

Recenzja rozprawy doktorskiej*Mgr inż. Aleksandra Mikulíková***zatytułowanej:*****Pojazd manualny dla dzieci z niepełnosprawnością ruchową o konstrukcji zoptymalizowanej do wytwarzania generatywnego*****1. Cel, zakres i charakter rozprawy**

Celem rozprawy, zdefiniowanym na stronie 9 jest skonstruowanie pojazdu – wózka (jeździka) przeznaczonego dla dzieci z dysfunkcją kończyn dolnych w wieku od ok. 9. miesiąca życia (od kiedy dzieci posiadają umiejętność samodzielnego siedzenia) do ok. 4 lat, a celem naukowym rozprawy jest optymalizacja konstrukcji pojazdu za pomocą m.in. implementacji procedur optymalizacji topologicznej w proces projektowo-konstrukcyjnym.

Autorka formułuje na stronie 11 następujące tezy prowadzonych badań:

1. *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.*

2. *Optymalizacja topologiczna struktury wewnętrznej elementów składowych urządzenia rehabilitacyjnego - wytwarzanych za pomocą technologii przyrostowej FDM - umożliwi uzyskanie struktury odpowiednio wytrzymałej w kontekście zdefiniowanych przypadków obciążeń oraz pozwoli na minimalizację masy urządzenia.*

Rozprawa ujawnia naukowy charakter badań, ale także duży wkład pracy i kompetencje Autorki w zakresie projektowania i wytwarzania wspomaganego komputerem, prowadzenia badań symulacyjnych oraz prowadzenia eksperymentów. Biorąc pod uwagę obecny stan i potrzeby dzieci z niepełnosprawnością ruchową, przeprowadzone w rozprawie badania i proponowane rozwiązania są oryginalne. Autorka podjęła się rozwiązania bardzo ważnego problemu z zakresu procesu rehabilitacyjnego gdzie szczególnie trzeba uwzględnić

zapobieganie powikłaniom wynikającym z unieruchomienia małego pacjenta, poprawę jego samooceny, wzmacnianie motywacji do czynnego udziału w rehabilitacji oraz edukację osób z otoczenia małego pacjenta. Biorąc także pod uwagę złożoność przedstawionego problemu, układ i właściwą treść pracy, podporządkowanej weryfikacji sformułowanym tezom uważam, że cel i tezy badawcze rozprawy nie budzą zastrzeżeń w ogólnej ocenie pracy.

3. Zawartość i wyniki rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa zawiera wszystkie niezbędne elementy pracy naukowej.

Praca została napisana na 151 stronach i zawiera: stronę tytułową, wykaz skrótów, spis treści, pięć rozdziałów stanowiących zasadniczą część merytoryczną pracy z wnioskami końcowymi i spis literatury. W tekście rozprawy jest jej streszczenie zarówno w języku polskim jak i angielskim.

W rozdziale 1 Autorka przedstawia historię konstruowania inżynierskiego oraz rozwoju i zmian w realizacji procesu projektowo-konstrukcyjnego, a także narzędzi, które wspomagają proces projektowania z wyszczególnieniem optymalizacji topologicznej, zamieszcza również zdefiniowany problem naukowy, opisane cele i tezy rozprawy, a także jej zakres. Rozdział 2 to analiza stanu dotychczasowej wiedzy z zakresu różnych dziedzin, m.in.: inżynierii mechanicznej, rehabilitacyjnej, a także wzornictwa przemysłowego, w którym to rozdziale Autorka na tle przedstawionego przeglądu literatury opisuje zasadność podejmowanego zagadnienia.. W rozdziale 3 przedstawiono elementy teorii i planowania procesu projektowo-konstrukcyjnego. Opisane w nim zostały założenia projektowe, a także zaprezentowano w nim pole możliwych rozwiązań i analizowane koncepcje pojazdu.

W kolejnych rozdziale 4 rozprawy Autorka opisała przeprowadzone badania symulacyjne na modelu bryłowym pojazdu z określonymi warunkami brzegowymi wraz z różnymi przypadkami obciążeń działających na pojazd. Rozdział ten zawiera analizę wytrzymałościową konstrukcji z uwzględnieniem różnych parametrów wpływających na wzór i gęstość wypełnienia elementów drukowanych w technologii **FDM** (ang. Fused Deposition Material). Przedstawiona w nim została także optymalizacja topologiczna wypełniania modeli wraz z porównaniem różnych rodzajów wypełnienia wydruków oraz ich wpływ na masę końcowego modelu, zużycie materiału oraz czas wytwarzania. Ostatni rozdział 5 zawiera dyskusję wyników oraz wnioski z nich płynące. Na końcu rozprawy znajdują się: spis cytowanej literatury liczący 148 pozycji (w tym 3 prace, w których Autorka miał swój udział). Prace Autorki są tematycznie powiązane z problematyką ocenianej rozprawy doktorskiej.

