

Dęblin 09.09.2021

Prof.dr hab. inż. Jerzy Bajkowski
Lotnicza Akademia Wojskowa
08-521 Dęblin
Ul. Dywizjonu 303 Nr 35

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Artura Prusinowskiego

p.t.

Formowanie kompozytów włóknistych z zastosowaniem techniki osadzania topionego materiału

Opracowana na zlecenie
Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej
„Inżynieria Mechaniczna” Politechniki Białostockiej
Prof. dr. hab. inż. Romualda Mosdorfa

1. Uwagi dotyczące genezy i tematu rozprawy, sformułowanego celu i tezy oraz zakresu pracy

Przedmiotem pracy są naukowe i aplikacyjne zagadnienia obejmujące proces szeroko rozumianego formowania polimerowych kompozytów ze wzmocnieniem w postaci włókien węglowych.

Naturalną kolejną rozwoju nauki i techniki jest ciągła dążność do poszukiwania nowych materiałów, nowych metod i technologii ich kompozycji i konstrukcji. Wraz z rozwojem tej części problemów, które przypisywane są głównie inżynierii materiałowej niemniej ważnym fragmentem takich działań są zagadnienia związane z technologią procesów ich wytwarzania, a także wykorzystywania w najnowszych metodach produkcji gotowych elementów konstrukcyjnych maszyn i urządzeń, jakimi są m.in. technologie przyrostowe.

Temat opiniowanej pracy doskonale wpisuje się nie tylko w aktualny trend poszukiwań naukowych, które dotyczą badań podstawowych materiałów konstrukcyjnych otrzymywanych wspomnianymi metodami, ale dodatkowo dotyczy bardzo ważnych zagadnień, które nie są do przecenienia w działaniach inżynierskich i to nie tylko dotyczących branży mechanicznej. Mimo że Autor koncentruje się na prezentacji dokonań badawczych, które odnoszą się do jednej

grupy materiałów, to zaprezentowane rezultaty przeprowadzonych badań stanowią zasób ważnych, potwierdzonych badaniami, danych, które mogą być z powodzeniem wykorzystane w badaniach obejmujących także inne grupy materiałów, które stosowane są do wytwarzania gotowych elementów podobnymi technologiami.

Cel pracy został sformułowany dwuczęściowo. Obejmuje zarówno cel naukowy jak i użytkowy. Prezentując cel pracy Doktorant wydzielił zasadniczą część rozprawy, jaką jest opracowanie szeroko rozumianej i wszechstronnie udokumentowanej metodyki formowania tytułowych kompozytów oraz część inżynierską, którą stanowi autorska konstrukcja głowicy wytłaczającej pozwalająca uzyskiwanie kompozytów o zamierzonej konstrukcji.

W pierwszej części sformułowanego celu pracy, jaką jest „*Opracowanie metodyki formowania polimerowych kompozytów itd...*” Autor nie podkreślił w sposób wyraźny, iż główną jej część stanowią badania podstawowe, które dotyczyły m. in. : określenia przepływu tworzywa termoplastycznego i włókien węglowych w głowicy drukującej przy różnych wydatkach masowych i objętościowych materiałów, efektywnej i optymalnej zawartości wzmocnień w kompozytach formowanych metodą FDM wraz z określeniem wpływu parametrów geometrycznych ścieżki tworzonego kompozytu na współczynnik jego wzmocnienia oraz obszernych badań wytrzymałościowych i tribologicznych.

Określenie inżynierskiego celu pracy jakim była konstrukcja i wykonanie opatentowanej głowicy zapewniającej możliwość wytworzenia kompozytów o żądanej strukturze jest jednoznaczne i precyzyjne.

Zaprezentowane sformułowanie tezy pracy ma charakter ogólny. W świetle osiągniętych rezultatów badań jakie Doktorant zaprezentował w dysertacji jej treść powinna być doprecyzowana o wskazanie, iż chodzi o skonstruowaną głowicę autorską. W przeciwnym razie treść tezy staje się prawdziwa i oczywista w większości przypadków podobnych prac.

