

Kraków, sierpień 2022 r.

**Prof. dr hab. inż. Adam Ruszaj**

**POLITECHNIKA KRAKOWSKA**  
**Wydział Mechaniczny – KRAKÓW**  
**PANSTWOWA WYZSZA SZKOŁA ZAWODOWA**  
**Instytut Techniczny – NOWY SĄCZ**

## **RECENZJA**

pracy doktorskiej pt.:

### **OPTYMALIZACJA WARUNKÓW PROCESU SLS/SLM W CELU MINIMALIZACJI NIEDOKŁADNOŚCI WYROBU**

Autor pracy: mgr inż. **Tomasz Zakrzewski**

Promotor: prof. dr hab. inż. **Jerzy Kozak**

Podstawa opracowania recenzji: Zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego  
Technologicznego Politechniki Warszawskiej

#### **1. CHARAKTERYSTYKA I OGÓLNA OCENA PRACY**

Opiniowana praca poświęcona jest zagadnieniom wytwarzania przyrostowego. Metody wytwarzania przyrostowego rozwijają się bardzo dynamicznie i coraz szerzej są stosowane nie tylko na etapie przygotowania produkcji (Rapid Prototyping, Rapid Tooling), ale również w procesach produkcyjnych (Rapid Manufacturing oraz wytwarzanie zgodnie z filozofią INDUSTRY 4.0) Wiedza o tych procesach w stosunku do procesów tradycyjnych ubytkowych jest ograniczona szczególnie w zakresie oceny a’piori dokładności wymiarowej czy właściwościach wytwarzanych przy ich zastosowaniu wyrobów. W Rozdziale I pracy Doktorant podkreśla, że Przemysł 4.0 głównie polega na praktycznym opracowaniu nietradycyjnych metod jednostkowego i masowego wytwarzania wyrobów wg indywidualnymi potrzeb klienta Dlatego wytwarzanie przyrostowe stanowi słusznie wg Doktoranta jeden z filarów wspomnianej rewolucji przemysłowej Industry 4.0, poprzez oferowanie wytwarzania niestandardowych produktów – szczególnie charakteryzujących się skomplikowaną geometrią oraz zastosowaniem nowoczesnych zaawansowanych materiałów). Warto podkreślić, że do filarów Koncepcji INDUSTRY 4.0 zalicza się również „BIONIKE”. Jest to uzasadnione między innymi tym, że w przyrodzie wszystkie organizmy zwierzęce czy roślinne wytwarzane są PRZYROSTOWO. Procesy te są niezwykle zaawansowane i

trudne do naśladowania ale mogą być wzorem czy inspiracją dla rozwoju stosowanych obecnie w przemyśle procesów wytwarzania przyrostowego.

W dalszych rozważaniach Autor charakteryzuje:

- rozwój metod wytwarzania przyrostowego - również w aspekcie historycznym),
- metody wytwarzania przyrostowego z rozróżnieniem wykorzystania materiałów niemetalowych (np. FDM czy SLA) oraz materiałów metalowych ze szczególnym uwzględnieniem procesów SLS czy SLM,
- zastosowanie metod wytwarzania przyrostowego w praktyce ze szczególnym uwzględnieniem przemysłu lotniczego czy motoryzacyjnego,
- zjawiska występujące w procesach spiekania i topienia laserowego oraz wynikające stąd podstawowe zalety i wady procesów SLS/SLM.

Do niewątpliwych zalet tych procesów Autor słusznie zalicza możliwość wytwarzania precyzyjnych i jednorodnych wyrobów z materiałów metalicznych typu: stal nierdzewna, stal narzędziowa, stopy tytanu, stopy aluminium, kobalt chrom i inne metale, które dają się sproszkować. Uzyskiwana gęstość właściwa wyrobów jest zbliżona do gęstości uzyskiwanej w procesach obróbki plastycznej.

Oczywiście wykorzystanie tych zalet procesów SLS i SLM jest możliwe pod warunkiem poznania i opracowania modeli matematycznych procesu nagrzewania, topienia proszków a następnie krzepnięcia dla różnych parametrów wytwarzania. Procesy te decydują o właściwościach warstwy wierzchniej oraz o właściwościach i strukturze wewnętrznej wyrobu. Rozważania Autora przedstawione w Rozdziale I są bardzo dobrym wprowadzeniem do dalszych rozważań.

