

dr hab. inż. Lucjan ŚNIEŻEK, prof. WAT
ul. Lazurowa 185C m 122
01-476 Warszawa

Warszawa, dn. 04.01.2019 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marka Magniszewskiego
pt. „Analiza wytrzymałości na skręcanie elementów maszyn wytwarzanych przyrostowo
z materiałów polimerowych”

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowiło pismo Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, Pana Profesora Jarosława Sępa, nr RM-530-06-02-2018 z dnia 14 grudnia 2018 r.

1. Wstęp

Zautomatyzowane techniki przyrostowe, często określane jako „druk 3D”, zyskują w ostatnich latach coraz większą popularność z uwagi na szereg korzyści charakterystycznych dla innowacyjnych rozwiązań w zakresie technologii produkcji. Zaliczyć do nich można między innymi: poprawę jakości produktów, poprawę wydajności, optymalizację kosztów produkcji czy możliwość jej indywidualizowania. Nie sposób przecenić również roli technik addytywnych w realizacji idei Przemysłu 4.0. Na implementarność tego sposobu wytwarzania, będącego często elementem prewencyjnej strategii utrzymania ruchu, wpływa między innymi możliwość, a niekiedy jedyna droga, odtworzenia nietypowych części zamiennych, szczególnie w sytuacji, gdy nie są one już dostępne lub czas oczekiwania na części do maszyn wykorzystywanych na linii produkcyjnej jest zbyt długi. Z uwagi na ograniczony dostęp do informacji dotyczących praktycznych efektów wdrażania technik przyrostowych, uzyskane tą drogą gotowe wyroby wymagają weryfikacji ich właściwości użytkowych metodami doświadczalnymi, poprzez przeprowadzanie szeregu badań i testów. W świetle powyższego podjęcie w recenzowanej pracy doktorskiej próby kompleksowego podejścia do zagadnienia właściwości wytrzymałościowych elementów maszyn wytwarzanych przyrostowo z materiałów polimerowych, z uwzględnieniem charakteru obciążeń eksploatacyjnych, uważam za w pełni uzasadnione.

2. Charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Marka Magniszewskiego składa się z 7 rozdziałów oraz spisu literatury zawierającego 167 pozycji prac i 7 norm, na które Autor powołał się w tekście. Praca na 155 stronach, wliczając wykaz literatury

i streszczenia w języku polskim i angielskim, jest bogato ilustrowana rysunkami i fotografiami próbek, stanowisk i aparatury badawczej, badanych elementów modelowych i ich połączeń oraz powierzchni przelomów powstałych po badaniach wytrzymałościowych. Łącznie w notatce zamieszczono 136 rysunków i 15 tabel.

We „*Wstępie*” stanowiącym pierwszy rozdział rozprawy, po krótkim omówieniu istoty technologii przyrostowych i ich rosnącego wykorzystania do wytwarzania wyrobów funkcjonalnych, Autor uzasadnia przyjęte założenia pracy doktorskiej oraz metodykę badań pozwalających na określenie możliwości i zakresu zastosowania technik szybkiego prototypowania w procesie projektowania i wdrażania do produkcji elementów konstrukcji poddanych obciążeniu momentem skręcającym, takich jak: wały, sprzęgła, piasty kół zębatach i innych elementów układów napędowych. Podkreśla jednocześnie znaczenie uwzględnienia podczas tych badań zagadnienia starzenia przetwarzanych kompozytów.

W rozdziale drugim zatytułowanym „*Analiza stanu zagadnienia*” Autor w sposób wyczerpujący charakteryzuje powszechnie znane metody przyrostowe z uwzględnieniem stosowanych materiałów modelowych i procesów ich przetwarzania, w tym metody: fotopolimeryzacji objętościowej, wyłaczania termoplastycznego polimeru, spajania proszku z zastosowaniem wiązki lasera, laminacji arkuszy materiału, łączenia proszku drukowanym klejem i druku płynnym materiałem. Podkreśla jednocześnie znaczenie tych przyrostowych technik wytwarzania, w których jako materiał przetwarzany wykorzystywane są tworzywa polimerowe i ponownie podkreśla zasadność podjęcia tematu związanego z badaniami i analizą wytrzymałościową elementów z tych tworzyw, narażonych na obciążenia momentem skręcającym.