Bardzo starannie i precyzyjnie został opracowany dziesięciopunktowy zakres pracy, który zagwarantował moim zdaniem pełną realizację założonych jej celów.

2. Struktura i ogólna charakterystyka pracy

Opiniowana praca składa się z sześciu rozdziałów, streszczeń, w języku polskim i angielskim, spisu treści, wykazu ważniejszych oznaczeń oraz spisu literatury. Całość została zaprezentowana na 142. stronach. Wykaz literatury obejmuje 110 pozycji; ich wybór należy uznać za pełny i dobrze dobrany. Do układu edytorskiego pracy mam jednak kilka uwag szczegółowych, które dotyczą m. in. zaproponowanego podziału treści pracy.

Na początku pracy zamieszczone zostały dwustronicowe streszczenia w języku polskim i angielskim, a po nich spis treści oraz wykaz ważniejszych oznaczeń jakie były używane w pracy.

W czterostronicowym wstępie do pracy Autor wskazuje na ważną rolę jaką aktualnie odgrywają, w wysoko zaawansowanych wytworach technicznych, w tym wydawałoby się reprezentujące tak odległe od siebie branże, produkty należące do przemysłu spożywczego, reprezentujące szeroko rozumianą technikę wojskową, w tym lotniczą i kosmiczną, medycynę, motoryzację i inne, polimery i kompozyty polimerowe. Szczególną ich zaletą są unikalne właściwości wytrzymałościowe, odporność na korozję, mała przewodność elektryczna, mały ciężar, a przede wszystkim łatwość produkcji finalnych wyrobów dzięki możliwości stosowania przyrostowych technologii ich wytwarzania.

Pierwszy, 33-stronicowy rozdział rozprawy w całości został poświęcony przeglądowi bibliografii związanej z tematem pracy. Obejmuje on 110 najnowszych pozycji literaturowych. Wśród nich jest tylko sześć pozycji z ostatniej dekady 20 wieku, 12 prac z pierwszej dekady wieku 21., a pozostałe, to publikacje i opracowania najnowsze. Wszystkie pozycje znajdujące się w spisie literatury są w pracy cytowane; 24 kilkakrotnie.

Dwa kolejne rozdziały, tzn. drugi i trzeci poświęcone zostały sformułowaniu celów pracy i jej tezy (r.3.) oraz szczegółowej prezentacji zakresu pracy. Materiał dotyczący zakresu pracy przedstawiono w dziesięciu punktach z których każdy został krótko omówiony.

Z naukowego punktu widzenia materiał zaprezentowany w czwartym i piątym rozdziale dysertacji jest najważniejszy.

W pierwszym podrozdziale rozdziału czwartego, w syntetyczny sposób Autor przedstawił wymagania technologiczne, materiałowe i konstrukcyjne niezbędne do realizacji głowicy gwarantującej formowanie kompozytów przy wykorzystaniu technologii wytwarzania i materiałów ujętych w tytule dysertacji. W podrozdziale drugim przedstawiona została metoda formowania kompozytu włóknistego z symetrycznym podawaniem materiału matrycowego. Obok opisu procesu technologicznego zostały sformułowane zagadnienia poznawcze dotyczące przepływu materiału w głowicy. Zaproponowany został model numeryczny dwuwarstwowego przepływu materiałów, który umożliwił symulację procesu oraz pełną prezentację jej wyników. Przeprowadzona została również analiza procesu wytłaczania materiału matrycowego w dyszy. Jej szczegółowe rezultaty zostały zaprezentowane w podrozdziale 4.2.3. W kolejnych dwóch podrozdziałach (4.3 i 4.4) rozdziału 4. został zamieszczony materiał dotyczący zawartości włókien w elementach wykonanych z kompozytów włóknistych (podr. 4.3), a dotyczący wpływu zmiennych procesowych na parametry geometryczne, w podrozdziale 4.4. Treść podrozdziału 4.5, który jest ostatnim rozdziałem rozdziału 4, to krótkie podsumowanie i perspektywa zastosowań przemysłowych omówionej technologii wytwarzania elementów.