W Rozdziale „2” Autor charakteryzuje problemy podjęte w pracy. Stwierdza między innymi, że źródłem istotnego postępu w poznaniu i rozwoju praktycznych zastosowań procesów SLS i SLM ważne byłoby podjęcie badań dotyczących wpływu parametrów procesu na dokładność wymiarową wyrobu czy właściwości jego struktury wewnętrznej. itp. **Badania te powinny obejmować:** wpływ takich parametrów jak: „moc wiązki lasera”, „prędkość skanowania”, „odległość między ścieżkami” i „grubość nakładanej warstwy proszku” na dokładność wymiarową, oraz właściwości struktury wewnętrznej czy struktury geometrycznej powierzchni. Badania te powinny uwzględniać między innymi

- opracowanie dedukcyjnych modeli matematycznych,
- przeprowadzenie w oparciu o te modele symulacji komputerowych badanych procesów
- opracowanie matematycznych modeli statystycznych (doświadczalnych) między innymi w celu weryfikacji modeli dedukcyjnych.

Uzyskane wyniki pozwalają – zdaniem Doktoranta - na :

- racjonalne sterowanie i nadzorowanie procesów SLS/SLM,
- optymalizację procesu SLS/SLM ze względu na przyjęte kryteria tj. minimalny czas procesu wytwarzania, minimalna porowatość i chropowatość powierzchni.

W kolejnym Rozdziale „3” Autor skoncentrował się na ocenie aktualnego stanu badań na podstawie danych literaturowych. W analizie tej koncentruje się na ocenie wpływu:

- właściwości układu laserowego obrabiarki na niedokładności elementu wykonanego metodami SLS/SLM – właściwości te związane są z cechami układu optycznego czy układu mechanicznego, oprogramowaniem komputerowym stosowanym do generowania warstw i ścieżek, zjawiskami związanymi z nagrzewaniem i topieniem proszku, skurczu krzepnącego materiału, oraz przypadkowymi błędami; wynikającymi np. z błędów operatora.
- cech systemów CAD/CAM na jakości procesów transformacji informacji: od pomiaru do danych do sterowania maszyny,
- zjawisk w obszarze obróbki (np. skurczu materiału podczas krzepnięcia) na dokładność wyrobu
- właściwości proszku (wynikających z kształtu i wymiaru ziaren oraz ich rozkładu w złożu) na jakość wyrobu.

W kolejnym Rozdziale „4” Autor analizuje wpływ na dokładność wyrobów takich czynników

- dokładność odwzorowania modelu 3-D przez siatkę trójkątów,
- moc wiązki lasera, prędkość skanowania, odległość między ścieżkami, grubość warstwy. strategia skanowania, itd.
- właściwości proszku (rodzaj materiału, kształt ziaren, rozkład rozmiaru ziaren)
- cechy układu opto - mechanicznego drukarki,
- możliwości oprogramowanie komputerowego,
- błędy operatora.

Z przeprowadzonej analizy literatury wynika, że zagadnienie wpływu warunków procesu na jakość powierzchni wyrobu tj. chropowatość oraz porowatość zostało zbadane i opisane w sposób kompleksowy. Natomiast stosunkowo niewiele prac naukowych poświęcono zagadnieniom związanym z wpływem warunków procesu na dokładność wyrobu. To stwierdzenie jest myślą przewodnią w sformułowaniu (Rozdział „5”:) **Celu i zakresu pracy.**

Do głównych celów naukowych niniejszej rozprawy doktorskiej należy między :

- poznanie wpływu parametrów procesu SLS/SLM na dokładność wyrobów;
- pogłębienie wiedzy dotyczącej zjawisk fizycznych zachodzących podczas dodawania materiału,
- opracowanie modeli matematycznych procesów nagrzewania i topienia proszku oraz krzepnięcia stopionego materiału z uwzględnieniem zjawiska skurczu,
- przeprowadzenie symulacji komputerowej procesu na podstawie opracowanych dedukcyjnych modeli matematycznych;

- oszacowanie na podstawie modeli matematycznych wartości chropowatości powierzchni, odchyłki szerokości ścieżki itp.
- wyznaczenie charakterystyki gęstości materiału wytworzonych próbek w zależności od gęstości energii.
- przeprowadzenie badań doświadczalnych, celem weryfikacji opracowanych modeli matematycznych;
- optymalizacja parametrów procesu, w celu osiągnięcia możliwie najmniejszych odchyłek od wymiarów nominalnych próbki w możliwie najkrótszym czasie przy równoczesnym osiągnięciu gęstości właściwej próbki powyżej 98% gęstości materiału walcowanego.

