

Recenzja

rozprawy doktorskiej magistra inżyniera **Artura Prusinowskiego**, pt.:
„Formowanie kompozytów włóknistych z zastosowaniem techniki osadzania topionego materiału”

1. Wprowadzenie

Recenzji rozprawy doktorskiej dokonano na podstawie Uchwały Senatu Politechniki Białostockiej nr 116/XII/XVI.2021 z dnia 7 lipca 2021, w oparciu o egzemplarz (monografię) przekazany wraz z pismem przewodnim, z dnia 07.07.2021r., sygnowanym przez Przewodniczącą Rady dyscypliny: Inżynieria mechaniczna, prof. dr hab. inż. Romualda P. Mosdorfa.

Przewód doktorski wszczęty do dnia 30 kwietnia 2019r. Opinię wykonano w oparciu o art.13 ust.1 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz.U. z 2017r. poz. 1789 w związku z art. 179 ust.1 i ust.2 ustawy z dnia 3 lipca 2018r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018r. poz. 1669

2. Charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska pt.: **„Formowanie kompozytów włóknistych z zastosowaniem techniki osadzania topionego materiału”** zawiera 142 strony i składa się z 6 rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, wykazu oznaczeń oraz bibliografii. Spis literatury zawiera 110 pozycji, w tym 3 prace z udziałem autora rozprawy.

Rozprawa jest kompleksowym ujęciem problematyki formowania kompozytów włóknistych w jednej z najnowszych technologii, tj. druku 3D, poprzez osadzanie topionego materiału. Stąd też doktorant realizował podjęty problem naukowy w kolejnych etapach takich jak analiza aktualnych technologii stosowanych w formowaniu kompozytów na bazie polimerów termoplastycznych i sposobów zmiany ich parametrów fizyko-mechanicznych poprzez np. osadzanie włókien węglowych, opracowanie i badania wstępne prototypu nowatorskiej głowicy wytłaczającej, analiza numeryczna MES procesu formowania kompozytu zbrojonego ciągłym

włóknem węglowym z użyciem zaproponowanej głowicy, doświadczalna weryfikacja przyjętych założeń co do optymalnych parametrów procesowych, opracowanie dla celów praktycznych (przemysłowych) wytycznych realizacji procesu formowania kompozytu zbrojonego włóknem węglowym z użyciem zaproponowanej technologii. Uzupełnieniem tych rozważań są badania poświęcone aspektom kształtowania się właściwości tribo-mechanicznych tworzonego kompozytu, zależnie od warunków jego zastosowania (w tym np. pracy środowisku wodnym), co jest istotne dla eksploatacji konstrukcji inżynierskich wytwarzanych w oparciu o badane kompozyty.

2.1. Ocena zasadności wyboru tematu i zakresu pracy

Istniejąca aktualnie wiedza dotycząca aspektów doboru optymalnych parametrów procesów formowania kompozytów polimerowych zbrojonych włóknami (np. węglowymi) poprzez osadzanie materiału z użyciem druku 3D jest jeszcze niewystarczająca, zwłaszcza w przypadku używania szczególnych rozwiązań głowic wytłaczających jak i w aspekcie kształtowania właściwości tribologicznych tych kompozytów.

Stąd też uważam, że podjęta tematyka jest aktualna i ważna dla poznania zjawisk/procesów towarzyszących formowaniu kompozytów włóknistych uzyskiwanych w technologii osadzania topionego materiału metodą druku 3D.

Zakres pracy obejmuje kompletny plan badawczy począwszy od analizy stanu wiedzy, postawienia problemu badawczego, opracowania i wykonania nowatorskiej głowicy do wytłaczania, analizy numerycznej procesu mieszania i wytłaczania materiału w głowicy, opracowaniu modelu empirycznego procesu oraz doświadczalnej weryfikacji wyników badań numerycznych, w tym badań tribologicznych mających na celu określenie optymalnych parametrów procesu wytwarzania z uwagi na intensywność zużycia się kompozytu szczególnie w środowisku wodnym.

Uważam, że zakres pracy jest poprawnie określony dla realizacji podjętych zamierzeń badawczych.

