybrane scenariusze związane m. in. z: liczbą drukarek 3D, rodzajami wytwarzanych elementów i wielkością produkcji. Zastosowane metody obliczeniowe dostarczyły istotnych informacji umożliwiających wnikliwą analizę rozpatrywanych procesów produkcyjnych. Analiza wyników badań prowadzona była głównie pod kątem redukcji kosztów wytwarzania i czasu pracy operatora. Badania prowadzone były dla wybranych modeli 3D, których parametry wykorzystano do opracowania planów wytwarzania dla poszczególnych procesów. Badania symulacyjne przeprowadzono dla trzech zaproponowanych przez Autora wariantów procesu wytwarzania: konwencjonalnego oraz dwóch zautomatyzowanych (automatyzacja I i II stopnia). Autor przeprowadził analizę kosztów wytwarzania w zależności od stopnia

automatyzacji, co pozwoliło na określenie obszarów zastosowania odpowiedniego stopnia automatyzacji w kontekście opłacalności produkcji.

Dla każdego z wymienionych wariantów Autor rozprawy przeprowadził szereg obliczeń, których wyniki zobrazował w formie graficznej.

Niestety tak ważny rozdział pracy nie został podsumowany wnioskami.

Rozdział 6 – PODSUMOWANIE I WNIOSKI – jest zwięźczeniem pracy, w której Autor wysunął szereg wniosków dotyczących zastosowania automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego, szczególnie w kontekście druku 3D. Dodatkowo na podstawie przeprowadzonych analiz i doświadczeń, Autor opracował metodykę integracji systemów i procesów druku 3D z zastosowaniem infrastruktury sieciowej, co było efektem realizacji założonego celu pracy. Opracowana metodyka zakładała współpracę sieciową drukarek 3D, pozwalając utworzyć heterogeniczne środowisko wytwórcze pracujące w technologii wytłaczania warstwowego. Doktorant w tym rozdziale podkreśla również, że zostało opracowane i wykonane stanowisko badawcze w postaci zautomatyzowanej stacji druku 3D o budowie modułowej. Z założenia stacja ta obsługiwana jest zdalnie przez operatora z użyciem aplikacji obsługiwanej z poziomu przeglądarki internetowej. Zaletą opracowanej aplikacji jest możliwość zarządzania pracą urządzeń do druku oraz pracą robota, którego zadanie polega na przenoszeniu wytworzonych modeli, jak również instalacji niezabudowanych platform roboczych. Autor w podsumowaniu stwierdza również, że przeprowadzone prace badawcze, jak również opracowana koncepcja zautomatyzowanego, modułowego środowiska wytwórczego opartego o technologię wytwarzania przyrostowego wnosi nowy wkład do dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna, a implementacja opracowanych rozwiązań w zakładach produkcyjnych pozwoli na wprowadzenie elastycznej produkcji.

3. Merytoryczna ocena pracy

Technologie przyrostowe, określane również mianem druku 3D, to nowe i dynamicznie rozwijające się metody wytwarzania. W porównaniu z tradycyjnymi technologiami wytwarzania są one stosunkowo młode, gdyż ich rozwój został zainicjowany w latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia i od tamtego czasu nieprzerwanie trwa ich niepokonany rozwój. Na przestrzeni lat pojawiło się wiele różnych konstrukcji drukarek 3D, jak i nowych technologii wydruku, umożliwiających wytwarzanie elementów z materiałów o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych. Faktem jest również, że coraz częściej druk 3D zastępuje konwencjonalne technologie wytwarzania, a wytworzone tą technologią elementy maszyn są w pełni funkcjonalne. Rozwój druku 3D szczególnie wyraźnie widoczny jest w przypadku produkcji prototypowej, gdzie najistotniejszym czynnikiem w dobie intensywnego użytkowania wyrobów jest czas ich wytwarzania i wdrażania do produkcji. Wszelkie testy, zarówno właściwości wytrzymałościowych, zużycia tribologicznego, testy funkcjonalności, czy ocena wizualna muszą być wykonane jak najszybciej, aby uzyskać przewagę i zachować konkurencyjność na rynku. W te właśnie realia doskonale wpisują się technologie druku 3D, ze względu na brak konieczności opracowywania i budowy oraz używania narzędzi czy oprzyrządowania technologicznego.