Realizując cel pracy Autor w Rozdziale „6” opracował: **Modele matematyczne dedukcyjne procesów SLS i SLM oraz zrealizował w oparciu o nie symulację komputerową**; jej wyniki pozwoliły poznać wpływ parametrów procesu na kształt i położenie ścieżki konturowej oraz deformację próbki w wyniku krzepnięcia.

W wyniku symulacji komputerowej między innymi wyznaczono:

- pole temperatury w złożu proszku podczas oddziaływania wiązki laserowej,
- szerokość i głębokość jeziora stopionego materiału,
- minimum gęstości energii ze względu na spójność warstw,
- maksimum energii ze względu na burzliwość przebiegu procesu,
- deformację próbki po zakrzepnięciu.

W kolejnym Rozdziale „7” Autor opisał badania doświadczalne, których celem była weryfikacja wyników otrzymanych na podstawie matematycznych modeli dedukcyjnych. Badania Autor zrealizował kompleksowo zgodnie z zasadami „współczesnej teorii eksperymentu”; np. w badaniach zastosowano plan statyczny zdeterminowany selekcyjny rotacyjno - uniformalny PS/DS-P:λ/. Zasadnicze badania obejmowały wpływ mocy wiązki laserowej, prędkości skanowania, odległości między kolejnymi ścieżkami oraz grubości warstwy proszku na dokładność wymiarową, jakość powierzchni i gęstość wewnętrzną wytworzonych próbek. Opis badań zawiera również charakterystykę metod i technikę pomiarów (np. geometrii próbek, chropowatości powierzchni oraz gęstości i porowatości próbek) oraz charakterystykę wybranej do pomiarów aparatury pomiarowej. Realizacja pomiarów i ich statystyczne opracowanie są poprawne i zgodne z współczesną metodyką i techniką pomiarów. Uzyskane wyniki badań doświadczalnych umożliwiły weryfikację rozważań teoretycznych oraz wyników symulacji komputerowej przeprowadzonej w oparciu o modele dedukcyjne. W oparciu o wyniki badań doświadczalnych z Rozdziału „7” przeprowadzono optymalizację warunków procesu wytwarzania SLS/SLM. Wyniki tej optymalizacji przedstawiono w Rozdziale „8”.

W Rozdziale „9” Autor przedstawił „Wnioski z pracy”. We Wnioskach Autor słusznie stwierdza, że zrealizowano w pełni założone „Cele poznawcze i użytkowe”. A opracowane modele umożliwiły przeprowadzenie optymalizacji badanych procesów oraz określenie dalszych kierunków badań. Modele te opisują między innymi wpływ warunków procesu na

dokładność wymiarową wyrobu, jego strukturę wewnętrzną oraz mikrogeometrię (mikrostrukturę) powierzchni zewnętrznej ukształtowanej w wyniku procesu dodawania materiału. Ze względów poznawczych i utylitarnych wartościowe są między innymi następujące stwierdzenia, że

- uproszczony model dedukcyjny pozwala wyznaczyć przedział wartości parametrów, w którym proces wytwarzania przebiega stabilnie i zapewnia zadowalającą spójność warstw oraz ogranicza burzliwość procesu,
- matematyczny model dedukcyjny procesu oraz wyniki symulacji komputerowej umożliwiają określenie odchyłek od wymiarów nominalnych wyrobu.,
- opracowane w pracy modele matematyczne są przydatne w projektowaniu procesów wytwarzania SLS, SLM do doboru i optymalizacji wartości podstawowych parametrów technologicznych przy kryterium uzyskania minimalnej odchyłki wymiarowej oraz minimalnej chropowatości powierzchni bocznej przy minimalnej energochłonności oraz maksymalnej gęstości właściwej wyrobu.

Według Autora dalsze prace powinny obejmować przede wszystkim badania wpływu wymiaru ziarna proszku, rodzaju materiału proszku oraz wartości parametrów procesu na jakość wyrobu określoną przez: dokładność wymiarowa, właściwości mechaniczne czy wartości parametrów mikrogeometrii powierzchni wyrobu .

Badania tę będą szczególnie istotne dla wyrobów o złożonej geometrii – wynikającej z pochylenia ścian, występowania nawisów czy zarysów krzywoliniowych.