4. Uwagi ogólne

Przedstawiony problem badawczy i proces projektowo-konstrukcyjny zostały wykonane na dobrym poziomie, zgodnie ze współczesnymi standardami. Przedstawiony bogaty przegląd literatury oraz wstęp wskazują, że Autorka dobrze poznała omawianą w rozprawie tematykę. Logicznie umotywowowała zasadność podjętych badań opisanych w rozprawie. Tematyka pojazdu manualnego dla dzieci z niepełnosprawnością ruchową o konstrukcji zoptymalizowanej do wytwarzania generatywnego nie jest często podejmowana w literaturze fachowej. Bardzo ważne jest uwzględnienie przez Autorkę w procesie projektowo-konstrukcyjnym urządzeń rehabilitacyjnych optymalizacji topologicznej i umożliwienie generowania bryły komponentu przy maksymalnie efektywnym wykorzystaniu materiału oraz z uwzględnieniem warunków takich jak przestrzeń wypełniana i wymagania dotyczące wytwarzania.

Ponadto należy docenić fakt, że Autorka używa poprawnie pojęć konstrukcyjnych stosowanych w zapisie konstrukcji i wprowadzonych przez prof. Janusza Dietrycha poz. 21-25. Szkoda, że Autorka nie uwzględniła także wprowadzonej przez prof. Janusza Dietrycha pojęcia liczby pewności zamiast stosowanego tutaj współczynnika bezpieczeństwa.

W swojej pracy Autorka w konstrukcji pojazdu uwzględniła jako docelową generatywną technologię wytwarzania – **FDM** i zastosowanie optymalizacji topologicznej (ang. topology optimization) wypełnienia modeli tworzywem podczas procesu wytwarzania.

Bardzo wysoko oceniam świadomość Autorki o potrzebie po dokonanej analizie wyników badań, ich weryfikacji oraz walidacji, poprzez przeprowadzenie testów fizycznych modeli z optymalizacją topologiczną struktury wypełnienia. Został przez Autorkę osiągnięty Poziom Gotowości Technologicznej danego rozwiązania **TRL 7** (czyli **Technology Readiness Level**) – Dokonano demonstracji prototypu systemu w otoczeniu operacyjnym.

Warto zwrócić uwagę na wykorzystanie przez Autorkę narzędzia **Gemba walk** (to technika zarządzania stosowana przede wszystkim przez japońskich menedżerów do radzenia sobie z codziennymi problemami bardziej efektywnie), polegającego na przyglądaniu się zagadnieniu w miejscu jego występowania, analizie problemu w miejscu jego występowania, zbieranie danych. Inżynierowie powinni zrozumieć wpływ całego problemu i zgromadzić dane o problemie ze wszystkich źródeł. Były nimi przeprowadzone rozmowy i konsultacji z rodzicami dzieci z niepełnosprawnościami ruchowymi, oraz analizy rankingów internetowych na podstawie, których opracowane zostały główne kryteria, którymi

rodzice/opiekunowie kierują się podczas wyboru wózka inwalidzkiego dla podopiecznych. Dlatego Autorce udało się osiągnąć cel tj. wózek inwalidzki dla dzieci, który jest narzędziem w poszerzaniu świata dziecka oraz zwiększaniu rozwoju i satysfakcji z życia, ważne jest, aby znaleźć model, który zapewni najwięcej możliwości swobody eksploracji. Osiągnięto to ze względu na przystępną cenę, trwałą, ale lekką konstrukcję i różnorodność dostosowań. Mały pacjent może z łatwością manewrować w ciasnych przestrzeniach, a wózek szybko się demontuje i można zabrać go w podróż. Istotne jest to, że ten wózek inwalidzki można rozbudować do większego rozmiaru, aby rósł razem z dzieckiem.