W piątym rozdziale pracy zgromadzony został materiał dotyczący dwóch rodzajów badań eksperymentalnych omawianych kompozytów włóknistych.

Przebieg i rezultaty badań wytrzymałościowych zostały opisane w rozwiniętym podrozdziale 5.1. Treścią podrozdziału 5.2 jest prezentacja realizacji, wyników i analiza szeroko zakrojonych badań tribologicznych omawianych materiałów. W kolejnych częściach podrozdziałów szczegółowo omówiono warunki jakie spełnia obiekt badawczy, zaprezentowano program badań, stanowisko i próbki badawcze oraz szeroką analizę rezultatów badań tribologicznych. Materiał dotyczący prognozowania właściwości tribologicznych omawianych kompozytów jest częścią (podr. 5.2.6) rozdziału 5. pracy.

Szósty rozdział dysertacji to jej podsumowanie i wnioski. Materiał w nim zawarty został zaprezentowany w dwunastu punktach z których każdy został szeroko omówiony.

3. Ocena i uwagi merytoryczne dotyczące rozprawy

Zaproponowany temat rozprawy jest aktualny i ważny zarówno z punktu widzenia naukowego jak i inżynierskiego. Wpisuje się bardzo dobrze w trend prac badaczy i naukowców stawiających za cel swojej działalności poszukiwanie nowych materiałów, technologii i metod produkcji elementów maszyn i urządzeń, a także nowych modeli odwzorowujących charakterystyki materiałów oraz procesów i technologii umożliwiających ich opis matematyczny.

Materiał zamieszczony we wstępie do pracy, w zwartej i syntetycznej formie prezentuje wszystkie zasadnicze poruszane w pracy zagadnienia w postaci przystępnej nawet czytelnikowi nie mającemu wiele styczności z omawianą tematyką pracy. Mimo że wszystkie przywoływane opisy i stwierdzenia są oparte na pracach naukowych, Autor potrafił zachować lekki styl narracji, nie rezygnując z rzetelności w prezentacji wszystkich zagadnień, które są przedmiotem dysertacji.

Treść pierwszego rozdziału dysertacji stanowi obszerny przegląd prac naukowych i badawczych, które w szerokim tego słowa znaczeniu dotyczą jej tematu. Zaprezentowany przegląd obejmuje zarówno ogólną charakterystykę polimerów ze szczególnym uwzględnieniem osnowy oraz materiałów wzmacniających jakie mogą być wykorzystywane w technikach wytwarzania przyrostowego, jak również opis metod i technik druku przestrzennego stosowanych w formowaniu kompozytów polimerowych ze wzmocnieniem włóknami.

Należy podkreślić, o czym wspomniałem już wcześniej w drugiej części opinii przytaczając statystyczne zestawienie omawianych pozycji literaturowych, iż wszystkie omawiane prace na których opierał się Doktorant i jakie znalazły się w spisie literatury, są opracowaniami najnowszymi, zostały starannie

wyselekcjonowane i bezpośrednio są związane z tematyką dysertacji. Dokonany przegląd bibliografii oceniam wysoko, podobnie jak poczynione przez Doktoranta ważne spostrzeżenia i wnioski opracowane na podstawie dokonanego przeglądu i przydatne w dalszej realizacji pracy.

Swoją opinię dotyczącą drugiego i trzeciego rozdziału pracy, które zostały zatytułowane odpowiednio: „*Cel i teza rozprawy doktorskiej*” oraz „*Zakres pracy*” wyraziłem w drugiej części recenzji. Do tego tematu powrócę jednak jeszcze w dalszej części opinii.

Ocena materiału jaki został zaprezentowany w czwartym rozdziale pracy zostanie dokonana dwutorowo. Nakładają się tu bowiem działania naukowe i inżynierskie Doktoranta.

