

prof. dr hab. inż. Lucjan ŚNIEŻEK
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Wojskowa Akademia Techniczna
ul. S. Kaliskiego 2
00-908 Warszawa

Warszawa, dn. 7.02.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mateusza PRZYTUŁY pt. „Metodyka automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego MEX z zastosowaniem infrastruktury sieciowej”

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowiło pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, Pana dr. hab. inż. Andrzeja Burghardta, prof. PRz, nr RM-530-29-01/2023 z dnia 19 grudnia 2023 r.

1. Wstęp

Z punktu widzenia implementacji nowoczesnych technologii w przemyśle wytwórczym coraz większe znaczenie odgrywa wytwarzanie przyrostowe, potocznie nazywane drukiem 3D. Jest to jedna z najnowszych, najszybciej rozwijających się i najbardziej perspektywicznych technologii wpisujących się w główne założenia tzw. Przemysłu 4.0. Jej zastosowanie otwiera nowe możliwości produkcji zaawansowanych elementów konstrukcyjnych o dużym potencjale aplikacyjnym. Jedną z największych jej zalet, decydujących w głównej mierze o skali zainteresowania potencjalnych użytkowników drukiem 3D, jest możliwość względnie prostego i zautomatyzowanego wytwarzania elementów konstrukcyjnych o skomplikowanych kształtach. W przeważającej liczbie przypadków technologia addytywna pozwala w chwili obecnej przede wszystkim na skrócenie czasu projektowania poprzez możliwość szybkiego wytworzenia prototypu lub gotowego elementu. W warunkach produkcji wielkoseryjnej ciągle bardziej ekonomicznymi jawią się tradycyjne metody wytwarzania. Wzrostu efektywności przedsiębiorstw wykorzystujących techniki przyrostowe należy doszukiwać się w implementacji

zautomatyzowanych systemów druku 3D. Rośnie zatem zapotrzebowanie na rozwiązania automatyzujące wytwarzanie przyrostowe, zwłaszcza w sferze produkcji małych i wielkoseryjnej gotowych wyrobów. W praktyce zauważalna jest tendencja wdrażania przede wszystkim oprogramowań dedykowanych technikom proszkowym i druku 3D z żywic światłoutwardzalnych, traktując po macoszemu kwestie hardwarowe. Zdecydowanie najmniej uwagi przywiązywane jest jednak do automatyzacji procesów produkcyjnych wykorzystujących tanie drukarki 3D, w szczególności te o bardzo dobrych parametrach wytwórczych lecz nie posiadających znamion predysponujących do zastosowań w systemach zautomatyzowanych. Z tego względu podjęcie przez Doktoranta w recenzowanej rozprawie doktorskiej próby opracowania metodyki integracji tego typu maszyn w połączone sieciowo, zautomatyzowane zespoły produkcyjne uważam za ważką i w pełni uzasadnioną inicjatywę.

2. Charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Mateusza Przytuły składa się z 7 rozdziałów, przy czym numer rozdziału przypisano również *Bibliografii* zawierającej 127 pozycji prac, na które Autor powołał się w tekście oraz streszczeń rozprawy w języku polskim i angielskim zmykających opracowanie.

Praca na 171 stronach jest bogato ilustrowana w głównej mierze fotografiami wytworzonych modeli, drukarek, ich układów i elementów składowych oraz rysunkami zawierającymi algorytmy rozważanych procesów wytwarzania i graficzne prezentacje wyników przeprowadzonych analiz. Łącznie w rozprawie zamieszczono 85 rysunków i 54 tabele.

W dwustronicowym *Wstępie*, poprzedzonym wykazem najważniejszych skrótów i akronimów, stanowiącym pierwszy rozdział rozprawy, Doktorant w zwięzły sposób opisuje znaczenie stosowania i usytuowanie technik przyrostowego wytwarzania w szeroko rozumianym procesie produkcyjnym z uwzględnieniem problemów związanych z utrzymaniem ruchu i logistyką. Podkreśla również zalety technologii druku 3D, świadczące o jej konkurencyjności w odniesieniu do tradycyjnej obróbki ubytkowej. Identyfikuje zarazem zasadniczą przeszkodę we wdrożeniu tej technologii w produkcji wielkoseryjnej, wskazując na konieczność automatyzacji procesów wytwarzania przyrostowego, jako niezbędnego etapu przenoszenia druku 3D w erę Przemysłu 5.0.