Istotne jest, że prototyp wózka zawiera kilka elementów znormalizowanych (m.in. śruby, podkładki), a także gotowych rozwiązań dostępnych na rynku (np. koła 10", kółka obrotowe, tuleje gwintowane). Ponadto Prototyp został przetestowany fizycznie przez dzieci z wymienionego w rozprawie zakresu wieku i wymiarów antropometrycznych. Jednym z ważnych wyników testowania prototypu wózka przez dzieci była ich pozytywna opinia w aspekcie psychologicznym – urządzenie zostało odebrane przez dzieci jako zabawka i z ochotą przystąpiły do testowania pojazdu. Pozytywny odbiór urządzenia przez najmłodszych jest bardzo istotną informacją zwrotną dla Autorki urządzenia, gdzie celem była także minimalizacja stygmatyzacji użytkowników urządzeń rehabilitacyjnych czy medycznych poprzez ich wygląd zewnętrzny, który jednoznacznie kojarzył się z niepełnosprawnością.

Dzięki zastosowaniu przez Autorkę zaawansowanej technologii i innowacyjnym rozwiązaniom, dziecięcy wózek inwalidzki staje się narzędziem, które nie tylko ułatwia rehabilitację, ale także wspiera pełne uczestnictwo w życiu społecznym i codziennych aktywnościach. Pojazd został także przetestowany pod nadzorem opiekunów przez dzieci z niepełnosprawnością ruchową kończyn dolnych.

Autorka przewiduje wybór różnych dodatków i wyposażenia, które ułatwiają codzienne życie. Może to obejmować uchwyty na kubki, stoliki, pojemniki na przedmioty osobiste czy inne akcesoria, które są istotne dla użytkownika. Udało się Autorce osiągnąć minimalistyczny design, który nie tylko wygląda nowocześnie, ale także jest praktyczny i ergonomiczny. Czyste linie, funkcjonalność oraz dyskretne detale tworzą w tym wózku inwalidzkim, które nie tylko dobrze wyglądają, ale także są wygodne w codziennym użytkowaniu. Poprawna estetyka wózków inwalidzkich na pewno przyczynić się do większej akceptacji społecznej przez inne dzieci co jest bardzo ważne dla małego pacjenta i jego dalszej rehabilitacji, oraz wpływa pozytywnie na jego samoocenę.

5. Uwagi szczegółowe

Na str. 100 Autorka pisze „Format pliku **STEP** (ang. Standard for the Exchange of Product Data), znany również jako standard **ISO 10303**, używany jest najczęściej do drukowania i modelowania **3D**. Pliki w formacie **STEP** odczytują i zapisują pełną treść modelu **3D** (a więc nie tylko podstawowe elementy geometryczne), co jest niezbędne do osiągnięcia wysokiego poziomu dokładności wyników analizy”.

Format pliku **STEP** nie jest używany do drukowania i modelowania **3D** (*podana definicja z poz. 40 jest niewłaściwa*), służy jako standardowy pakiet wymiany danych pomiędzy różnymi systemami **CAD/CAM**. Pozwalają one na przekazywanie danych geometrycznych między różnymi systemami **CAD/CAM** bez stosowania aproksymacji. Zresztą dalej str. 108, 109 Autorka pisze już właściwie o eksportowaniu danych w formacie **STL**, **STEP** z jednego do drugiego systemu **CAD/CAM**. Internet może być cennym źródłem informacji naukowych, ale warto podejść do nich z ostrożnością i krytycyzmem. Istnieje wiele wysokiej jakości zweryfikowanych źródeł internetowych, takich jak strony internetowe, archiwów, uniwersytetów i innych instytucji naukowych, które udostępniają wiarygodne informacje naukowe.

Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (**ISO**) pracuje od 1984 nad opracowaniem kompleksowego standardu elektronicznej wymiany danych produktowych pomiędzy komputerowymi systemami cyklu życia produktu. Powstał standard **ISO 10303**, który, jest znany jako **STEP** (STandard for the Exchange of Product model data). Jego zakres jest znacznie szerszy niż innych istniejących formatów wymiany danych **CAD**, zwłaszcza specyfikacji wymiany grafiki (**IGES**).

Właściwe źródło o **STEP**:

- Introduction to ISO 10303 - the **STEP** Standard for Product Data Exchange
https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=821600
- Lub
- W. Adamski: Wybrane Problemy Projektowania I Wytwarzania **CAD/CAM** w Przemysle Maszynowym, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 2012, ISBN 978-83-7199 str. 86 – 89.

W kierunkach dalszych prac należy przewidzieć badania zmęczeniowe, które zweryfikują wytrzymałość zastosowanych materiałów, jak i kształt konstrukcji mający znacząco wpływa na trwałość zmęczeniową materiału wózka.