W tym przypadku działania inżynierskie, w szczególności konstrukcyjne i technologiczne oraz wykonawcze, były niezbędne do realizacji urządzenia pozwalającego na proces formowania tytułowej grupy kompozytów i polegały na zbudowaniu odpowiedniej głowicy wytłaczającej. Każdy, kto w swojej działalności badawczej spotyka się z koniecznością realizacji konkretnego i złożonego zadania inżynierskiego wie, jak wiele wysiłku intelektualnego i praktycznego wymaga taka realizacja konstrukcji, która dodatkowo musi zostać przetestowana i najczęściej wielokrotnie poprawiona. Dlatego z dużym uznaniem przyjąłem wiadomość o wykonanej głowicy wtłaczającej, która doskonale jak się okazuje zdaje egzamin praktyczny, a niezależnie stanowi nowatorskie opracowanie techniczne wynalazku potwierdzone przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej.

Naukowy wątek tej części pracy dotyczył szczegółowej analizy przepływu tworzywa w kanałach prototypowej głowicy wytłaczającej. W tym celu opracowany został dwufazowy model przepływu. Przyjęto założenie, że stosowany polimer charakteryzowany jest jako faza płynna, a włókna węglowe posiadają cechy ciała stałego. Włókna węglowe zamodelowano jako fazę dyskretną modelu o odpowiednich parametrach. Zapewniło to uzyskanie przepływów zbliżonych do rzeczywistych pozwalając na uwzględnienie deformacji i rotacji fazy stałej. Materiał matrycowy traktowany był jako faza płynna.

Do opisu matematycznego przepływu tak przygotowanego materiału wykorzystano model Bird-Carreau. Został on użyty również do badań symulacyjnych. W pierwszej fazie tych badań wykorzystane zostały parametry materiałów, zamieszczone w pracy [97], które stosowane były w badaniach technologicznie podobnej głowicy.

Przeprowadzone kilkietapowe i wielokrotne symulacje przepływów w przyjętym modelu prototypowej, a następnie modyfikowanej głowicy autorskiej, zostały wykonane z wykorzystaniem programu ANSYS z modułem FLUENT. Umożliwiły one Autorowi szczegółowe określenie przepływów tworzywa

termoplastycznego przy różnych wartościach wydatku objętościowego i masowego użytych materiałów, wartości prędkości przepływu materiału oraz potwierdzenie, iż prędkość przepływu włókien wzmacniających jest tożsama z prędkością materiału matrycowego, a także wyznaczenie rozkładu prędkości przepływu materiału w kanałach doprowadzających materiały i dyszy głowicy.

Kolejne etapy badań symulacyjnych dotyczyły wyznaczenia rozkładu ilościowego materiału wytłaczanego materiału przy zmiennej ilości składnika matrycowego i stałej włókien wzmacniających oraz rozkładu ilościowego wytłaczanego kompozytu wyznaczanego przy stałym wydatku objętościowym materiału matrycowego i zmiennym włókien węglowych, .

Wyznaczone wartości odchylenia standardowego rezultatów obu wariantów badań symulacyjnych z których każdy obejmował kilka cykli pomiarowych wykonanych przy różnych wartościach wydatków tworzywa badań symulacyjnych potwierdziły, iż zmiany wartości wydatku masowego materiału wzmacniającego i objętościowego tworzywa, w badanym zakresie parametrów w istotny sposób nie wpływają zarówno na pracę jak i na rozkład składowych elementów finalnego produktu głowicy.

Przedstawiony bezpośrednio powyżej fragment badań wykonanych przez Doktoranta oceniam pozytywnie. Stały się one podstawą do zaprojektowania uzasadnionych naukowo rozwiązań projektowych, konstrukcyjnych i wykonawczych wspomnianej wcześniej autorskiej głowicy podającej materiał w urządzeniu drukującym.

Kolejne etapy badań naukowo-badawczych obejmowały: analizę wytłaczania materiału w dyszy, oszacowanie efektywnej zawartości włókien w produkcie finalnym oraz określenie wpływu zmiennych, w procesie osadzania topionego materiału na parametry wybranej grupy kompozytów. Ta grupa badań opiera się na wykonanych przez Autora eksperymentach, w których zasadniczym elementem badawczym jest skonstruowana głowica. We wszystkich wymienionych etapach badań rezultaty zrealizowanych eksperymentów laboratoryjnych zostały potwierdzone obliczeniami numerycznymi.