Obszerna, oparta na przeglądzie ponad 160 pozycji literaturowych, analiza zastosowania technologii przyrostowych w budowie maszyn umożliwiła wyodrębnienie kilku głównych obszarów prowadzonych dotychczas badań naukowych z zakresu szybkiego prototypowania. Oprócz osiągnięć w tej materii licznych światowych ośrodków naukowych, Autor wymienia również osiągnięcia ośrodków krajowych, takich jak: Politechnika Świętokrzyska, Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Politechnika Warszawska, Politechnika Wroclawska, Politechnika Rzeszowska czy Wojskowa Akademia Techniczna. W konkluzji tej części pracy pada stwierdzenie, że w dostępnej literaturze dominują opisy procesów projektowania elementów maszyn, takich jak: sprzęgła, koła zębata, wały oraz inne części poddawane obciążeniom skręcającym, jednak nie uwzględniają one specyfiki stosowania technologii przyrostowych. Skłoniło to Doktoranta do kolejnego, usytuowanego tym razem we właściwym miejscu pracy wniosku, że z uwagi na brak danych literaturowych celową jest

analiza starzeniowa wybranych materiałów modelowych wytworzonych różnorodnymi technikami przyrostowymi oraz zbadanie wytrzymałości na skręcanie elementów modelowych wytworzonych w ten sposób, a pracujących w warunkach obciążenia momentem skręcającym.

Wnioski wynikające z dotychczasowych analiz opisanych w rozdziale drugim zostały skutecznie wykorzystane jako bezpośrednia podbudowa do poprawnego sformułowania celu głównego przedłożonej rozprawy, obejmującego opracowanie metodyki dla procesu projektowania i wytwarzania elementów maszyn poddawanych obciążeniom momentem skręcającym. Do elementów tych Autor zaliczył: wały, sprzęgła, piasty kół zębatach oraz inne elementy układów napędowych obciążone momentem skręcającym, które mogą być wytwarzane z zastosowaniem technologii przyrostowych.

Sformułowanie „cel główny” mogłoby wskazywać, że sprecyzowane zostaną również inne cele – np. naukowy czy użytkowy, jednak takich w pracy nie można się doszukać.

Tak sformułowany cel pracy wymagał realizacji szeregu zadań koncentrujących się w głównej mierze na: opracowaniu konstrukcji i budowie stanowiska niezbędnego do przeprowadzenia doświadczalnych badań wytrzymałościowych, zbadania próbek normatywnych z materiałów polimerowych wytwarzanych przyrostowo w zakresie ich wytrzymałości na zginanie i rozciąganie z uwzględnieniem starzenia, opracowania i wykonania próbek do badań na skręcanie z zastosowaniem wybranych struktur wewnętrznych i wybranych materiałów polimerowych wytwarzanych określonymi technikami przyrostowymi, zbadania próbek na skręcanie z zastosowaniem zbudowanego specjalnie stanowiska badawczego, opracowania i analizy wyników badań doświadczalnych oraz implementacji efektów tych prac do zaproponowanej w następnym etapie pracy metodyki projektowania i wytwarzania elementów maszyn obciążanych skrętnie za pomocą wybranych metod wytwarzania przyrostowego z materiałów polimerowych.

Rozdział trzeci, zatytułowany „Część doświadczalna” poświęcono opisowi przedmiotu badań w postaci próbek płaskich do badań mechanicznych i pełzania oraz próbek okrągłych do badań wytrzymałości na skręcanie, wytworzonych przyrostowo z tworzyw polimerowych w postaci filamentu firmy Barrus Filaments (PLA, PETG, ABS, PA6 i HIPS) i firmy Stratasys (ULEM9085, PA12, PA12CF i PC), sproszkowanego PA 2200 firmy EOS GmbH, żywicy FullCure RGD720 firmy Stratasys oraz polimeru EC 1000 firmy Evisontek.

Zasadniczą część badań mechanicznych przeprowadzono na próbkach płaskich wytworzonych, w zależności od rodzaju materiału polimerowego, za pomocą technik: FFF (Fused Filament Fabrication), FDM (Fused Deposition Modelling), SLS (Selective Laser

Sintering), PolyJet oraz DLP (Digital Light Processing). Jako referencyjne potraktowano próbki płaskie wykonane z termoplastycznych materiałów polimerowych, wykonane z wykorzystaniem wtryskarki HAAKE MiniJet II.