2.2. Ogólna charakterystyka pracy, ocena układu pracy

Praca jest kompletna, jej układ jest poprawny i logiczny, wynika niejako z przyjętego planu prowadzonych badań.

We „Wstępie” Doktorant krótko scharakteryzował aktualne tendencje w formowaniu kompozytów zwracając szczególną uwagę na technologie wytwarzania przyrostowego realizowanego poprzez druk 3D z zastosowaniem osadzania topionego materiału termoplastycznego. W kolejnych wątkach tej części rozprawy, została scharakteryzowana zawartość poszczególnych jej rozdziałów.

Rozdział pierwszy rozprawy to analiza stanu wiedzy. Omówiono podziały i właściwości materiałów polimerowych i kompozytów tworzonych na ich bazie. Zwrócono szczególną uwagę na materiały stosowane w technikach druku przestrzennego w tym kompozyty w osnowie polimerowej w aspekcie najpowszechniej stosowanych technik wytwarzania addytywnego. Omówiono metody implementacji materiałów poprawiających parametry użytkowe polimerów oraz metody formowania kompozytów. Scharakteryzowano problematykę wpływu parametrów procesu osadzania topionego materiału na uzyskiwane parametry mechaniczne w tym wpływ parametrów osnowy i materiału osadzanego na właściwości uzyskiwanych kompozytów. W zakończeniu rozdziału omówiono aspekty kształtowania się właściwości tribologicznych kompozytu w parach tarciovych zawierających termoplastyczne kompozyty włókniste.

Sprawą dyskusyjną jest używanie przez doktoranta terminu „fabrykacja”. Czy nie można użyć typowego zwrotu, np. „wytwarzanie” czy „produkcja”?

Rozdział drugi zawiera cel i tezę pracy.

Jako cel pracy doktorant przyjął (strona 52): „Opracowanie metodyki procesu formowania polimerowych kompozytów ze wzmocnieniem w postaci włókien węglowych o żądanych właściwościach mechanicznych i tribologicznych. Zaprojektowanie konstrukcji głowicy wytłaczającej w technice osadzania topionego materiału pozwalającej na uzyskanie kompozytów włóknistych z ukierunkowaną strukturą wzmocnień”.

Należy tutaj zauważyć, że w streszczeniu (str. 3¹⁴) Doktorant przedstawił nieco inną wersję celu pracy, tj. : „Celem badań przeprowadzonych w rozprawie doktorskiej było opracowanie nowatorskiej technologii procesu formowania polimerowych kompozytów ze wzmocnieniem w postaci włókien węglowych o żądanych właściwościach mechanicznych i tribologicznych”.

Do dyskusji : zdaniem recenzenta, ten drugi wariant jest bardziej adekwatny do zakresu rozprawy, ponieważ: metodyka – to zbiór zasad dotyczących sposobów wykonywania jakiejś pracy, natomiast technologia – to inaczej metoda przygotowania i prowadzenia procesu wytworzenia lub przetwarzania jakiegoś dobra lub informacji. Może też oznaczać konkretny proces.

Teza pracy została postawiona w postaci: „*Konstrukcja głowicy stosowanej w technice osadzania topionego materiału oraz dobór parametrów procesowych i materiałowych mający wpływ na uzyskiwane właściwości mechaniczne i tribologiczne formowanego materiału*”.

Rozdział 3 zawiera opis zakresu pracy z podziałem na etapy.

Doktorant w treści rozdziału niefortunnie używa czasu przyszłego lub teraźniejszego, podczas gdy w rozprawach należy używać czasu przeszłego (np. str. 53² „..” będzie obejmował ..”, str. 53⁹-.: „badania będą realizowane ..”). Podobne ułomności można znaleźć i w innych miejscach rozprawy, np. str. 85¹⁰ - „przeprowadzone zostaną testy.”, str. 85⁴ - „celem badań wytrzymałościowych jest ..”.

Inny aspekt to brak konsekwencji w używaniu terminów, np. „przyjętej metody wytwarzania” (str. 53²) oraz str. 55⁵ - „metodyki ich wytwarzania..”.