Interesującym podsumowaniem prowadzonych rozważań jest podanie w Rozdziale „10” przykładów wyrobów wykonanych metodami przyrostowymi w Instytucie Lotnictwa.

Powyższa charakterystyka pracy potwierdza moją wysoką jej ocenę zarówno pod względem formalnym, metodycznym jak i merytorycznym. Potwierdza ona również, że Doktorant posiada szeroką wiedzę o badanych procesach i metodyce rozwiązywania problemów badawczych oraz o prowadzeniu badań doświadczalnych i pomiarów ukierunkowanych na zastosowania praktyczne.

## **2. OCENA PRACY**

### **2.1 Ocena wyboru tematu**

Metody wytwarzania przyrostowego rozwijają się bardzo dynamicznie od lat 70-dziesiątych 20-tego wieku. Najpierw były stosowane do wytwarzania prototypów wizualizujących wyrób. Następnie zostały zastosowane do wytwarzania narzędzi a w ostatnich latach w coraz większym zakresie stosuje się je w procesach produkcyjnych wytwarzania pełnowartościowych wyrobów. Szczególny obszar zastosowania to produkcja jednostkowa (implanty, części do samochodów formuły 1 itp.). W zasadzie jedynymi barierami szerszego zastosowania ich w produkcji przemysłowej są jakość wyrobu, czas wykonania oraz wynikające stąd koszty. Właściwości użytkowe i estetyka wyrobów wykonanych metodami przyrostowymi zależą istotnie od struktury wewnętrznej wyrobu oraz właściwości warstwy wierzchniej. Te z kolei zależą od rodzaju materiału oraz sposobu (strategii) budowania elementu metodą przyrostową oraz zjawisk występujących w obszarze obróbki (spiekanie, stapianie, sklejanie, uplastycznianie, fotopolimeryzacja). Szeroko rozumiana jakość i

własności użytkowe wyrobu w wytwarzaniu przyrostowym zależą istotnie od wyżej wymienionych czynników, które należy powiązać z dokładnością kształtowo - wymiarową, strukturą geometryczną powierzchni, strukturą wewnętrzną wyrobu, wytrzymałością, czasem wytwarzania, kosztami czyli wskaźnikami techniczno-ekonomicznymi wytwarzania wyrobu. Autor koncentruje się w swojej pracy na kompleksowej analizie literaturowej stanu badań procesów SLS, SLM, modelowaniu dedukcyjnym i symulacji komputerowej zjawisk występujących w obszarze dodawania materiału, modelowaniu statystycznym opartym na badaniach doświadczalnych (matematyczny model statystyczny) i optymalizacji szeroko już stosowanego procesu selektywnego spiekania i stapiania laserowego proszków przy kryterium maksymalnej jakości wyrobu (dokładność wymiarowo-kształtowa, struktura geometryczna powierzchni, struktura i właściwości wewnętrzne wyrobu). Zagadnienia te są niezwykle ważne a nie zostały jeszcze wystarczająco poznane .

**Dlatego stwierdzam, że tematyka opiniowanej rozprawy dotyczy jeszcze nie zbadanych i rozwiązanych ostatecznie problemów wytwarzania i optymalizacji procesów SLS/SLM a jej wybór uważam za słuszny zarówno ze względów poznawczych jak i użytecznych. Pragnę również podkreślić, że tematyka rozprawy mieści się w dyscyplinie „budowa i eksploatacja maszyn” obecnie „inżynieria mechaniczna”.**

## **2.2. Ocena metodyki realizacji pracy.**

Podstawowym etapem planowania i realizacji prac badawczych obejmujących modelowanie zjawisk występujących w procesach kształtowania wyrobów (usuwanie nadmiaru, dodawanie materiału czy zmiana kształtu), projektowanie urządzeń umożliwiających realizację procesów wytwarzania, projektowanie procesów produkcyjnych jest ocena poziomu rozwoju (stanu poznania) badanego procesu, poziomu rozwiązań konstrukcyjnych czy technologicznych czyli ocena stanu wiedzy w obszarze podejmowanych badań.

Pragnę podkreślić, że Doktorant bardzo dobrze przeprowadził analizę literaturową stanu badań w zakresie podejmowanych badań podstawowych, technologicznych czy konstrukcyjnych. Ten fakt zagwarantował mu osiągnięcie sukcesu polegającego na tym, że w pracy zajmował tylko badaniem jeszcze nie zbadanych czy nie poznanych wystarczająco zjawisk towarzyszących procesom kształtowania przyrostowego SLS/SLM.

