



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ

Instytut Technologii Materiałów

ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 2202

e-mail: office_mat@put.poznan.pl, www.wim.put.poznan.pl

dr hab. inż. Jacek Andrzejewski
Instytut Technologii Materiałów
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 3
61-138 Poznań
Email: jacek.andrzejewski@put.poznan.pl

Poznań, 25.06.2024

Recenzja

pracy doktorskiej „Pojazd manualny dla dzieci z niepełnosprawnością ruchową o konstrukcji zoptymalizowanej do wytwarzania generatywnego” autorstwa mgr inż. Aleksandra Mikulíkovej

Promotor pracy: dr hab. inż. Marek Wyleżoł, prof. PŚ

Promotor pomocniczy: dr inż. Małgorzata Muzalewska

Podstawa formalna wykonania opinii

Niniejsza recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Śląskiej, pismo przekazane przez przewodniczącą Rady Dyscypliny Panią Profesor dr hab. inż. Ewę Majchrzak z dnia 30 kwietnia 2024 (RDIMe/92/51/2024). Przewód doktorski realizowany jest w ramach dyscypliny Inżynieria Mechaniczna. Pismo wraz z załączoną pracą zostało dostarczone w dniu 09.05.2024.

1. Uwagi wstępne

Przedstawiona do oceny praca doktorska stanowi podsumowanie badań doktorantki w obszarze opracowania konstrukcji pojazdu kołowego dla dzieci z niepełnosprawnością ruchową. W ramach pracy realizowanej przez Panią Aleksandrę Mikulíkovą wykonane zostały badania obejmujące kilka obszarów wiedzy. Poza dziedziną główną, którą dla omawianych badań stanowi inżynieria mechaniczna, a w szczególności projektowanie podzespołów maszyn; dziedziny/obszary wiedzy

Biuro Dziekana

podejmowane w ramach rozprawy obejmują zagadnienia ergonomii, inżynierii produkcji, symulacji numerycznych oraz inżynierii biomedycznej. Mnogość podejmowanych wątków tematycznych pozwala określić pracę jako interdyscyplinarną.

Analizowana praca, będąca przedmiotem niniejszej recenzji, obejmuje 151 stronicowy tekst, w tym streszczenia w wersji polskiej i angielskiej, wykaz oznaczeń i skrótów, 5 rozdziałowy tekst główny oraz wykaz bibliografii zawierający 148 pozycji literaturowych.

W ramach rozprawy sformułowano dwie tezy badawcze, które w pracy zostały przedstawione następującej formie:

I - Możliwe jest wytworzenie w pełni funkcjonalnego urządzenia rehabilitacyjnego za pomocą najpowszechniejszej oraz stosunkowo najtańszej technologii przyrostowej -FDM, co wpłynie na cenę końcową oraz popularyzację możliwości wytwarzania tego typu urządzeń.

II – Optymalizacja topologiczna struktury wewnętrznej elementów składowych urządzenia rehabilitacyjnego – wytwarzanego za pomocą technologii przyrostowej FDM – umożliwia uzyskanie struktury odpowiednio wytrzymałej w kontekście zdefiniowanych przypadków obciążeń oraz pozwoli na minimalizację masy urządzenia.

W części wstępnej doktorantka w bardzo czytelny sposób nakreśliła główny problem badawczy, wskazała na główne cele prac badawczo-rozwojowych opisała też w czytelny sposób szereg kluczowych zagadnień prowadzących do realizacji głównych założeń realizowanego projektu.

W celu potwierdzenia sformułowanych tez doktorantka zaprojektowała i wykonała prototyp wózka rehabilitacyjnego, dokonała licznych modyfikacji konstrukcji w oparciu o testy przeprowadzone z udziałem użytkowników końcowych, wykonała liczne analizy symulacyjne i na ich podstawie zaproponowała dalsze modyfikacje konstrukcji podzespołów omawianego urządzenia.

Sposób edytowania testu rozprawy jest zgodny z przyjętymi wymaganiami dla prac doktorskich. Tekst jest czytelny, numeracja rozdziałów i podrozdziałów jest bardzo klarowna. Na uwagę zasługuje fakt bardzo obszernej dokumentacji rysunkowej, co istotnie podnosi walory pracy. Co istotne pomimo znacznej ilości pozycji rysunkowych sposób doboru jak i rozmieszczenie ich w tekście nie utrudnia analizy wyników, co świadczy o bardzo świadomym sposobie prezentacji wyników

2. Ocena doboru tematu rozprawy

Tematyka omawianej pracy obejmuje liczne aspekty zastosowania technik druku 3D i wpisuje się w aktualny trendy badań dotyczących praktycznych zastosowań technik przyrostowych. Analizując treść pracy do jej głównych wątków tematycznych zaliczają się:

- Przegląd i analizę dostępności konstrukcji wózków (pojazdów) wspomagających dla dzieci z niepełnosprawnościami, omówienie norm i przepisów odnośnie tego typu urządzeń i określenie wymagań dla konstrukcji na podstawie konsultacji z użytkownikami końcowymi i personelem medycznym.
- Opracowanie konstrukcji wózka i dostosowanie kształtu jego podzespołów do wymagań techniki druku FDM, wykonanie funkcjonalnego prototypu.
- Ocena ergonomiczna wytworzonej konstrukcji, badania symulacyjne i optymalizacja kształtu.