W rozdziale trzecim opisano również wykorzystywane stanowiska badawcze i zastosowane metodyki badań. Przyjęty, szeroki zakres badań obejmował: wyznaczenie masowego wskaźnika płynięcia (MFR) badanych materiałów polimerowych w postaci filiera oraz wyznaczenie dla rozważnych materiałów polimerowych: temperatury mięknięcia według Vicat'a, właściwości mechanicznych, właściwości wytrzymałościowych podczas próby statycznego rozciągania, właściwości wytrzymałościowych podczas statycznego zginania, uderności według Charpy'ego oraz twardości według Rockwella.

Próbki okrągłe do badań na skręcanie wykonano z wykorzystaniem tych samych technik, co w przypadku próbek płaskich. Na podkreślenie zasługuje fakt samodzielnego opracowania i realizacji przez Doktoranta konstrukcji bardzo funkcjonalnego stanowiska umożliwiającego badania na skręcanie wytworzonych próbek okrągłych i opisanych w dalszej części pracy modeli: sprzęgła tulejowego i połączenia wielowypustowego. Należy się domyślać, że inicjatywa opracowania tego typu maszyny wytrzymałościowej była skutkiem braku dostępu do wyspecjalizowanego stanowiska umożliwiającego badania w warunkach obciążenia momentem skręcającym.

W rozdziale czwartym zatytułowanym „*Analiza wyników badań*”, obejmującym około 55% objętości rozprawy, Autor przedstawia wyniki realizowanych badań doświadczalnych i morfologii powierzchni przelomów próbek po badaniach wytrzymałościowych. W tej części pracy wykazano między innymi, że wszystkie zbadane materiały polimerowe charakteryzowały się małym wskaźnikiem płynięcia (MFR), co zmniejsza ich skłonność do zlewania się warstw w procesie przetwarzania. Uzyskane, zbliżone do katalogowych, wartości temperatur mięknięcia wg Vicat'a świadczą dobrze o zoptymalizowanych parametrach przetwórczych. Właściwy dobór parametrów przetwórczych znalazł również odzwierciedlenie w wynikach badań właściwości mechanicznych. Optymalizacja tych parametrów, skutkująca między innymi zwiększeniem grubości warstw, zaowocowała zwiększeniem wytrzymałości na rozciąganie próbek wytwarzanych poprzez druk 3D, osiągając wartość zbliżoną do otrzymanej dla próbek z materiałów polimerowych wytworzonych metodą wtryskową. Taki sam efekt osiągnięto w przypadku próby statycznego zginania. Tym razem pozytywne efekty osiągnięto w wyniku zmiany kierunku narastania warstw. Nieznaczne różnice wartości mierzonych w odniesieniu do materiału referencyjnego stwierdzono również w przypadku wyników pomiarów twardości i uderności.

Zasadniczym obszarem badawczym opisanym w tej części pracy są wyniki badań wytrzymałości na skręcanie próbek z materiałów polimerowych, otrzymanych za pomocą wyszczególnionych wcześniej technik przyrostowych. Badane próbki, oprócz wykorzystanego do ich wytworzenia różnorodnych materiałów i technik, charakteryzowały się również zróżnicowaną orientacją względem platformy roboczej podczas przetwarzania. Analizowano trzy przypadki orientacji próbki względem platformy roboczej: poziomą, pionową i pod kątem 45° względem platformy roboczej. Prezentację przeprowadzonego zakresu badań wytrzymałościowych istotnie utrudniła znacząca liczba zarejestrowanych wyników. Na tym etapie opisu Autor ograniczył się do selektywnej interpretacji zarejestrowanych przebiegów zmian kąta skręcenia w zależności od wartości momentu skręcającego oraz makrofraktograficznej oceny przebiegu pęknięcia próbek. Uogólniając na tym etapie wyniki obserwacji Autor wnioskuje, że wytrzymałość na skręcanie badanych próbek zależy od rodzaju materiału polimerowego, metody wytwarzania, a przede wszystkim od tzw. stopnia wypełnienia warstwy, określanego programowo jako parametr technologiczny procesu przyrostowego.

Wyniki badań pełzania przedstawiono w postaci wykresów przebiegu zmian odkształcenia w funkcji czasu jego trwania, ilustrując to łącznie na szesnastu wykresach (rys. 4.29-4.44), identyfikując cechy przebiegu krzywych $\varepsilon=f(\log t)$, tj.: okres pełzania nieustalonego charakteryzujący się ciągłym zmniejszeniem się prędkości odkształcenia, okres pełzania ustalonego o stałej prędkości odkształcenia oraz okres pełzania przyspieszonego, w którym prędkość odkształcenia wzrasta, co może w krytycznych sytuacjach prowadzić do uszkodzenia elementu. Na podkreślenie zasługuje fakt, że badania pełzania zrealizowano również w warunkach wywołujących przyspieszone starzenie materiału, zgodnie z procedurą przyjętą w p. 3.12 pracy.