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Mateusza PRZYTUŁY, pt. „Metodyka automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego MEX z zastosowaniem infrastruktury sieciowej” doskonale wpisuje się w nurt polegający na poszukiwaniu rozwiązań, które nie tylko w znaczący sposób przyspieszyłyby wytwarzanie elementów technologiami przyrostowymi, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów produkcji, ale w sposób realny zrobotyzowałyby gniazda produkcyjne ograniczając przy tym wpływ czynnika ludzkiego.

Analizując przedstawioną do recenzji pracę, można zauważyć, że układ i struktura rozprawy są poprawne. Przedstawione jest uzasadnienie podjęcia tematu, przegląd literatury przedmiotu oraz teza, cel i zakres pracy.

Jak już wcześniej zauważyłem cel pracy został sformułowany dość ogólnie, a teza wydaje się być oczywista. Lepszym rozwiązaniem byłoby określenie problemu badawczego.

Praca zawiera część teoretyczną, w której sformułowano na podstawie literatury główne założenia dotyczące budowy stanowiska badawczego, oraz możliwości integracji sieciowej drukarek 3D. Natomiast w części praktycznej pracy zrealizowano szereg badań eksperymentalnych i obliczeń niezbędnych do przeprowadzenia analizy kosztów pracy parku maszynowego.

Wyniki z zakresu pracy teoretycznej prezentowane są w sposób przejrzysty w postaci tabelarycznej i graficznej. Rozprawę kończy podsumowanie wyników przeprowadzonych analiz.

Jako najważniejsze osiągnięcia Doktoranta należy wymienić:

- opracowanie stanowiska badawczego;
- zaplanowanie i przeprowadzenie badań eksperymentalnych i symulacyjnych dla procesu wytwarzania w trzech trybach pracy: konwencjonalnym oraz dwóch zautomatyzowanych;
- przeprowadzenie analizy kosztów wytwarzania;
- opracowanie aplikacji komputerowej nadzorującej pracę stacji wyposażonej w: drukarki 3D, robota współpracującego oraz magazyn platform i wydrukowanych modeli.

Doktorant wykazał się wiedzą z zakresu planowania eksperymentu, programowania z użyciem interfejsu programowania aplikacji (API), analizy danych oraz opracowania wyników badań. Należy podkreślić, że przedstawione w pracy wyniki badań wymagały dużego nakładu pracy i były bardzo czasochłonne. Temat pracy jest aktualny i perspektywiczny. Prowadzone przez Doktoranta badania mogą być wykorzystane przy projektowaniu nowych rozwiązań zrobotyzowanych systemów wspomagających obsługę drukarek 3D. Podsumowując, całość rozprawy oceniam pozytywnie.

Uwagi ogólne

1. W latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku (dokładnie w roku 1972) opublikowana została książka pt.: Normowanie czasu pracy na obrabiarkach do obróbki skrawaniem”, autorem tej książki był dr inż. Romuald Wołk. Czy jest Panu znane takie pojęcie, jak **Normowanie czasu pracy (NCP)** ? I dlaczego nie skorzystał Pan z nomenklatury, która jest już powszechnie stosowana i ugruntowana.
2. Dlaczego zastosowano różne formatowanie jednostki czasu, raz jest 1238,88 godz., a innym razem 5 godz. 35 min 05 sek?

3. Dlaczego dla wytwarzania w trybie konwencjonalnym ustalono średni czas pracy 8 godzin dziennie oraz 250 dni pracujących w ciągu roku, a dla trybu z pierwszym stopniem automatyzacji przez 16 godzin w ciągu doby przez okres 250 dni w ciągu roku? Natomiast dla wytwarzania w trybie z drugim stopniem automatyzacji założono 24 godziny pracy na dobę, 365 dni w roku z wydajnością na poziomie 80%. Skąd wynikają te różnice i dlaczego założono mniejszą wydajność dla trybu z drugim stopniem automatyzacji?