Rozdział 4 zawiera opis przyjętych założeń konstrukcyjnych i technologicznych zmierzających do opracowania unikalnej technologii wytwarzania polimerowego kompozytu włóknistego z użyciem dedykowanej głowicy z symetrycznym podawaniem i mieszaniem materiału matrycowego i centralnym podawaniem ciągłego włókna węglowego. Istotną częścią rozdziału jest analiza numeryczna MES przepływu i mieszania materiału matrycowego w dyszy wytłaczającej oraz procesu łączenia włókien i materiału matrycy. Wprowadzono pojęcie współczynnika „efektywnej zawartości włókien” w kompozytach formowanych techniką osadzania topionego materiału. Przeprowadzono analizę wpływu zmiennych procesowych techniki osadzania na uzyskiwaną strukturę wewnętrzną kompozytu.

Sprawą dyskusyjną jest tutaj terminologia stosowana przez Doktoranta, np. „efektywna zawartość włókien”. Termin „efektywny” ma w języku polskim ponad 100 znaczeń. W kontekście realizowanego tematu badań bardziej zasadnym było by użycie np. terminu „względna procentowa zawartość włókien”. Na dodatek, Doktorant nie jest konsekwentny w używanej terminologii, stąd też pojawiają się zamiennie terminy takie jak: „współczynnik wzmocnień” – str. 77¹⁵, „współczynnik efektywnej zawartości wzmocnienia” – str. 81⁴, „procentowej zawartości wzmocnienia” – 87⁵, „procentowej zawartości włókien „- str. 88.

Rozdział 5 – obejmuje opis badań eksperymentalnych w tym wytrzymałościowych kompozytów włóknistych zależnie od względnej, procentowej zawartości włókna węglowego (nazewnictwo recenzenta) w badanym kompozycie. W dalszej części rozdziału zamieszczono opis i wyniki badań tribologicznych realizowanych w warunkach tarcia suchego i w środowisku

wodnym. W zakończeniu rozdziału zamieszczono wyniki badań mikroskopowych powierzchni badanych kompozytów po teście tribologicznym.

Podobnie jak w rozdziale 4, widoczny jest brak konsekwencji w nazewnictwie, np. str. 91⁹ – „ ilość napelniaczy wzmacniających na powierzchni ..”. Str. 114⁵ - „ .. zawartość ilościową włókien w kompozycie..”

Inny aspekt dotyczy terminu „prędkość ślizgu” – tab. 5.4-5.6 oraz str. 95⁵ – „prędkości poślizgu..”. Wydaje się, że adekwatnym terminem byłby tutaj termin „prędkość ślizgania”.

Kolejny aspekt, to używanie terminu „zdjęcia ..” tak w tekście jak i opisach rysunków, zdaniem recenzenta należałoby używać terminu „obrazy”, zwłaszcza, że w rozprawie jest mowa również o technikach stosowanych w cyfrowym przetwarzaniu obrazów.

W rozdziale nr 6 zawarto podsumowanie i wnioski.

Wykaz literatury obejmuje pozycje głównie w języku angielskim oraz polskim.

W pozycji literatury [107] wydaje się, że powielono niepotrzebnie nazwę źródła.

2.3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa

W rozprawie Doktorant nie ustrzegł się często występujących w opracowaniach inżynierskich nieścisłości czy błędów edytorskich. O części z nich wspomniano omawiając zawartość poszczególnych rozdziałów rozprawy. Inne błędy to np. używanie terminu „własności” (np. str. 3⁷, str. 14¹⁵) w odniesieniu do cech fizycznych materiałów (powinno być „właściwości”). Aczkolwiek, w wielu miejscach rozprawy występuje też forma poprawna.

Ponadto, poniżej podano aspekty dyskusyjne, jakie stwierdzono podczas studiowania tekstu rozprawy:

- Str. 24⁷ – jest : „ gorsze właściwości wytrzymałościowe ..”. Powinno być ? : „ gorsze parametry wytrzymałościowe ..”.

- Str. 25⁶ – jest : „... zawiera rysunek 1.6”. powinno być ? : „ilustruje rysunek”

- Str. 25, opis osi rysunku 1.4– jednostki w opisie przytaczanych wielkości chyba nie są właściwe?