W mojej ocenie dobrany zakres tematyczny obejmuje aktualnie rozwijane obszary dziedziny inżynieria mechaniczna. Zarówno optymalizacja konstrukcji wyrobów pod kątem wytwarzania technikami przyrostowymi jak i zagadnienia związane z zastosowaniem metod generatywnych wymaga od osób realizujących badania w tym zakresie najnowszej wiedzy. Dobór tematyki uważam zatem za trafny i świadczy o dojrzałości autorki omawianej rozprawy.

3. Ocena rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandy Mikulikovej stanowi podsumowanie jej prac badawczych w obszarze opracowania konstrukcji pojazdu manualnego przeznaczonego dla dzieci z niepełnosprawnościami. W mojej opinii rozprawa stanowi doskonały przykład interdyscyplinarnego podejścia do tematyki projektowania urządzeń o przeznaczeniu biomedycznym i rehabilitacyjnym. Rozprawa ma istotny wymiar aplikacyjny, została przygotowana z wielką starannością i dopełnia wszelkie wymagania by stanowić materiał do dalszych prac rozwojowych. Rozprawa doktorska została przygotowana w formie jednolitej monografii, będącej w całości pracą autorską doktorantki i jej zespołu promotorskiego. Wyróżnia to omawianą rozprawę spośród powszechnie dziś stosowanej formy edytowania prac dyplomowych poprzez łączenie w opublikowanych już tekstów w monotematyczny referat doktorski. W mojej ocenie przedstawiona forma prezentacji wyników jest dużo bardziej czytelna i stanowi o ogromie pracy koniecznej do przygotowania spójnego tekstu.

Główny trzon prezentowanej pracy stanowią elementy opisu sposobu rozwiązywania problemów konstrukcyjnych budowy wózka rehabilitacyjnego, jednak tekst poświęca też sporo uwagi na opis zagadnienia budowy i klasyfikacji tego typu pojazdów, analizę ekonomiczną oferowanych komercyjnie rozwiązań omawianego typu, przedstawia też podstawowe informacje na temat techniki druku 3D z filamentu (FDM- fused deposition modeling). W mojej ocenie najbardziej istotnym wątkiem podejmowanym w rozeznaniu literaturowym przygotowanym przez doktorantkę jest tematyka zastosowania optymalizacji topologicznej w konstrukcji urządzeń lub pojazdów, w połączeniu z zastosowaniem technologii wytwarzania przyrostowego. Dobór przykładów realizacji zaprezentowany w pracy doskonale wpisuje się w tematykę samej rozprawy. Pewnym mankamentem rozeznania literaturowego wykonanego przez doktorantkę jest stosunkowo znikoma ilość odniesień bibliograficznych. Autorka skupia się też głównie na omówieniu rozwiązań

komercyjnych, gdzie doniesienia literaturowe nie prezentują szczegółowych informacji na temat konstrukcji i sposobem wytwarzania stosowanych podzespołów i urządzeń. W odróżnieniu od literatury naukowej, gdzie możliwość zlokalizowania pozycji bibliograficznych jest ułatwiona przez liczne portale tematyczne, pozyskiwanie informacji z literatury branżowej jest mniej zautomatyzowane i wymaga większego zaangażowania, pośrednio tłumaczy to relatywnie niewielką ilość odniesień literaturowych. Dodatkowo sposób omawiania poszczególnych zagadnień tematycznych jest bardzo skrupulatny i nie pomija w opisie żadnej z cytowanych pozycji. Stanowi to zatem o indywidualnym stylu prowadzenia dyskusji naukowej. W mojej ocenie w ramach omawianej rozprawy doktorskiej przegląd literaturowy został wykonany prawidłowo, i pozwala w należyty sposób ocenić dotychczasowy dorobek publikacyjny w tematyce pracy doktorskiej.