Rozdział drugi liczący 30 stron poświęcono literaturowej analizie aktualnego stanu zagadnienia w zakresie stosowanych metod, maszyn produkcyjnych, jak i zautomatyzowanych systemów druku 3D. Przedstawiony na pierwszych siedmiu stronach,

co ważne, wyważony przegląd metod przyrostowych obejmuje: wytłaczanie przyrostowe, fotopolimeryzację objętościową, selektywne spajanie sproszkowanego materiału, ukierunkowane stapianie dostarczanego materiału, warstwowy nadruk płynnego materiału, spajanie sproszkowanego materiału płynnym spoiwem oraz laminację warstwową przekrojów. Oprócz ogólnego opisu wymienionych technik, w szczególności w zakresie procesu powstawania wyrobu, Doktorant w oparciu o 70 pozycji literaturowych dokonał oceny zakresu, korzyści i ograniczeń podejmowanych prób automatyzacji i robotyzacji procesów wytwarzania realizowanych z ich wykorzystaniem. Przedstawił również genezę zautomatyzowanych środowisk wytwórczych wykorzystujących maszyny do druku 3D począwszy od systemów złożonych z drukarek o bardzo ograniczonych zdolnościach do komunikacji sieciowej, poprzez maszyny wyposażone w przewodowe interfejsy sieciowe pozwalające na wymianę danych w sieci LAN po drukarki wyposażone najpierw w interfejsy USB, a w ostatnich latach w przewodowe i bezprzewodowe interfejsy sieciowe. Otworzyło to nowe możliwości zdalnej kontroli urządzeń i monitorowania parametrów druku za pomocą odpowiednio zdefiniowanych komend. Zdecydowanie więcej uwagi poświęcono wybranym platformom chmurowym skoncentrowanym wokół wydruku 3D i umożliwiającym integrację wielu maszyn wytwórczych w ramach wspólnego środowiska heterogenicznego. Przeprowadzone rozpoznanie rynkowe usystematyzowano w formie tabelarycznego zestawienia wybranych platform chmurowych, umożliwiające porównanie ich funkcji użytkowych. Zwrócono również uwagę na problem integracji maszyn do druku 3D z platformami chmurowymi lub systemami cyberfizycznymi z wykorzystaniem odpowiednich adapterów lub interfejsów aplikacji umożliwiających integrację z zewnętrznymi serwerami wydruku. Również w tym przypadku przegląd najpopularniejszych serwerów wydruków z uwzględnieniem ich parametrów i funkcjonalności zwieńczono zestawieniem tabelarycznym. Opis poświęcony elementom zautomatyzowanych środowisk wytwórczych uzupełniono analizą stanu zagadnienia dotyczącego monitorowania procesu druku 3D, umożliwiającego zarazem detekcję defektów w trakcie wydruku. Wyróżniono i uszczegółowiono trzy grupy tych metod obejmujących: monitorowanie procesu przez operatora, automatyczną diagnostykę maszyny do druku 3D oraz automatyczną detekcję defektów wydruku. Dokonano również porównania zaawansowanego oprogramowania wykorzystującego algorytmy sztucznej inteligencji do identyfikacji uszkodzeń wytwarzanego elementu.

Ocenie aktualnego stopnia zaawansowania praktycznych rozwiązań z zakresu automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego poświęcono liczący 11 stron p. 2.4

zatytułowany *Przegląd istniejących zautomatyzowanych systemów druku 3D*, zamykający rozdział drugi rozprawy. Opisano w nim dziewięć systemów opracowanych przez liczących się producentów drukarek i przedsiębiorstw wykorzystujących w procesie produkcyjnym różnorodne techniki przyrostowe. Na podkreślenie zasługuje fakt, że 60 z 83 przywołanych w *Analizie stanu zagadnienia* publikacji ukazało się w ciągu ostatnich 5 lat.