Bogaty materiał w postaci fotografii powierzchni przełomów próbek, wykonanych podczas obserwacji z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej i zamieszczonych na rys. 4.46-4.93, posłużył do identyfikacji przebiegu niszczenia struktur wytworzonych w procesie przetwarzania, z uwzględnieniem zmiennych parametrów tego procesu. Zawarte w tej części pracy, miejscami dość śmiało stwierdzenia dotyczące wyników obserwacji i ich interpretacji, których przytoczenie wymagałyby szerszego opisu, z pewnością dają możliwość interesującej polemiki podczas obrony pracy.

Zasadniczą część rozdziału piątego zatytułowanego „Projektowanie i wytwarzanie elementów maszyn z zastosowaniem technologii przyrostowych”, stanowi p. 5.2, w którym Doktorant zaproponował autorską wersję metodyki projektowania elementów maszyn

wytwarzanych przyrostowo. Ta część rozdziału poprzedzona została wprowadzeniem, w którym Autor powołując się na wcześniej opisane wyniki badań wytrzymałościowych podejmuje się zadania wykazania, że techniki przyrostowe można z powodzeniem stosować do wytwarzania elementów maszyn obciążanych momentem skręcającym. Biorąc to pod uwagę, badaniom poddano typowe elementy maszyn, takie jak: sprzęgła tulejowe, połączenia wielowypustowe wałka z piastą koła zębatego oraz z piastą koła pasowego. Pewne wątpliwości budzi jednak usytuowanie prezentacji zarówno modeli badanych elementów, jak i opisu przebiegu badań stanowiskowych i wyników tych badań w postaci wykresów momentu skręcającego od kąta skręcenia w ramach wprowadzenia do rozdziału, a nie w ramach dodatkowo wydzielonego podpunktu.

3. Ocena rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Marka Magniszewskiego jest pracą twórczą, wnoszącą istotny wkład w rozwój dyscypliny nauki *inżynieria mechaniczna*. Ścisłej w obszar dotyczący praktycznych efektów wdrażania zautomatyzowanych technik przyrostowych zyskujących w ostatnim okresie coraz większą popularność z uwagi na szereg korzyści charakterystycznych dla innowacyjnych rozwiązań w zakresie technologii produkcji. Wartością niezaprzeczalną recenzowanej pracy jest realizacja przez Doktoranta badań wytrzymałości na skręcanie elementów modelowych i elementów maszyn wytwarzanych przyrostowo z materiałów polimerowych i propozycja wykorzystania wyników tych badań w procesie projektowania i wytwarzania. Do oryginalnych osiągnięć należy zaliczyć identyfikację wpływu struktury warstwowej obiektu na wytrzymałość na skręcanie i charakterystycznych cech pęknięcia elementów wytwarzanych przyrostowo. Niewątpliwym osiągnięciem Doktoranta jest również zaproponowanie metodyki projektowania elementów maszyn wytworzonych przyrostowo, obejmującej nie tylko ogólne elementy głównych etapów projektowania stosowanych w odniesieniu do budowy maszyn, ale również szczegółowe elementy procesu związane z aplikacją technologii przyrostowych.

Całość pracy pod względem merytorycznym zasługuje na pozytywną ocenę i nie budzi istotnych zastrzeżeń. Krytyczna ocena pracy dotyczy przede wszystkim obszaru badań doświadczalnych i wnioskowania uwzględniającego specyfikę rozpatrywanych technik wytwarzania przyrostowego. Dyskusji oraz dodatkowych wyjaśnień i uszczergóweń wymagają następujące uwagi spisane w kolejności czytania rozprawy:

- 1) Autor wytwarzał elementy modelowe przeznaczone do badań wytrzymałościowych przy użyciu maszyny Prusa MK3 niewyposażonej w komorę roboczą, co mogło

niekorzystnie wpłynąć na właściwości wytrzymałościowe otrzymanych elementów z uwagi na występowanie skurczu wytwórczego zastosowanych tworzyw: ABS, PC, jak i HIPS.