Kluczowe prace związane z opracowaniem konstrukcji wózka do rehabilitacji zostały opisane w Rozdziale 3. Autorka przedstawia w nim podstawowe założenia dotyczące wymagań dla opracowywanego urządzenia. W mojej ocenie kluczowym aspektem prezentowanym w tej części pracy, jest prezentacja metodologii tworzenia konstrukcji wózka jeźdnego. Doktorantka zaprezentowała w tej części pracy swój autorski projekt uwzględniający możliwość wytworzenia poszczególnych podzespołów w technologii druku 3D. Zaprezentowana baza konstrukcyjna została w dalszej części poddana modyfikacji w celu lepszego dopasowania do wymagań techniki FDM zastosowanej na etapie wytwarzania prototypu urządzenia. W tej części pracy doktorantka potwierdziła swoje duże doświadczenie w projektowaniu wyrobów technicznych. W wielu przypadkach zastosowała podzespoły standaryzowane, w celu zwiększenia niezawodności całej konstrukcji. Przedstawiła też wiele sposobów na optymalizację kształtu podzespołów wytwarzanych przyrostowo. Projekt końcowy uwzględniał zatem cały szereg dodatkowych czynników wpływających na niezawodność gotowego urządzenia, oraz czas i cenę jego wytwarzania. W dalszej części pracy wykonany został prototyp wózka rehabilitacyjnego, i przeprowadzono na nim wstępne testy użytkowe. Wynikiem tych badań była poprawiona konstrukcja wózka, przeznaczona do oceny przez użytkowników końcowych i personel medyczny. Opis wyników testów użytkowych została zamieszczony w tekście pracy, jednak w mojej ocenie ze względu na mało szczegółowy charakter trudno jest zweryfikować, czy testy tego typu stanowią miarodajny wskaźnik użyteczności urządzenia.

W dalszej części pracy autorka poświęca dużo uwagi opracowaniu prawidłowego modelu obciążeń dla konstrukcji wózka. Zastosowany w trakcie tych prac metodologia wskazuje na doświadczenie doktorantki w prowadzeniu obliczeń dla modeli stosowanych w obliczeniach biomechanicznych. Autorka dokonuje identyfikacji podstawowych obciążeń wywieranych na konstrukcję wózka, przeprowadza niezbędne obliczenia dotyczące rozkładu naprężeń wywieranych na poszczególne podzespoły oraz wskazuje na metodologię przeprowadzenia analizy numerycznej.

W tej części pracy warto wskazać iż autorka w bardzo szczegółowy sposób omawia wyniki poszczególnych analiz symulacyjnych, wskazuje na możliwe błędy i zagrożenia wynikające z zastosowanej techniki wytwarzania FDM.

Podrozdział 4.2.2 poświęcony optymalizacji topologicznej stanowi podsumowanie prac obejmujących opracowanie konstrukcji wózka rehabilitacyjnego. W rozdziale tym doktorantka przedstawiła metodologię przygotowania modeli konstrukcji nośnej korpusu wózka w oparciu o algorytmy generujące zoptymalizowaną geometrię pierwotnej konstrukcji. W trakcie prac dyplomantka wykorzystała wyniki poprzednio prowadzonych badań symulacyjnych. Bardzo ciekawym aspektem tej części prac badań było przedstawienie nowej koncepcji wytwarzania zoptymalizowanej wersji korpusu. Autorka zaproponowała innowacyjne podejście polegające na podziale modelu geometrycznego na dwie zasadnicze części. Pierwszą z nich stanowił model skorupowy odzwierciedlający kształt korpusu wózka przed optymalizacją topologiczną. Drugą część złożenia stanowił model końcowy powstały po zabiegu optymalizacji. Wyrób końcowy stanowił złożenie tych dwóch geometrii, przy czym model o zoptymalizowanej geometrii został umieszczony we wnętrzu modelu skorupowego. W dalszym kroku kształt wewnętrzny został wypełniony siatką symulującą standardowe siatkowe wypełnienie wydruku FDM. Zaprezentowana metodologia jest w mojej ocenie niestandardowa, gdyż dla większości zastosowań metod optymalizacji topologicznej wyrób końcowy wymaga wielu dalszych modyfikacji tak by możliwe było zmontowanie całości podzespołów urządzenia. W opisywanym rozwiązaniu kształt wytwarzanych podzespołów pozostaje niezmieniony, natomiast wewnętrzna geometria wyrobu może stanowić wynik obliczeń optymalizacyjnych.

W wyniku przeprowadzonych prac badawczych doktorantka opracowała konstrukcję wózka dziecięcego, o następujących cechach:

- możliwość wytworzenia podzespołów wózka przy pomocy standardowych urządzeń typu FDM (drukarek 3D),
- możliwość montażu urządzenia/wózka przy użyciu standardowych narzędzi ręcznych, oraz przy użyciu tanich i powszechnie dostępnych podzespołów,
- konstrukcja urządzenia umożliwia dalszą modyfikację poszczególnych podzespołów i/lub ich wymianę w przypadku uszkodzenia podzespołu lub w trakcie wzrostu pacjenta /dziecka.