Wyniki przeprowadzonej w rozdziale drugim analizy wskazują na różnorodność podejść do automatyzacji druku 3D, które w zależności od rozwiązania uwzględniają jedynie wybrane elementy procesu przyrostowego nie oferując kompleksowego ujęcia procesu automatyzacji, informatyzacji i zarządzania produkcją opartą o maszyny przyrostowe. Skłoniło to Doktoranta do sprecyzowania w następnym, trzecim rozdziale tezy, celu i zakresu rozprawy. Doktorant formułując tezę rozprawy założył, że 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. Za cel pracy przyjęto przeprowadzenie analizy procesu wytwarzania przyrostowego pozwalającej 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. Cel w przytoczonym brzmieniu, moim zdaniem, ujmuje w istocie dwa różne cele, bowiem obok założonej analizy, opracowanie metodyki automatyzacji i informatyzacji procesu druku powinno zostać przedstawione jako osobno sformułowany cel o charakterze metodycznym. Założono, że cel rozprawy, w swojej rozwiniętej postaci, zostanie osiągnięty w wyniku realizacji ściśle określonego i wypunktowanego zakresu prac teoretycznych i doświadczalnych obejmujących automatyzację prac przed i poprocesowych w ramach funkcjonujących technologii druku 3D oraz automatyzację i informatyzację druku 3D w ramach proces ekstruzji warstwowej polimerowych materiałów termoplastycznych.

Rozdział czwarty liczący 30 stron poświęcono opisowi metodyki i aparatury badawczej. W oparciu o przeprowadzone w poprzednim rozdziale rozpoznanie parku maszynowego i oprogramowania mającego zastosowanie w druku 3D, spośród licznej grupy urządzeń będących na wyposażeniu Katedry Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej, do przeprowadzenia badań własnych wybrano urządzenia Prusa i3 MK3 pracujące w technologii warstwowego wytłaczania materiału MEX (ang. Material Extrusion). Z myślą o ich integracji sieciowej wprowadzono modyfikację sprzętową polegającą na rozbudowie płyty kontrolera

drukarki o miniaturowy komputer z zainstalowanym oprogramowaniem. Do kontroli ilości i typu dostępnego filamentu zaproponowano cztery modele systemu pomiaru i ewidencji dostępnego materiału – dwa modele standardowe, w tym jeden uproszczony i jeden rozszerzony oraz dwa modele zautomatyzowane, również w wersji uproszczonej i rozszerzonej. Dokonano także krytycznej oceny tych modeli zwieńczonej tabelarycznym zestawieniem ich wad i zalet. W układzie monitoringu wizyjnego procesu wytwarzania z wykorzystaniem opracowanego na potrzeby realizacji rozprawy doktorskiej stanowiska badawczego zastosowano kamerę internetową o zaawansowanych parametrach, połączoną z serwerem wydruku poprzez interfejs USB. Wysoka jakość transmitowanego obrazu umożliwiła zastosowanie, podczas detekcji uszkodzeń drukowanych modeli, aplikacji bazujących na algorytmach sztucznej inteligencji uzyskując co najmniej satysfakcjonujące rezultaty bieżącej identyfikacji wad wydruku. Podczas rozważań dotyczących automatyzacji procesu przygotowania platformy roboczej do druku rozważono dwa alternatywne rozwiązania polegające na usunięciu modelu z platformy lub usunięciu platformy wraz z modelem i osadzeniu nowej platformy z wykorzystaniem odpowiednio zaprojektowanego chwytaka. Wyniki prób stanowiskowych zaważyły o doborze do opracowanej metodyki automatyzacji tej drugiej wersji rozwiązania, a do weryfikacji praktycznej realizacji procedury wymiany platform wykorzystano kolejną kamerę, połączoną z serwerem wydruku i zapewniającą podgląd magazynu platform. Wybrane rozwiązania cząstkowe odnoszące się do automatyzacji poszczególnych działań procesowych scalono i opracowano kompleksową metodykę automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego MEX z uwzględnieniem faz: przygotowawczej i wytwórczej. W oparciu o tę metodykę zostało zaprojektowane i wykonane stanowisko badawcze w postaci zautomatyzowanego środowiska wytwórczego. Do kompleksowego zarządzania systemem wykorzystana została autorska aplikacja zainstalowana na centralnym komputerze, przy czym dostęp do tej aplikacji z dowolnego komputera w tej samej sieci lokalnej możliwy jest poprzez interfejs web. Zamieszczony w pracy zbiór widoków interfejsu użytkownika aplikacji, okien dialogowych, struktury opracowanej bazy danych oraz ich opis utwierdza w przekonaniu o zapewnieniu właściwej, kompleksowej interakcji między użytkownikiem a systemem. Należy podkreślić, że stanowisko to jest przedmiotem wniosku o udzielenie ochrony patentowej złożonego w Urzędzie Patentowym RP w maju 2022 roku.