W przypadku badań pierwszego zagadnienia z wymienionej grupy badań, które było w pewnym zakresie testem poprawności pracy skonstruowanej głowicy, przeprowadzone zostały badania mikroskopowe przekrojów finalnych produktów głowicy wytłaczającej. Poddając je dalszej obróbce za pomocą programu MATLAB uzyskano pełną informację dotyczącą poprawności mieszania materiałów składowych zasilających głowicę.

Najważniejszym osiągnięciem w drugim zadaniu w omawianej grupie badań jest propozycja wzoru do oszacowania efektywnej zawartości włókien w elementach kompozytowych uzyskiwanych metodą FDM. Pozwala on uwzględnić różne liczby wzmocnionych ścieżek w pojedynczych warstwach produktu

oraz odchylenie przekroju poprzecznego od założonej płaszczyzny odniesienia i uwzględniając również kierunek ułożenia włókien wzmacniających.

Wyznaczenie wpływu zmiennych procesowych na geometryczne parametry kompozytów oraz udowodnienie możliwości sterowania procesem drukowania, gdy ustalone są parametry szerokości i wysokości pojedynczej ścieżki zostało zaprezentowane jako rezultaty badań trzeciego z zadań omawianej grupy badań. Szczególnie interesujące są rezultaty badań mikroskopowych, które potwierdziły poprawność pracy głowicy objawiającą się m.in. tym, że w strukturze finalnej produktu brak jest luk z powietrzem oraz że rozłożenie włókien w jednej warstwie, jak i pomiędzy warstwami jest równomierne. Na uwagę zasługuje również udowodnienie korelacji jaka ma miejsce pomiędzy rzeczywistą i teoretyczną odległością warstw włókien.

Całość materiału zawartego w czwartym rozdziale dysertacji oceniam wysoko. Realizując konsekwentnie założony zakres i program badawczy pracy Autor poprawnie wykonał badania podstawowe niezbędne do określenia wstępnych parametrów prototypu autorskiej głowicy wytłaczającej, po czym posługując się otrzymanymi rezultatami badań już zrealizowanego prototypu głowicy autorskiej, wszystkie dalsze badania przeprowadził z jej udziałem. Uważam za bardzo ważne, iż w swojej pracy Doktorant ściśle potrafił zrealizować zamierzony cel pracy wiążąc wykonanie projektu inżynierskiego z szerokim zakresem podstawowych badań symulacyjnych.

Odnosząc się do analizowanej części materiału pragnę wskazać na dość swobodne stwierdzenie, jakie zostało sformułowane na stronie 67 pracy, gdzie Autor bez pogłębionego uzasadnienia stwierdza, iż *„Uzyskane wartości odchylenia standardowego są niewielkie, co pozwala uznać te przepływy za podobne”*.

Inne moje pytanie dotyczy przesłanek wyboru do badań symulacyjnych przepływu modelu cieczy opisanej przez Bird-Carreau. Czy oprócz dostępności danych do symulacji, jakie znajdują się w pracy [97] były jakieś inne przyczyny takiego wyboru?. Czy Autor zastanawiał się również nad wyborem do symulacji innego modelu opisującego właściwości cieczy nienewtonowskiej?

Rozdział piąty rozprawy został poświęcony w pełni badaniom wytrzymałościowym i tribologicznym kompozytów wyprodukowanych przy użyciu autorskiej głowicy wytłaczającej.

Głównym celem badań wytrzymałościowych kompozytów charakteryzujących się różną zawartością włókien wzmacniających było wskazanie produktów finalnych o najwyższych wartościach tych parametrów i najbardziej przydatnych w praktyce przemysłowej. Zostały one ograniczone do badań serii próbek polimerowych wykonanych z matrycą polimer ABS (akrylonitrylo-butadieno-

styrenowy) i wzmocnieniem, którym było ciągłe włókno węglowe Torayca®T300-1000 66TEX. Zapewnione zostały wymiary geometryczne próbek zgodne z odpowiednią obowiązującą normą dotyczącą badań wytrzymałościowych tworzyw sztucznych. Realizację badań przeprowadzono wykorzystując maszynę MTS 858 Mini Bionix.