4. Uwagi szczegółowe

Poniższe uwagi stanowią komentarz do pracy, w większości przypadków odnoszą się do nieścisłości wynikających z podjętej metodyki prac, w żadnym z wymienionych przypadków nie można doszukać się rażących błędów merytorycznych, jednak wskazane jest by wyszczególnione uwagi zostały skomentowane w trakcie dalszej procedury dyplomowej w formie pisemnej lub ustnej.

1. Dane materiałowe wprowadzone jako parametry wejściowe w trakcie symulacji zostały ustalone w oparciu o karty charakterystyki różnych materiałów (filamentów). Czy właściwości materiałowe zamieszczone w kartach dotyczyły materiałów otrzymywanych techniką FDM, czy wtryskiwanych. Jeśli

wtryskiwanych to jaka jest spodziewana zmiana właściwości dla próbek wytwarzanych techniką druku FDM?

2. W pracy zaproponowano zastosowanie jako tworzywa materiału (filamentu) na bazie polilaktydu (PLA). Niestety w kontekście zastosowań dla tej grupy materiałów w aplikacjach technicznych, dużym ograniczeniem jest znaczna kruchość/niska udarność PLA. Czy w tym kontekście testy użytkowe wykazały powstanie uszkodzeń wytworzonego urządzenia?
3. Przedstawione w pracy wyniki optymalizacji topologicznej stanowią podstawę do dalszego rozwoju konstrukcji opracowywanego wózka. Czy podjęto próby wytworzenia korpusu lub jego podzespołów z zastosowaniem wyników optymalizacji topologicznej?

Uwagi edytorskie:

W przypadku omawianego tekstu można się doszukać kilka przypadków błędów edytorskich lub powtórzeń występujących w zdaniu, jednak zasadniczo są to typowe błędy edycyjne nie mające wpływu na odbiór pracy. Do kategorii błędów można też zaliczyć kilka sformułowania o angielskojęzycznym pochodzeniu, które autorka stosuje w całej pracy. Jako przykład można tutaj przytoczyć wyrażanie „dizajn” lub „suport”, które można zastąpić polskimi odpowiednikami jak konstrukcja/projekt/kształt dla wyrażenia „dizajn” lub materiał podporowy dla słowa „suport”.

Niemniej w wielu innych przypadkach stosowanie mieszanego nazewnictwa polsko i anglojęzycznego jest uzasadnione, ze względu na dużą ilość wyrażen branżowych, które najlepiej charakteryzują opisywane procesy lub zjawiska, w szczególności dotyczy to zagadnień z obszaru prezentowanych w pracy badań symulacyjnych i tych dotyczących optymalizacji topologicznej. Dlatego w mojej ocenie występujące w tekście nieścisłości nie mają istotnego wpływu na odbiór warstwy merytorycznej rozprawy.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Analiza przedłożonego tekstu pozwala na sformułowanie kilku kluczowych dla pracy wniosków.

- praca doktorska zrealizowana została w oparciu najnowsze osiągnięcia w dziedzinie konstrukcji maszyn, wnosi nową wiedzę w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna, oraz w dziedzinach pokrewnych,

- doktorantka wykazała się wysokim poziomem samodzielności, rozprawa w postaci jednolitej monografii stanowi podsumowanie ciągu badań realizowanych w trakcie prac w omawianym temacie, i stanowi materiał o dużym potencjale publikacyjnych,

- praca omawia oryginalny problem naukowy, wskazuje na istotną niszę w obszarze dostępności pojazdów rehabilitacyjnych dla pacjentów małoletnich i omawia

sposoby rozwiązania tego problemu w postaci konstrukcji taniego i łatwego w wykonaniu wózka rehabilitacyjnego,

- cele pracy w postaci opracowania funkcjonalnego wózka dziecięcego został osiągnięty, dodatkowo prototyp wózka został przetestowany w warunkach użytkowania, autorka rozprawy zaproponowała też kierunki możliwych modyfikacji opracowanej konstrukcji.

Biorąc pod uwagę powyższe wnioski należy stwierdzić, że rozprawa doktorska pt. „Pojazd manualny dla dzieci z niepełnosprawnością ruchową o konstrukcji zoptymalizowanej do wytwarzania generatywnego” spełnia wszystkie wymogi pracy doktorskiej opisane w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018, poz. 1668). W związku z powyższym stwierdzeniem chciałbym prosić o przyjęcie rozprawy Pani Aleksandra Mikulíkovej i realizację dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Dr hab. inż. Jacek Andrzejewski

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)