Zasadę wnikliwego poznania i oceny stanu badań Autor stosował konsekwentnie w opracowaniu modeli dedukcyjnych, prowadzonych w oparciu o nie komputerowych badań symulacyjnych czy badań doświadczalnych, na podstawie których opracowano matematyczne modele statystyczne a następnie przeprowadzono optymalizację. Innymi słowy ogólną metodyką realizacji pracy oraz metodyką rozwiązywania zagadnień szczegółowych (np. opracowanie modelu dedukcyjnego czy modelu statystycznego procesu) jest poprawna, co świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu Doktoranta do realizacji prac badawczych.

## **2.3. Ocena merytoryczna**

Celem podstawowym opiniowanej rozprawy było między innymi:

- opracowanie modelu dedukcyjnego i przeprowadzeniu z jego wykorzystaniem komputerowych badań symulacyjnych,
- opracowanie doświadczalnego modelu statystycznego i wykorzystanie go do weryfikacji matematycznego modelu dedukcyjnego oraz wyników symulacji komputerowej,

- wyznaczenie podstawowych charakterystyk procesu SLS/SLM opisujących relacje pomiędzy wydajnością, chropowatością, porowatością, wytrzymałością, jakością warstwy wierzchniej a parametrami procesu,
- wyznaczenie zależności pomiędzy parametrami technologicznymi procesu (moc, prędkość prowadzenia wiązki, czasu naświetlania warstwy) a czasem wymaganym do przetopienia warstwy proszku;

Doktorant zrealizował ten cel a przy tym wykazał się: szeroką wiedzą (wykorzystał ją racjonalnie do analizy zjawisk i opracowania matematycznego modelu dedukcyjnego procesu) i umiejętnościami posługiwania się zarówno nowoczesną aparaturą jak i nowoczesnymi metodami badawczymi, między innymi: wykorzystaniem matematycznych zasad planowania eksperymentu i statystycznego opracowania uzyskanych wyników. Znaczącym osiągnięciem Autora jest również to, że wyniki jego badań doświadczalnych mogą być efektywnie wykorzystane w praktyce do projektowania optymalnych procesów technologicznych SLS/SLM ukierunkowanych na uzyskanie założonych a priori właściwości wyrobów o złożonej geometrii.

Autor w swoich rozważaniach wykazał, że zastosowana przez niego metodologia postępowania przy analizie danych literaturowych, modelowaniu matematycznym, badaniach doświadczalnych, opracowaniu i analizie uzyskanych wyników w badaniach procesu SLS/SLM jest poprawna. Do najważniejszych osiągnięć **Doktoranta**, które stanowią oryginalny wkład w rozwój procesów wytwarzania przyrostowego zaliczam .

1. Przeprowadzenie wnikliwej analizy stanu badań procesów SLM/SLS uwzględniającej podstawy fizyczne badanych zjawisk, modelowanie matematyczne, badania doświadczalne i praktyczne zastosowania.
2. Opracowanie modelu dedukcyjnego procesu SLS/SLM opisującego zależność pomiędzy podstawowymi parametrami wejściowymi i wyjściowymi i przeprowadzoną w oparciu ten model symulację komputerową badanego procesu.
3. Zbudowanie stanowiska do badań, zaplanowanie i zrealizowanie tych badań zgodnie z współczesną teorią eksperymentu oraz zastosowanie poprawnych metod pomiarowych i nowoczesnej aparatury pomiarowej.
4. Opracowanie podstaw teoretyczno-doświadczalnych procesu SLS/SLM, zbudowanie bazy danych doświadczalnych przydatnej do projektowania i optymalizacji procesów technologicznych stosowanych również w przemyśle lotniczym.