Rezultaty badań poza wyznaczeniem wartości naprężeń rozciągających badanych próbek kompozytów pozwoliły Autorowi potwierdzić obserwację, iż większa liczba włókien wzmacniających wpływa korzystnie na wartości wyznaczanych wartości naprężeń w próbkach kompozytowych, co predestynuje takie materiały do pracy w konstrukcjach mocno obciążanych. Jednocześnie jednak większa liczba wzmocnień w kompozycie znacząco zwiększa jego kruchość, a tym samym staje on materiałem mniej sprężystym.

Kolejną grupą działań Autora były badania tribologiczne wytworzonych kompozytów o właściwościach, które by umożliwiały ich wykorzystanie na elementy konstrukcyjne łożysk lub innych części maszyn i które wymagają materiałów o specjalnych właściwościach wytrzymałościowych i ciernych.

W tej grupie badań wykorzystane zostały próbki w postaci trzpienia, które zostały wytworzone z kompozytu włóknistego ABS/CF wzmocnionego włóknem węglowym Torayen®300 66 TX (9 sztuk) oraz jedna bez dodatkowego napelnacza (próbka wzorcowa). Odpowiednio przygotowane w procesach wstępnego i wykańczającego docierania na stanowisku tribologicznym współpracowały z przeciwpróbką w postaci tarczy wykonanej ze stali 40HM. Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem profesjonalnej, zaawansowanej technicznie, specjalistycznej aparatury.

Rezultaty badań dotyczyły: określenia wpływu temperatury formowania kompozytów na ich właściwości tribologiczne, wyznaczenia parametrów i wpływu wzmocnienia kompozytów na te właściwości, gdy znajdują się one w środowisku suchym lub w wodzie oraz wpływu środowiska pracy na właściwości tribologiczne. W tych grupach badań niezależnie wyznaczano zależność współczynnika tarcia od zawartości włókien wzmacniających oraz intensywność zużycia liniowego i masowego.

Przeprowadzono również ocenę jakościową powierzchni kompozytu wykorzystując do tego aparaturę mikroskopową.

Zarówno rezultaty badań tribologicznych jak i mikroskopowe badania powierzchni zostały zrealizowane w sposób profesjonalny i kompleksowy. Ich rezultaty nie budzą najmniejszych nawet wątpliwości co do prawdziwości rezultatów. Należy jednak dodać, iż ten rodzaj wykonanych badań należy do działań standardowych badaczy zajmujących się tribologią. Niewątpliwie nowością wynikającą z nich jest poznanie parametrów tribologicznych badanego

kompozytu.

Materiał dotyczący badań tribologicznych i mikroskopowych oceniam wysoko ze względu na jego kompleksowość oraz przejrzystą i pełną prezentację rezultatów badań. Na podkreślenie zasługuje również zamieszczona obszerna analiza rezultatów wszystkich części składowych tej grupy badań.

Ostatni szósty rozdział dysertacji, zatytułowany „*Podsumowanie rezultatów badań oraz wnioski*” jest starannym, dwunastopunktowym zestawieniem dokonań Doktoranta jakie przedstawił w pracy. Zarówno Autor jak i opiniodawca są zgodni, że założony cel pracy został osiągnięty, a teza w pełni udowodniona.

Zamieszczony na końcu pracy obszerny zestaw literaturowego stanu wiedzy został wybrany starannie, wszechstronnie i w sposób, który udowadnia dobre rozeznanie merytoryczne Doktoranta zagadnień, które są przedmiotem pracy.

4. Uwagi ogólne i szczegółowe

a) dotyczące całej pracy

1. Odnosząc się do ogólnego układu pracy pragnę przede wszystkim zwrócić uwagę na niejednorodność i niespójność jej składu graficznego:

a) powszechnie stosowaną zasadą wydawniczą jest umieszczenie spisu treści po stronie tytułowej i informacyjnej,

b) obszernie streszczenia pracy umieszczone na jej początku mają zachęcić lub zniechęcić do dalszego jej czytania; można więc je umieścić tak, jak to zrobił Doktorant, a więc na początku pracy chociaż osobiście widziałbym je na końcu i wtedy są ujęte w spisie treści,

c) aktualnie preferowaną formą składu graficznego jest taka, jaką zastosował Doktorant w rozdziałach pierwszym i piątym, tzn.