6. Uwagi redakcyjne

Przyjęto formatowanie tytułów podrozdziałów zawierający odstęp pomiędzy numerem podrozdziału a tekstem tytułu, kilka zapisów znalazło się poza przyjętym formatem, jak np.

- 2.4.2.1, brak odstępu pomiędzy numerem podrozdziału, a tekstem tytułu
- 3.2.4, brak odstępu pomiędzy numerem podrozdziału, a tekstem tytułu
- 4.2.1, brak odstępu pomiędzy numerem podrozdziału, a tekstem tytułu
- 4.3, brak odstępu pomiędzy numerem podrozdziału , a tekstem tytułu
- str. 46 tytuł 2.4 "o konstrukcjach przesunięty w lewo"
- niejednolity format podpisu pod rysunkami zawierającymi podpunkty (średnik, spacja, przecinek, spójniki "i", "oraz") (np. rys. 3, 28, 85, 107, 108)
- niespójny format podpisu pod rysunkami zawierającymi podpunkty (dwukropek lub brak) (np. rys. 1, 2)

Spis literatury uporządkowany alfabetycznie, jednakże poza tym brak konsekwencji w formacie zapisu:

- brak podania roku publikacji [poz. 10]
- niejednolita nazwa wydawnictwa oraz przecinek przed datą [poz. 23,25]
- dwukrotnie przywołana ta sama pozycja literatury [poz. 47 i 48 odnosi się do tej samej pracy]
- niejednolite podawanie inicjałów imion autorów publikacji, przecinki czy spacje [poz. 11,12]
- niejednolite znaki interpunkcyjne rozdzielające dane współautorów publikacji [poz. 11,12,18]
- nazwiska i imiona autorów publikacji w całości lub skrócone inicjały [poz. 18, 143]
- różne wielkości liter nazwisk [poz. 144]
- różna kolejność i format roku wydania [poz. 34,35,57]
- znaki interpunkcyjne na zakończenie linii, obecność lub brak kropki [poz. 34,36]
- różna kolejność i format zapisu numeracji stron [poz. 35, 73, 141, 142, 143]

Na str.5 brak spójnika ...które docelowo mają być wytwarzane za pomocą technologii FDM i ma na celu...

Na str.6 powinno być metody komputerowego wspomaganie projektowania CAD (wg definicji podanej przez Autorkę w części pracy zatytułowanej Skrót)

Na str.7 Podczas obliczeń dany program bazuje na MES, a do uzyskania optymalnych wyników wykorzystuje algorytmy sztucznej inteligencji. Lepiej napisać, że może

wykorzystywać metody sztucznej inteligencji (nie każdy algorytm optymalizacyjny wykorzystuje AI)

Na str.23 Tab.1 kolumna druga (Rys) zawiera niewłaściwe odniesienie do numeracji rysunków, np. zamiast Rys.9abc jest Rys. 31abc. Modele wózków z Tab.1 znajdują się odpowiednio na Rys. 7, 8 i 9, a nie 29, 30 i 31.

Na str. 31 w opisie Rys. 16. Siatki centylowe: a) wzrost chłopców, b) wzrost **dziewczyn** w wieku do 5 lat [115] należy zmienić na **dziewczynek**.

Na str.32 ujednolicić nazwę masa czy waga? Tab. 3. Wzrost i masa dzieci w wieku do 4 lat – na podstawie siatek centylowych (3. i 97. centyl) [115]

Na str.34 zdanie „Jedną z metod **optymalizacji**, która pełni znaczącą rolę w procesie projektowo-konstrukcyjnym jest **optymalizacja**.” trzeba zmienić.

Na str.35 literówka, Przy opisie ~~Rys.~~Rys. 19c pojawiło się pojęcie optymalizacji topologii.

Na Str. 39 EADS Innovation Works od 2014 nazywało się Airbus Innovation Group, a od 2017 roku po prostu **Airbus**. Nie jest światowym liderem, tylko jednym ze światowych liderów top3, **razem z Boeing i Lockheed Martin**.

Na str.40 Rys. 21. Wspornik zawiasu gondoli **samolotu** Airbus 320: a) tradycyjny, b) zoptymalizowany [88]

Na str. 42 użyć **pawilonu**? albo znak interpunkcyjny pomiędzy " konstrukcji - pawilony "

Rys. 23. Kolejne etapy optymalizacji konstrukcji pawilonu X-Form 1.0 [5]

Na str.50 fragmentacja czy fragmentaryzacja. Wielki słownik wyrazów obcych PWN wskazuje na pewną różnicę: fragmentacja to „podział całości na odrębne części”, a fragmentaryzacja to „ujęcie czegoś w sposób fragmentaryczny”.