Uwzględniając powyższe uwagi stwierdzam, że praca została przygotowana kompleksowo i na bardzo dobrym poziomie merytorycznym i zawiera wiele elementów nowości i oryginalności oraz informacji usprawniających projektowanie i optymalizację procesów technologicznych SLS/SLM. **Pragnę również podkreślić, że w realizacji pracy Autor wykazał się szeroką interdyscyplinarną wiedzą oraz umiejętnością wnikliwej i krytycznej oceny uzyskanych wyników.**

## 2.4. Ocena formalnej strony rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa, obejmuje 178 stron a w rozważaniach uwzględniono 157 pozycji literaturowych. Praca składa się z 10 rozdziałów o istotnie różnej tematyce i objętości. Stosowane przez Autora definicje, nazwy i określenia są generalnie poprawne, a **tytuł rozprawy odpowiada jej treści**. Materiał ilustracyjny jest odpowiedni i charakteryzuje się bardzo dobrym poziomem graficznym. Sporadycznie występują drobne niedociągnięcia; np. mało czytelne opisy rysunków. Zdarzają się również drobne potknięcia językowe i stylistyczne. Uwagi dotyczące strony formalnej pracy nie obniżają jej dużej wartości merytorycznej.

## 3. UWAGI

Generalnie praca jest przygotowana poprawnie pod względem metodycznym i na bardzo dobrym poziomie merytorycznym i edytorskim. Zaprezentowane w pracy wyniki rozważań ogólnych, metodyka badań, metodyka pomiarów metrologicznych, wyniki badań ich opracowanie oraz ich analiza w pełni spełniają wymagania stawiane pracom doktorskim. Dlatego nie zgłaszam istotnych krytycznych uwag merytorycznych. Natomiast zalecam ewentualne uwzględnienie poniższych uwag w przyszłych pracach badawczych dotyczących wytwarzania przyrostowego.

Ewentualne udoskonalenie i rozszerzenie wyników analizy przedstawionego w pracy stanu badań byłoby możliwe przez uwzględnienie wyników badań z zakresu BIONIKI, uważanej przez nieliczną grupę inżynierów, obok wytwarzania przyrostowego, za jeden z FILARÓW koncepcji INDUSTRY 4.0. Być może wpłynęłoby to również pozytywnie na rozwiązywanie problemów badawczych oraz na określenie kierunków dalszych prac.

We współczesnym przemyśle niezwykle dynamicznie (~15 – 20 % w skali roku) wzrasta zapotrzebowanie na tzw. Mikro - Elektro – Mechaniczne – Systemy (MEMS-y) oraz Nano – Elektro – Mechaniczne Systemy (NEMS-y). W systemach tych występują człony mechaniczne o wymiarach w przedziale 100 nm - 1.0 mm (MEMS-y) oraz coraz częściej o wymiarach poniżej 100 nm (NEMS-y). Zgodnie z obserwowanymi trendami rozwojowymi do wytwarzania mikro i nano elementów w coraz większym zakresie są stosowane metody wytwarzania przyrostowego. Dlatego wytwarzanie „mikro” i „nano” elementów może być racjonalnym kierunkiem dalszych badań i rozwoju technologii wytwarzania przyrostowego.

## 4. OCENA KOŃCOWA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Przedstawiona rozprawa doktorska należy do bardzo ważnego i wciąż nie w pełni poznanego obszaru badawczego, związanego z wytwarzaniem przyrostowym i wdrażaniem nowych, innowacyjnych osiągnięć innych dziedzin: *(np. wdrożenie inspirowanych biologicznie struktur czy kształtów (Bionika) jest możliwe zwykle tylko dzięki zastosowaniu przyrostowych technologii wytwarzania)*.

Doktorant opanował na wymaganym poziomie merytorycznym metodykę prowadzenia prac teoretycznych, prac doświadczalnych, metody planowania i opracowania wyników badań, metody i technikę pomiarów wielkości fizycznych w aspekcie rozwiązywania złożonych



problemów inżynierskich. Opiniowana rozprawa doktorska, zawiera również istotne elementy nowości a uzyskane wyniki rozszerzają zakres poznania i praktycznych zastosowań procesu SLS/SLM do wytwarzania przyrostowego. Z tego względu wnioskuję o **WYRÓŻNIENIE** opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Uważam również, że Autor realizując badania wykazał się niezbędną interdyscyplinarną wiedzą, umiejętnością analizy i krytycznej oceny uzyskanych wyników, co pozytywnie świadczy o Jego predyspozycjach i przygotowaniu do realizacji prac naukowo - badawczych. W związku z powyższymi stwierdzeniami uważam, że **rozprawa doktorska mgra inż. Tomasza Zakrzewskiego pt.:**

**OPTIMALIZACJA WARUNKÓW PROCESU SLS/SLM W CELU MINIMALIZACJI  
NIEDOKŁADNOŚCI WYROBU**

spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

*Adam Ruszaj*  
Adam Ruszaj