- Str. 26, rys. 1.6, opis na osi : jest R_N – powinno być? : R_m

- Str. 33⁹ – jest „nawalcowywane na poprzednie warstwy”. Nie jest to termin właściwy.

W tym przypadku wałek służy tylko dla lepszego rozprowadzenia proszku w danej warstwie.

- Str. 33₇ – jest : „usuwany za pomocą próżni...” Raczej powinno być ? : „ z użyciem podciśnienia”
- Str. 33₆ – jest „Rozkład wielkości proszku..” Raczej powinno być ? : „ Rozkład średnic ziaren proszku..”
- Str. 39⁵ – jest „głowicy drukującej piątej” chyba chodzi o głowicę nr 5, gdyż na rysunku 1.12 nie ma takiej ilości głowic.
- Str. 39⁹ – jest : „Pierwszą warstwę stanowi podkładowa powierzchnia”. Chyba powinno być: :” .. warstwa podkładowa ..”
- Str. 42, opis rys. 1.12, jest „ 2- głowica wytłaczająca 2”. Powinno być? „ 5 – głowica ...”
- Str. 43⁶ – jest „ ustawienie parametrów ..” Powinno być ? : „dobór parametrów..”
- Str. 48⁵ – jest „ .. w kierunku tarcia..”? - zapis nie jest precyzyjny (poprawny).
- Str. 48₉ – jest : „ powodują powstawanie cząstek zużywających się”. Chyba raczej chodzi o produkty zużycia ?
- Str. 57 – jest „wymiar polimeru”. To sformułowanie nie jest właściwe. Chyba chodzi o średnicę filamentu?
- Str.58₁₁ – jest „ po wytłoczeniu układu 5..” Jak rozumieć ten zapis?
- Str. 65, opis rys. 4.4 nie jest adekwatny do zawartości (numery 1, 2 nie są tożsame odnośnikom: a, b)
- Str. 66, opis rys. 4.7 – oznaczenie rysunku ostatniego (d) nie jest właściwe. Jest „c” powinno być ? „d”
- Str. 72¹ – jest „Ilość żółtego ...” Chyba powinno być ? „względny udział żółtego ..”
- Str.72¹⁴ – jest : „Ilość powierzchni próbki ..” Chyba chodzi o udział powierzchni próbki?
- Str. 75, rys. 4.13 – jest „Rezultaty ... z . badaniami ..” Chyba powinno być? „Porównanie rezultatów ... z ...”
- Str. 85. Nowy rozdział rozprawy, w świetle dotychczasowej konwencji, powinien znaleźć się na nowej stronie.

2.4. Ocena realizacji celu naukowego pracy

Przyjęty cel naukowy rozprawy, w świetle aktualnego stanu wiedzy i praktyki przemysłowej należy uznać za zasadny oraz aktualny. W świetle przedstawionych wyników badań

numerycznych oraz badań eksperymentalnych, należy uznać, że cel naukowy został w pełni zrealizowany a teza naukowa potwierdzona.

Zbudowano prototyp głowicy, który pozwolił zweryfikować poczynione założenia oraz wyniki badań numerycznych w warunkach adekwatnych do rzeczywistego procesu formowania kompozytu włóknistego, zbrojonego ciągłym włóknem węglowym. Opracowano wytyczne doboru parametrów samego procesu formowania a także prognozowania oczekiwanych parametrów tribo- mechanicznych kompozytu.

2.5. Ocena wyników badań

Doceniając zakres i złożoność przeprowadzonych przez Doktoranta badań i analiz, uzyskane poprawne i interesujące wyniki oceniam bardzo wysoko. Pozwalają one na znaczne poszerzenie istniejącej wiedzy o aspekty projektowania, wytwarzania i eksploatacji struktur kompozytowych tworzonych w oparciu o termoplastyczne kompozyty włókniste, zbrojone w sposób ciągły włóknem węglowym, w technice druku 3D.