Zasadniczą część rozprawy stanowi rozdział piąty zatytułowany *Badania wpływu automatyzacji*, liczący 76 stron, przy czym tytuł w przytoczonym brzmieniu, moim zdaniem, wydaje się być zbyt lakoniczny. W praktyce w rozdziale tym zamieszczono szczegółowy opis

opracowanej metodyki prowadzenia badań i wyników wdrożenia tej metodyki w postaci parametrów wyjściowych przeprowadzonych symulacji, wyliczanych na podstawie sformułowanych przez Doktoranta zależności. Uwzględniono przy tym zróżnicowaną liczbę drukarek włączonych w zespoły produkcyjne i różną geometrię oraz liczbę wyrobów. Analiza porównawcza obejmowała trzy, ściśle zdefiniowane tryby pracy: konwencjonalny i dwa zautomatyzowane określone jako I i II stopnia. Każdy z rozpatrywanych trybów procesów wytwarzania zilustrowano w postaci zaimplementowanych algorytmów działań, a jako kryteria oceny efektów automatyzacji procesu druku 3D wytypowano czas pracy operatora i koszt pracy parku maszynowego, które wyliczono na podstawie opracowanych zależności.

Badania symulacyjne przeprowadzone zostały w odniesieniu do procesu wytwarzania przyrostowego obiektów rzeczywistych w postaci dwóch kół zębatach i korpusu przekładni, nie precyzując o jaką przekładnię chodzi. Koło zębate liczące 95 zębów o średnicy podziałowej 120 mm, oznaczone jako KZ-1 i drugie koło o liczbie zębów 25 i średnicy podziałowej 30 mm, oznaczone jako KZ-2, wykonano z materiału ABS (AcrylonitrileButadieneStyrene), natomiast do wytworzenia korpusu przekładni zastosowano filament ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate). Wybrane modele różniły się nie tylko materiałem, ale i ilością wymaganego filamentu oraz czasem potrzebnym na ich wytworzenie.

Analizę kosztów pracy zespołu drukarek wyliczono dla zespołów liczących 2, 6, 12 i 30 drukarek w każdym z założonych wcześniej, trzech trybów wytwarzania. Godzinny koszt pracy zespołu drukarek 3D stanowił składową jednostkową całkowitego kosztu wytwarzania w trybie konwencjonalnym. W przypadku wytwarzania z zastosowaniem pierwszego stopnia automatyzacji, podczas obliczeń godzinnego kosztu pracy parku maszynowego w trybie pracy sieciowej uwzględniono godzinny koszt pracy zespołu drukarek oraz koszty elementów infrastruktury sieciowej i ich pracy. Dla drugiego stopnia automatyzacji doliczono łączny godzinny koszt pracy układu robotyzacji.

Opracowana metodyka automatyzacji uwzględniająca zdalną kontrolę i monitorowanie procesu wytwarzania, kontrolę ilości dostępnego materiału produkcyjnego oraz metody przenoszenia wytworzonych modeli przy pomocy współpracującego robota została wykorzystana do przeprowadzenia obliczeń czasu pracy operatora i kosztów wytwarzania na podstawie wybranych symulacji procesów wytwarzania. Wyniki obliczeń pozwoliły na wskazanie obszarów zastosowania zdefiniowanych stopni automatyzacji tych procesów. W rozprawie zamieszczono wybrane, reprezentacyjne symulacje przeprowadzone dla kół zębatach KZ-1 i KZ-2 oraz korpusu przekładni, które zaowocowały zamieszczonymi w p. 5.4-5.5 wynikami wielokryterialnej analizy porównawczej kosztów składowych

i sumarycznych, uwzględniających także wielkości partii wyrobów i zespołów produkcyjnych.