Uwagi szczegółowe

Do najważniejszych uwag szczegółowych zaliczam następujące:

1. Pod względem redakcyjnym rozprawa napisana dość starannie. Jako błędy edytorskie można tu wskazać pozostawianie przyimków i spójników na końcu wiersza.
2. Wiele zdjęć nie posiada odnośnika w tekście.
3. Tytuł podrozdziału 2.2, powinien brzmieć „Drukarki 3D w strukturach sieciowych”, a nie „Drukarki 3D w strukturach sieciowym”.
4. W podpunkcie 2.4.1. występuje brak odstępu pomiędzy wyrazami, powinno być „Farma drukarek (odstęp) 3D Prusa (odstęp) Research”.
5. Tytuł rozdziału 4, powinien być zmieniony: „METODYKA (Czego?) (odstęp) I APARATURA BADAWCZA”.
6. Str. 24, powinno być „zewnętrznym serwerem wydruku”, a nie „zewnętrznym serwer wydruku”.
7. Str. 50, „Identyfikacja odbywa drogą bezprzewodową...”. Powinna zostać użyta forma zwrotna czasownika, wówczas zdanie to brzmiałoby poprawnie.
8. Str. 56, „Efekt ten ma postać zwisających włosków w miejscach, gdzie głowica drukująca wykonuje długie ruchy...”, użycie sformułowania „postać zwisających włosów” pochodzi raczej z języka potocznego, a nie technicznego.
9. Str. 58, „Integralnymi częściami robota jest skrzynia z komputerem sterującym oraz panel kontrolny w postaci ekranu dotykowego wyposażony w przełącznik awaryjnego zatrzymania.” To zdanie powinno mieć brzmienie „Integralnymi częściami robota są: skrzynia z (odstęp) komputerem sterującym oraz panel kontrolny w postaci ekranu dotykowego wyposażonego (lub który jest wyposażony) w przełącznik awaryjnego zatrzymania.”
10. Str. 58, Autor, przy opracowywaniu tekstów naukowych powinien wystrzegać się skrótów myślowych typu „Komputer robota...”
11. Str. 68, „odkładania platform półek w magazynie ” domyślam się, że autor miał na myśli „odkładania platform na półki w magazynie”.
12. Na stronie 68 pojawia się pojęcie „magazynka”, choć we wcześniejszych fragmentach pracy dominowała poprawna forma „magazynu”, czy magazyn został zmniejszony w jakimś celu i stąd zasadnym było wprowadzenie formy zdrobniałej słowa magazyn?

13. Podpunkt 4.7.3. „Aplikacja nadzoru procesu druku 3D”, powinno być „Aplikacja (do nadzoru procesu druku 3D” lub „Aplikacja nadzorująca proces druku 3D”.
14. Str. 71, nie należy używać kolokwializmów w dysertacji „...skąd aplikacja rozsyła je samoczynnie...”.
15. Str. 78, jaki rodzaj energii Autor miał na myśli „Koszt ten zależy jest od ilości drukarek 3D w zespole produkcyjnym, zużywanej przez maszyny energii, ...”
16. Str. 80, Raczej „Do zadań operatora należy...”, a nie do „Do zdań operatora należy...”.
17. Str. 80, kolejny kolokwializm „pobiera czystą platformę z magazynu”, to sformułowanie nie określa, co kryje się pod pojęciem „czysta”. Czy jest brudna platforma, a może niezabudowana?
18. Str. 83, Tab. 5.2. Co Autor miał na myśli używając stwierdzenia „Przejsście i powrót do stanowiska”?
19. Str. 94, sformułowanie „dni pracujących” nie jest poprawną formą, powinna tu być mowa o dniach roboczych.
20. Str. 104, Sformułowanie „ Ponadto odpadły pozycje związane z obsługą plików produkcyjnych...” jest zaczerpnięte z języka potocznego. To samo sformułowanie zostało powtórzone jeszcze na str. 117.
21. Str. 115, zdanie „Następnie maszyny uzbrajane zostają w szpule o wadze 0,5 kg.”, poprawna forma „Następnie maszyny uzbrojone zostają w szpule o wadze 0,5 kg.”
22. Str. 129, w opracowaniach naukowych wymagana jest precyzja i jednoznaczność. Użycie w takiej pracy stwierdzenia, jak w zacytowanym zdaniu „W przypadku pierwszego stopnia automatyzacji wartość ta jest mniej więcej stała we wszystkich przypadkach.” jest niewłaściwe.
23. Str. 139, niepoprawna forma „Dla modelu korpusu przekładni, gdzie **czasu** wydruku pojedynczego modelu wynosi około 15 godzin”
24. Str. 143, Proszę o wyjaśnienie, co Autor miał na myśli w zdaniu „Możliwości parku maszynowego zostały obydwoch przypadkach”?
25. Powtórzenia. W pracy występuje, bardzo duża liczba powtórzonych w słowo w słowa lub z niewielkimi zmianami całych akapitów. Przykładowo: informacja o kosztach pracownika pojawia się w samym tekście 8 razy, a jeszcze dodatkowo informacja ta jest powtórzona w tabelach. Kolejny przykład:
W konwencjonalnym trybie pracy do jego zadań należy m.in. dwukrotne wykonanie inspekcji przebiegu procesu w trakcie pojedynczego wydruku oraz dwukrotna weryfikacja ilości filamentu na każdy zużyty kilogram. We wszystkich przypadkach zastosowany został ten sam plik produkcyjny zawierający jeden model na platformie roboczej. – str. 131.