W świetle powyższego podsumowania, krytyczne uwagi przedstawione w recenzji nie umniejszają wartości wyników przedstawionych w rozprawie. Uwagi te należy traktować jako głos w dyskusji nad jakością rozprawy oraz rozwiązaniem problemu naukowego, którym zajął się Doktorant. Powinny one pomóc Doktorantowi w dalszym rozwoju zaproponowanej technologii oraz kształceniu umiejętności pisania poważnych rozpraw naukowych.

2.6. Aspekty praktycznego wykorzystania wyników badań

Obiecujące wyniki prowadzonych przez Doktoranta badań, mają bardzo duże szanse na praktyczne zastosowanie w przemyśle z uwagi duże zainteresowanie tematyką i uzyskanymi wynikami. Patent uzyskany na konstrukcję przedmiotowej głowicy daje duże szanse na komercjalizację wyników badań Doktoranta.

2.7. Uwagi o zauważonych nieprawidłowościach/ułomnościach pracy

Szczegółowe uwagi w tym zakresie recenzji zawarte zostały w poprzedzających punktach niniejszej recenzji.

Podsumowując niejako tę kwestię należy zauważyć, że w rozprawie występują głównie kwestie braku konsekwencji w stosowanym nazewnictwie. Nie wpływa to jednak na ocenę wyników badań i analiz numerycznych jak i przeprowadzonych eksperymentów praktycznych. Te

ostanie pozwoliły pozytywnie zweryfikować przyjęte założenia oraz rozważania teoretyczne, co potwierdza poprawność działań podjętych przez Doktoranta, w realizacji rozprawy doktorskiej.

2.8. Ocena oryginalności rozprawy

Praca zawiera szereg oryginalnych elementów, do których można zaliczyć : opracowaną technologię wytwarzania kompozytu z użyciem druku 3D poprzez osadzanie materiału topionego, koncepcję głowicy do wytwarzania kompozytu zbrojonego ciągłym włóknem węglowym, analizę numeryczną przepływu i mieszania się komponentów w głowicy, analizę procesu zużywania się tribologicznych tworzonych kompozytów oraz opracowanie wytycznych realizacji procesu w warunkach przemysłowych.

2.9. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej Kandydata

Szereg prowadzonych analiz wymagało zastosowania bardzo zaawansowanego aparatu matematycznego (modele analityczne) i informatycznego (w tym systemów MES/CAD oraz MATLAB), co wykazuje dobre przygotowanie Doktoranta w tym zakresie. Wieloaspektowość badań i analiz podjętych przez opiniowanego świadczy o dużych zasobach wiedzy technicznej związanej z realizowanym tematem. Badania doświadczalne z użyciem zaawansowanych systemów pomiarowych zrealizowane według opracowanych planów badań wykazują, że opiniowany posiada umiejętności samodzielnego prowadzenia prac naukowo – badawczych.

3. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa zawiera wartościowe i unikalne wyniki badań. Stanowi oryginalne rozwiązanie przez doktoranta problemu naukowego (zdefiniowanego w celu pracy), ma duże znaczenie aplikacyjne i poznawcze, a uzyskane wyniki mogą być aplikowane do przemysłu.

Biorąc pod uwagę całość pracy, tj. jej wartość naukową i poznawczą oraz wkład własny Doktoranta uważam, że rozwiązał on ważny problem z zakresu dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

Stąd też stwierdzam, że rozprawa doktorska magistra inżyniera Artura Prusinowskiego, pt.: „Formowanie kompozytów włóknistych z zastosowaniem techniki osadzania topionego materiału” spełnia wymogi stawiane w art.13 ust.1 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz.U. z 2017r.

poz. 1789 w związku z art. 179 ust.1 i ust.2 ustawy z dnia 3 lipca 2018r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018r. poz. 1669).

Wnioskuje zatem o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Mając na uwadze przedstawioną opinię rozprawy oraz „Zasady przeprowadzania postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w Politechnice Białostockiej” uważam, że opiniowana rozprawa spełnia sformułowane tam wymogi dotyczące wyróżnienia , to jest: pkt 1a) oraz pkt.1b, gdyż Doktorant:

- posiada publikacje w wydawnictwach/czasopismach ważnych dla dyscypliny,
- uzyskał patent, którego podstawę stanowiły wyniki prac związanych z rozprawą.

Wnoszę zatem o jej wyróżnienie