Rys. 36. **Fragmentyzacja** modelu na części składowe: a) przykładowy model bryłowy jednej części, powinno być **fragmentacja**

Na str.52 Powołanie się na nieistniejący wpis literatury poz.151 (spis zawiera 148 pozycji), oraz brak powołania w tekście na pozycje literatury o numerze 37 i 61. Brak odniesienia w tekście pracy do niektórych rysunków (12, 89-92, 94-96, 110) oraz tabeli Tab.2

Na str. 67 rys.51 podpis, rozmiar czcionki zbyt duży w stosunku do pozostałych rysunków.

Na str. 87 Rys. 73. Otwory montażowe kółek obrotowych w bazie kół tylnych oraz podnóżka

Na str.93 Rys. 87. Izometryczny widok rozstrzelony złożenia pojazdu - widok z **przodu i z góry**.

Na str.94 zamiast "otworów konstrukcji" powinno być "**otworów w konstrukcji**"

Na str. 96 współczynnik bezpieczeństwa **6** wygląda jak liczba 6

„W normie PN-EN 12183:2014 [96], która dotyczy metod badań standardowych wózków inwalidzkich zalecana wartość współczynnika bezpieczeństwa przyjęta do obliczeń wynosi $\gamma = 1,5$. Z wymienionych wcześniej powodów do obliczeń zdecydowano o przyjęciu współczynnika bezpieczeństwa o dwukrotnie wyższej wartości niż we wspomnianej normie ($\gamma = 3$), który przede wszystkim uwzględnia wpływ obciążeń przewidywanych i przypadkowych, spiętrzenia naprężeń, czy zmęczenia materiału oraz anizotropowość wydruków w technologii FDM.” Należałoby użyć bardziej wyrazistej czcionki dla tej litery alfabetu greckiego.

Na str.97 jest "Rys. 90. Rozkład siły działającej na siedzisko na składowe". Czytelniej będzie "rozkład na składowe siły działającej na siedzisko".

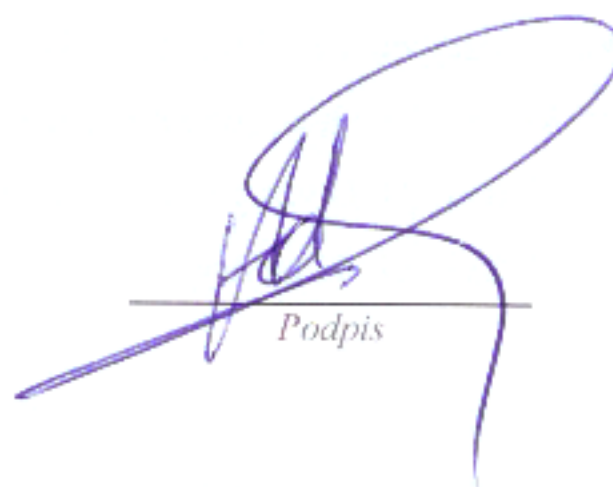
Na str.103 powinno być Rys. 102. Siły działające na powierzchnię siedziska i oparcia".

Na str.109 literówka, (wielkość litery) "Rys. 111. A) Maksymalne odkształcenia b) współczynnik bezpieczeństwa modelu z wypełnieniem 20% typu grid".

Na str.118 literówka, "Model bryłowy z wypełnieniem siatkowym struktury zoptymalizowanej topologicznie przedstawiono na rys Rys. 127."

7. Podsumowanie i wnioski końcowe

Biorąc pod uwagę całość rozprawy można wyrazić opinię, że przedstawione tutaj wyniki mają wartość nie tylko naukową, a co należy szczególnie podkreślić także użyteczną. Uważam, że przedstawiony dorobek badawczo-rozwojowy mgr. inż. Aleksandra Mikulíková jest wartościowy. W świetle obowiązującej ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. 2018 poz. 1668) wraz z późniejszymi zmianami (Ustawa z dnia 13 stycznia 2023 r. o zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz niektórych innych ustaw Dz.U.2023.212, Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z dnia 20.04.2023) stwierdzam, że przedłożona rozprawa stanowi podstawę merytoryczną do ubiegania się o stopień doktora nauk technicznych. Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Aleksandra Mikulíková do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.



Podpis