-po tytule rozdziału oznaczonego np.

1.

należy podać bezpośrednio numer podrozdziału np.

1.1.

nie wpisując pomiędzy tymi oznaczeniami żadnego tekstu (tzw. tekst wiszący); w rozdziale czwartym Autor odstąpił od tej zasady.

d) oczywiście przy braku podziału tekstu na podrozdziały (np. rozdziały drugi, trzeci i szósty) tekst jest umieszczany tak jak zrobił to Autor,

2. Pozostając przy analizie szaty graficznej pragnę zwrócić uwagę na bardzo zróżnicowaną objętość wybranych rozdziałów pracy. Szczególną objętością wyróżniają się tu 34. stronicowy rozdział pierwszy, jednostronicowy rozdział drugi i dwustronicowy rozdział trzeci oraz 30. i 40. stronicowe dwa kolejne rozdziały. Nie widzę głębszego uzasadnienia umieszczenia materiału dotyczącego celu i tezy pracy oraz jej zakresu w dwóch oddzielnych rozdziałach. A przecież tytuł jednego rozdziału, np. „*Geneza, cel i teza oraz zakres pracy*” nie zmienia nic w zawartości materiału. Jednocześnie materiał zawarty w rozdziale piątym z

powodzeniem mógłby być przedstawiony w dwóch oddzielnych rozdziałach z których jeden by dotyczył badań wytrzymałościowych, a drugi badań tribologicznych. Dzięki takiemu podziałowi możliwe by było uniknięcie tytułowania pewnych fragmentów tekstu bez ich cyfrowego oznaczania i wyróżniania tych fragmentów pogrubieniem lub kursywą (np. str.86, 87, 100, 104, 105, 109, 110 i inne).

3. Pozostając przy zaproponowanym w pracy układzie rozdziałów uważam, że Autor z powodzeniem mógł skorzystać z czwartego poziomu numeracji podrozdziałów przez co uniknąłby sytuacji przedstawionej bezpośrednio powyżej.

4. Części maszyn Autor nazywa detalami. Mimo że każdy technik wie dobrze co ten termin oznacza to wydaje mi się, że zgrabniejszą nazwą jest element maszynowy alb część maszynowa.

5. Dobrym zwyczajem w pracach naukowych jest zamieszczenie podziękowań. W ocenianej pracy wyraźnie mi ich zabrakło. Myślę, że stosunki Doktoranta z Promotorem w czasie wykonywania dysertacji podobnie jak i ze współpracującymi Kolegami lub np. Wykonawcami głowicy nie były najgorsze i miło by im było, gdyby takie podziękowania w pracy się znalazły. Prof. Czesław Cempel w swoich opracowaniach dotyczących zasad publikowania rezultatów prac naukowych zamieszczenie krótkich podziękowań uważał za obowiązek.

b) pojedyncze uwagi szczegółowe

str.3, wiersz 4 od dołu (str.3, w. 4 od d.) jest: *synchronizacje* powinno być: synchronizację,

str.10, w. 4 od d. jest: P_y powinno być P_b ,

str.11, w. 3 od d. jest: *brak jednostki* powinno być $Pa \cdot s$,

str.23, w. 6 od góry. jest: *zawiera rysunek 1.6* powinno być: zilustrowano na rysunku 1.6,

str.37, w. 3 od d. jest: *zbadano [34]* powinno być zbadano w pracy [34],

str.41, w. 6 od d. jest: *Metody ta* powinno być: Metoda ta

str.53, w. 2 od g. jest: *Zakres badań będzie obejmował ta* powinno być: Zakres badań obejmuje (lub obejmował),