Opisane z należytą starannością w rozdziale piątym wyniki badań zapewniły możliwość obszernego wnioskowania, które Doktorant przedstawił w rozdziale szóstym, zatytułowanym *Podsumowanie i wnioski*. Zamieszczenie syntetycznego i zarazem wyczerpującego podsumowania ułatwia czytelnikowi możliwość płynnego zapoznania się ze sformułowanymi wnioskami zarówno poznawczymi, jak i użytecznymi.

3. Ocena rozprawy

Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat druk 3D stał się jedną z najpopularniejszych technologii wytwarzania różnego typu elementów nie tylko prototypowych, ale w coraz większym zakresie użytkowych. Dzięki wdrożeniu technik przyrostowych w sektorze produkcyjnym, udział wyrobu gotowych części w odniesieniu do całkowitego przekroju zastosowań druku 3D dawno przekroczył 40 %, a przedsiębiorstwa stają przed koniecznością wprowadzania coraz szerszej automatyzacji procesu produkcyjnego, co skutkuje koniecznością integracji na liniach produkcyjnych posiadanego parku maszynowego, często zróżnicowanego pod względem zaawansowania zastosowanych rozwiązań. Podjęta przez Doktoranta problematyka automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego z wykorzystaniem infrastruktury sieciowej jest zatem nader aktualna i zasługuje na uwagę. Opracowana metodyka badań jest właściwie dostosowana do zamierzenia badawczego. Układ pracy jest przemyślany, logiczny i spójny. Praca posiada znaczący potencjał aplikacyjny i pod względem merytorycznym zasługuje na pozytywną ocenę. Nieliczne uwagi dotyczące obszaru merytorycznego rozprawy wynikają przede wszystkim z woli uściślenia lub zainspirowania do dyskusji nad niektórymi zagadnieniami. Dotyczy to między innymi następujących problemów:

- 1) Wyniki badań przeprowadzonych dla różnych trybów wytwarzania, liczebności zespołów wytwórczych i wielkości elementów w partii wykazały znaczną redukcję czasu pracy operatora i kosztów wytwarzania o różnych stopniach automatyzacji w porównaniu do wytwarzania przyrostowego, określonego jako konwencjonalny. Interesującym byłoby również odniesienie się do kosztów wytwarzania danych elementów bez zastosowania druku 3D – na przykład ubytkowego. Czy Doktorant rozważał również takie porównanie?
- 2) Recenzowana rozprawa dotyczy zagadnień automatyzacji procesów wytwarzania przyrostowego metodą MAX z wykorzystaniem infrastruktury sieciowej. W jakim

stopniu wnioski wysunięte w oparciu o wyniki realizacji zakresu pracy mogą dotyczyć innych technik druku 3D?

- 3) Podczas realizacji badań do nadzoru poprawności wydruku w czasie rzeczywistym, a w szczególności do detekcji defektów, wykorzystano algorytmy sztucznej inteligencji. Jakie inne zastosowania sztucznej inteligencji postrzega Doktorant w zakresie rozwoju technologii wytwarzania 3D?

Pewne uwagi budzą nieliczne niedociągnięcia natury edytorskiej, do których zaliczyć można m.in.:

- brak powołania w tekście na rysunki 2.1 i 2.2,
- niektóre zapisy, np.: „... można sformułować tezę, która mówi, że ...” - str. 41⁹⁻¹⁰, czy „... zastosowano dwa rodzaje materiału produkcyjnego - dostępne na rynku od rzeczywistych producentów.” - str. 90₁₃₋₁₄ (pisownia oryginalna),
- zakończenia punktów podpisami pod rysunkami (np. rys. 4.30, rys. 5.11, rys. 5.16 czy rys. 5.21),

W trakcie czytania pracy zauważono również nieliczne błędy interpunkcyjne, które przekazano bezpośrednio Doktorantowi do wykorzystania podczas przygotowywania publikacji.