- 2) W przypadku wybranych elementów maszyn wytwarzanych przyrostowo przeprowadzone zostały między innymi badania sprzęgieł tulejowych i połączeń wielowypustowych. Autor przyjął średnicę zewnętrzną wałka wielowypustu równą średnicy próbek badanych wcześniej na skręcanie, podczas gdy bardziej miarodajne byłyby wyniki badań wielowypustu o średnicy wewnętrznej równej średnicy próbek. Niewątpliwie bardzo interesujące byłyby również wyniki wytrzymałościowych badań porównawczych rozpatrywanych elementów maszyn uwzględniających wpływ procesu starzenia.
- 3) W części pracy dotyczącej badań na skręcanie elementów maszyn Autor odniósł się tylko do opisu elementów wytworzonych z określonych materiałów przy zastosowaniu trzech technik przyrostowych, czyli FFF, SLS i PolyJet. Nie opisano szczegółowych danych dotyczących wytwarzania tych próbek, takich jak choćby grubość warstwy czy stopień jej wypełnienia.
- 4) Wydaje się, że można było pokusić się o bardziej wnikliwą ocenę wyników stanowiskowych badań wytrzymałościowych, wprowadzając choćby graficzną postać prezentacji umożliwiającą analizę porównawczą tych wyników. Warto w tym miejscu nadmienić, że niezwykle interesującym, z praktycznego punktu widzenia, byłoby również przeprowadzenie badań wytrzymałościowych w warunkach obciążeń zmiennych.
- 5) Problematyczną jest przedstawiona w pracy ocena charakteru przełomów przedstawianych jako „plastyczno-kruche” jedynie na podstawie analizy makroskopowej. Zarazem używanie pojęcia „*skręcanie materiału o cechach plastyczno-kruchych...*” (str. 82) wydaje się być sformułowaniem wymagającym dodatkowego wyjaśnienia jego znaczenia.
- 6) Przedstawiona w części końcowej pracy metodyka projektowania elementów maszyn wytworzonych przyrostowo ma postać ogólną i jest przedstawiona jako lista następujących po sobie procesów. Przedstawienie tej metodyki w postaci schematu blokowego z opcjami pętli weryfikacyjnych pozwoliłoby w sposób bardziej czytelny odnieść się do procesu projektowania. W metodyce tej brak jest również wskazówek szczegółowych, dotyczących projektowania elementów maszyn wytwarzanych przyrostowo.

- 7) W punkcie trzecim zaproponowanej metodyki projektowania elementów maszyn, szczególnie tych poddawanych obciążeniom momentem skręcającym oraz obciążeniom złożonym (tu zachodzi pytanie o podstawę rozszerzenia wnioskovania na obszar obciążeń złożonych), nazwanym „Wybór przyrostowej technologii”, w pierwszym kroku Doktorant przewidział „analizę celowości zastosowania przyrostowej technologii”, co może być działaniem podważającym sens realizacji przedstawionej metodyki.
- 8) Autor sformułował w pracy szereg wniosków o charakterze ogólnym i szczegółowym, które wynikają z przeprowadzonych badań. Wnioski te odnoszą się do założonego programu badań, jednak w niektórych momentach można odnieść wrażenie, że mają charakter chaotyczny. Sformułowane na zakończenie rozprawy wnioski powinny nieść praktyczną przesłankę, która była zawarta w uzyskanych wcześniej wynikach, i nie zawierać niejednoznacznych, wymagających uściślenia informacji w brzmieniu: „*Przyrostowy proces wytwarzania ma istotny wpływ na wytrzymałość elementów poddawanych obciążeniom statycznym*” (wniosek nr 1 na str. 139).

Poddając ocenie przedstawioną do recenzji pracę uwzględniono fakt, że Doktorant skupił się na badaniach próbek i części maszyn w kontekście ich wytwarzania w procesach przyrostowych. Biorąc pod uwagę innowacyjność tego zagadnienia można przypuszczać, że opracowanie szczegółowych wytycznych do projektowania elementów maszyn wytwarzanych przyrostowo będzie przedmiotem dalszych dociekań Autora.