str.56, w. 6 i 7 od . jest: przeniesiony został tekst do wiersza 7

str.67, w. 14 od d. jest: *14* powinno być: 1.4

str.70, w. 15 od d. jest: *przekroi (dopuszczalne)* lepiej: przekrojów,

str.71, w. 8 od d. jest: *Prognozowane przepływu*, powinno być: prognozowanie przepływu,

str.77, w. 12 od g. jest: *ścieżek poszczególnej* powinno być: ścieżek w poszczególnej,

str.77, w. 13 od d. jest: *współczynnik zawartości* powinno być: współczynnika zawartości,

str.77, w. 5 od d. jest: *założeniu stała ilość* powinno być: założeniu: stała ilość,

str.77, w. 3 od d. jest: *także jednakową* powinno być: także jednakowa,

str.84, w. 1 od d. jest: *precyzyjne*, powinno być: 5.1.2. oraz

str.84, w. 1 od d. jest: *otrzymanych danych* powinno być: otrzymanych rezultatów badań,

str.103, w. 10 od g. jest: *polimer.Biorąc* powinno być: polimer. Biorąc (spacja!)

str.114, w. 18 i 19 od g. jest: *tekst tych wierszy należy połączyć*,

Ponadto:

Str. 69. W dostarczonym egzemplarzu pracy podpisy pod rys. 4.8 i 4.9 są nieczytelne.

Str.78. Na rys.4.14 mało czytelne jest oznaczenie układu kartezjańskiego.

5. Końcowa ocena pracy

Oceniając całość zaprezentowanej rozprawy należy podkreślić istotną wagę poznawczą, badawczą i techniczną, analizowanych w pracy zagadnień mających na celu rozwiązanie zadania naukowego i inżynierskiego. Realizacja kolejnych jej etapów potwierdziła poprawność postępowania zmierzającej do udowodnienia sformułowanej tezy pracy. Na każdym etapie pracy, począwszy od sformułowania jej celu, poprzez bardzo wysoko oceniony przeze mnie, przegląd literaturowy, uzasadnienie doboru szeroko rozumianego obiektu badań, sposób ich realizacji oraz interpretacji wyników, Autor wykazał się doskonałą znajomością wszystkich zagadnień, zarówno z zakresu dyscypliny naukowej, jaką jest Inżynieria Materiałowa, jak również ze specjalności Mechanika oraz Budowa i Eksploatacja Maszyn, które reprezentowane są w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Przyjęty do analizy model przepływu materiałów w głowicy zostały starannie uzasadnione wcześniejszymi badaniami, a jego opis matematyczny, wraz z dokonaną bardzo starannie identyfikacją parametrów dobrze sprawdził się w badaniach symulacyjnych

Biorąc pod uwagę przedstawiony mi do zaopiniowania materiał, oryginalność rozwiązanego w rozprawie, zagadnienia naukowego oraz związanego złożonego zadania inżynierskiego, a tym samym fakt potwierdzenia umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i badawczej uważam, że przedłożona rozprawa może służyć za podstawę do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych. Wobec spełnienia wszystkich wymogów ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U 2018 poz.1668) z 20 lipca 2018 roku, formułuję wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Artura Prusinowskiego do publicznej obrony opiniowanej pracy jako pracy

doktorskiej reprezentującej dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna.

Niniejszą opinię przedkładam Panu prof. dr. hab. inż. Romualdowi Mosdorfowi Przewodniczącemu Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Białostockiej zlecaniodawcy powyższej recenzji.

Biorąc pod uwagę całość przedstawionego mi do zaopiniowania materiału, oryginalność i kompleksowość zaprezentowanych w ocenianej rozprawie metod i rezultatów badań poznawczych oraz ściśle z nimi związanych zagadnień technologicznych, także fakt opracowania i wykonania autorskiej konstrukcji głowicy wyłaczającej, a tym samym fakt potwierdzenia umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i badawczej, udokumentowany także bibliometrycznym zestawieniem dorobku naukowo-badawczego Doktoranta (m. in. 2 prace z listy JCR) uważam, że przedłożona rozprawa doktorska moim zdaniem, przy spełnieniu innych proceduralnych, obowiązujących wymagań, kwalifikuje się do wyróżnienia o co niniejszym również wnioskuję .