Przytoczone uwagi nie wpływają na ogólnie pozytywną ocenę poziomu recenzowanej rozprawy, zawierającej szereg wartościowych wyników i analiz. Doktorant wykazał się dużym opanowaniem występujących w pracy zagadnień teoretycznych i metodyk badawczych oraz bardzo dużą wiedzą w zakresie nowoczesnych technologii wytwarzania, a do jego oryginalnych osiągnięć zaliczam:

- 1) Wykorzystanie struktur sieciowych do zdalnej kontroli procesu przyrostowego wytwarzania, umożliwiającej skrócenie czasu operacji przed i poprocesowych oraz transferu plików produkcyjnych, w szczególności podczas zarządzania dużymi zespołami maszyn produkcyjnych.
- 2) Opracowanie scentralizowanego systemu monitoringu przebiegu procesu i detekcji wad wyrobu na etapie jego przyrostowego wytwarzania, mającego przełożenie na zmniejszenie kosztów produkcji.
- 3) Osiągnięcie zdolności identyfikacji i ewidencji typu oraz ilości dostępnego filamentu w trybie zautomatyzowanego procesu wytwarzania umożliwiającej efektywne zarządzanie parkiem maszynowym w przypadku prowadzenia jednostkowej lub

małoseryjnej produkcji na zlecenie oraz w przypadku wystąpienia awarii urządzeń lub detekcji defektu wydruku.

- 4) Implementacja zrobotyzowanego systemu wykonawczego w procesie zautomatyzowanego wytwarzania przyrostowego umożliwiającego wyeliminowanie udziału operatora w czynnościach pomiędzy kolejnymi wydrukami.
- 5) Opracowanie konstrukcji i zbudowanie na podstawie sporządzonej metodyki automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego stanowiska badawczego stanowiącego zautomatyzowaną stację druku 3D z aplikacją nadzorującą.
- 6) Przeprowadzenie licznych symulacji przebiegu procesów wytwarzania przyrostowego w trybach konwencjonalnym i zautomatyzowanych, różniących się ilością maszyn w zespole produkcyjnym, wielkością partii oraz wytwarzanych elementów.
- 7) Dowiedzenie, że 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.

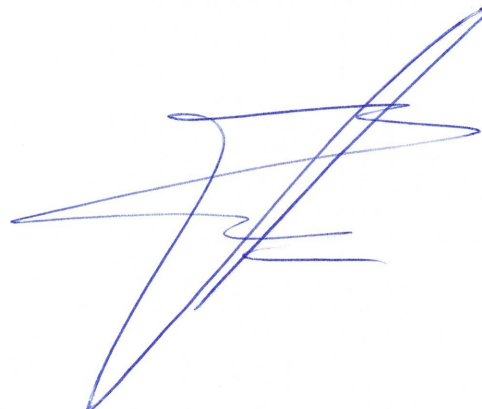
4. Wniosek końcowy

Z przedstawionej wyżej oceny rozprawy Pana mgr. inż. Mateusza Przytuły wynika, że:

- wybór tematyki pracy został przeprowadzony w sposób trafny i odnosi się do aktualnej wiedzy i praktyki,
- Doktorant posiada umiejętność zaprojektowania złożonych zadań naukowych i zagadnień praktycznych oraz ich realizacji nowoczesnymi metodami,
- podjęte w rozprawie trudne zadania zostały zrealizowane na właściwym poziomie,
- przeprowadzone analizy skomplikowanych zagadnień z zakresu technik przyrostowego wytwarzania i automatyzacji procesu produkcyjnego z wykorzystaniem tych technik, opracowanie wyników i forma wniosków nie budzą zastrzeżeń,
- treść rozprawy stanowi zamkniętą całość, posiada starannie opracowaną szatę graficzną oraz stojącą na odpowiednim poziomie dokumentację z badań własnych.

Przytoczone fakty świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na jego dużą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej „Inżynieria mechaniczna”, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą. Stwierdzam zatem, że praca mgr. inż. Mateusza Przytuły pt.: „*Metodyka*

automatyzacji procesu wytwarzania przyrostowego MEX z zastosowaniem infrastruktury sieciowej” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu „*Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*” z dnia 14 marca 2003 roku oraz dodatkowo Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „*Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*”. Jednocześnie wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie Autora do jej publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping, fluid strokes that form a stylized, abstract shape. The signature is positioned on the right side of the page, below the main text block.