Pewne uwagi mogą również budzić kwestie o mniejszym znaczeniu, natury edytorskiej i terminologicznej, w tym między innymi:

- 1) We wstępie Autor najpierw definiuje techniki rapid prototyping (RP), a dopiero później additive manufacturing (AM). Uważam, że wskazany byłoby stosować opis "od ogółu do szczegółu", a więc najpierw opisać czym jest wytwarzanie przyrostowe, a dopiero później zagadnienie szybkiego prototypowania.
- 2) Sformułowanie "...silniczków elektrycznych..." użyte na str. 12⁹ mogłoby być zastąpione przez określenie "...silników krokowych..." lub "...silników prądu stałego...". Na tej samej stronie, w wersji dziesiątym, sformułowanie "...tacki pomodelowej..." należałoby zastąpić określeniem "...platformy roboczej...".
- 3) Na str. 13⁵ Autor używa określenia: „*Selektywne łączenie proszków z różnych materiałów (metali lub tworzyw sztucznych) jest realizowane poprzez ich*

nadtapianie....". Właściwym byłoby użycie określenia „...przetapianie...” lub „stapianie”.

- 4) Tytuł podpunktu 2.1.5. *"Metoda łączenia proszku drukowanym klejem"* można było zastąpić np. *"Metoda spajania cząstek proszków z wykorzystaniem klejów (lepiszczy)"*
- 5) W punkcie 4.5, na str. 85³, Autor odsyła czytelnika do podrozdziału 2.10, którego w pracy nie ma.
- 6) Uważnej analizie wymagają fotografie na rys. 4.9 i 4.10, ponieważ podczas obserwacji włókien materiału na przedstawionych złomach próbek Recenzent nie dostrzegł zauważalnych różnic w ich układzie. Możliwe, że Autor omyłkowo zamieścił fotografię na rys. 4.10. Pozostała część dokumentacji fotograficznej nie budzi zastrzeżeń.
- 7) We wniosku nr 11 zamieszczonym na stronie 141 Autor używa sformułowania „...zjawisko ukręcenia próbki” wywodzącego się z języka potocznego.

W trakcie czytania pracy zauważono również nieliczne błędy w tekście, które przekazano bezpośrednio Autorowi do wykorzystania podczas przygotowywania publikacji.

Przytoczone uwagi nie wpływają na ogólnie dobrą ocenę poziomu recenzowanej rozprawy, zawierającej szereg wartościowych wyników i analiz. Autor wykazał się dużym opanowaniem występujących w pracy zagadnień teoretycznych i metodyk badawczych. Na szczególne uznanie zasługuje między innymi zbudowanie przez Autora, w oparciu o wymagania normatywne, dedykowanego stanowiska do badań na skręcanie elementów modelowych i obiektów rzeczywistych w postaci sprzęgieł, wałów i połączeń wielowypustowych wytworzonych przyrostowo z polimerów.

W przypadku prowadzenia badań, które zostały realizowane w tym zakresie jako pionierskie w skali krajowej i międzynarodowej, przyjęty program badań może być oczywiście przedmiotem bieżącej polemiki i tematem dociekań Doktoranta w dalszym etapie jego rozwoju. Wskazanim byłoby kontynuowanie podjętej tematyki i realizacja szerzej zakrojonych badań umożliwiających jednoznaczne wnioskowanie w zakresie implementacji ich wyników do procesu projektowania elementów maszyn wytwarzanych przyrostowo oraz połączeń tych elementów.

4. Wniosek końcowy

Z przedstawionej wyżej oceny rozprawy wynika, że mgr inż. Marek Magniszewski zrealizował trudne badania na wysokim poziomie, posiada umiejętność zaprojektowania

złożonych zadań naukowych i ich realizacji nowoczesnymi metodami, opracowania wyników oraz przeprowadzenia analizy skomplikowanych zjawisk i właściwego sformułowania wniosków.

Treść rozprawy stanowi zamkniętą całość. Napisana jest poprawnym językiem technicznym i posiada starannie opracowaną szatę graficzną oraz stojącą na wysokim poziomie dokumentację z badań własnych.

Biorąc pod uwagę oryginalność podjętego tematu, sposób jego rozwiązania oraz uzyskane rezultaty stwierdzam, że recenzowana praca doktorska Pana Marka Magniszewskiego spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim na stopień doktora nauk technicznych określonym w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki z dnia 14.03.2003r (Dz. U. nr 65 poz. 595 ze zmianami w Dz.U z 2005r nr 164, poz.1365) oraz Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 września 2011r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U.nr 204, poz1200 z 2011roku) i w pełni zasługuje na dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Marka Magniszewskiego do publicznej obrony pracy doktorskiej przed Radą Naukową Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.