W konwencjonalnym trybie wytwarzania do jego zadań należy m.in. dwukrotne wykonanie inspekcji przebiegu procesu w trakcie pojedynczego wydruku oraz dwukrotna

Pracownik

weryfikacja ilości filamentu na każdy zużyty kilogram. We wszystkich przypadkach zastosowany został ten sam plik produkcyjny, zawierający jeden model na platformie roboczej. – str. 121.

W trybie wytwarzania konwencjonalnego do jego zadań należy m.in. dwukrotne wykonanie inspekcji przebiegu procesu w trakcie pojedynczego wydruku oraz dwukrotna weryfikacja ilości filamentu na każdy zużyty kilogram. Ze względu na rozmiary modelu, możliwe było umieszczenie do 20 kół na jednej platformie roboczej. Ilość modeli wytwarzanych w poszczególnych wydrukach dobierana była w sposób umożliwiający pełne wykorzystanie filamentu w szpuli. – str. 141.

Oprócz wymienionych uwag, w pracy można znaleźć dużą liczbę błędów interpunkcyjnych. Często na końcu wiersza pozostawione są pojedyncze litery lub przyimki jak „na”, „do” i „są”.

Przedstawione powyżej uwagi nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy. Praca ma charakter symulacyjno-eksperymentalny, a przedstawione rozwiązanie dotyczące automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego MEX jest na pograniczu dwóch dyscyplin naukowych tj.: Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne oraz Inżynieria Mechaniczna, a przedstawione wyniki mają potencjał aplikacyjny. Doktorant wykazał się wiedzą z zakresu planowania i przeprowadzania eksperymentów naukowych, opracowywania użytkowych aplikacji sieciowych wraz z zaimplementowanymi protokołami komunikacyjnymi i transferem oraz analizą danych. Ponadto zaprojektowane i wykonane stanowisko badawcze zostało zastrzeżone w Urzędzie Patentowym RP, co może świadczyć o potencjale wdrożeniowym opracowanych rozwiązań.

Według mojej opinii Autor rozprawy podjął się rozwiązania aktualnego problemu naukowego, a postawiony przez Niego cel naukowy pracy został osiągnięty.

4. Ocena końcowa pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana **mgr inż. Mateusza Przytuły** dotyczy aktualnego zagadnienia badawczego, związanego z automatyzacją gniazda produkcyjnego dla procesu wytwarzania przyrostowego z użyciem drukarek 3D, co dobrze wpisuje się w koncepcję przemysłu 4.0.

Sformułowany cel pracy został osiągnięty. Praca świadczy o dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora. Doktorant wykazał się odpowiednią wiedzą i umiejętnościami prowadzenia badań naukowych i interpretacji wyników.

Problematyka rozprawy mieści się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Na podstawie przedstawionej opinii stwierdzam, że rozprawa doktorska **mgr inż. Mateusza Przytuły** pt. „**Metodyka automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego MEX z zastosowaniem infrastruktury sieciowej**” spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 ze zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

