

**Ryszard DORDA**, Koło Naukowe Biomechaniki przy Katedrze Mechaniki Stosowanej,  
Politechnika Śląska, Gliwice

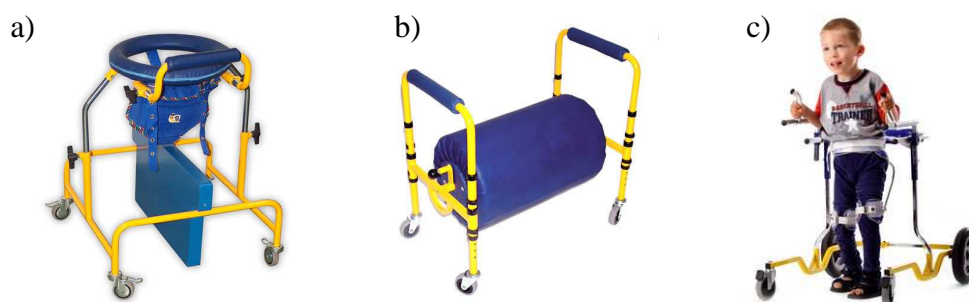
**Wojciech WOLAŃSKI**, Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska, Gliwice

## ANALIZA STEREOAMECHANICZNA KONSTRUKCJI POJAZDU REHABILITACYJNEGO DLA DZIECI

Streszczenie: W pracy przedstawiono projekt wielofunkcyjnego pojazdu trójkołowego dla dzieci niepełnosprawnych. Ze względu na istotne znaczenie rowerów w rehabilitacji ruchowej oraz ich powszechne występowanie zaproponowano konstrukcję charakteryzującą się wielofunkcyjnością i modułowością. Przeprowadzona analiza stereoamechaniczna konstrukcji pojazdu pozwoliła na weryfikację wytrzymałościową i ocenę jego ramy nośnej. Obliczenia i symulacje przeprowadzono w programie Ansys Workbench i na tej podstawie wyciągnięto wnioski końcowe.

### 1. WSTĘP

Rowery wykorzystywane są powszechnie na całym świecie przez osoby od najmłodszych lat życia aż do wieku zaawansowanego. Pojazdy te charakteryzują się dużą różnorodnością pod względem konstrukcyjnym (rowery dwukołowe, trójkołowe, szosowe, terenowe, wyczynowe, magnetyczne itp.), jak i ze względu na przeznaczenie (sport, rekreacja, rehabilitacja ruchowa itp.). Wspomniana rehabilitacja z wykorzystaniem roweru dotyczy szczególnie osób z niedowładem kończyn dolnych, dziecięcym porażeniem mózgowym oraz innymi chorobami układu ruchu. Jest możliwa, dzięki specjalistycznym rozwiązaniom konstrukcyjnym (nie tylko rowerów, rys. 1) dostosowanym do potrzeb pacjenta i uwarunkowań stawianych przez chorobę [1, 2, 4].



Rys. 1. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń wykorzystywanych do rehabilitacji dzieci: a) balkonik [5], b) chodzik [5], c) balkonik tylny [6]

Na rynku rehabilitacyjnym istnieje kilka firm zajmujących się projektowaniem i wytwarzaniem pojazdów rehabilitacyjnych, dostosowanych do nałożonych na nie wymogów normatywnych. W ich ofertach znajdują się również propozycje sprzętowe dla dzieci.

Przykładowe firmy to Draisin, Sunrise Medical, Tolek, Van Raam, Pfiff, czy też Zakład Sprzętu Rehabilitacyjnego inż. Stanisława Misiarza.

Dostępne na rynku modele rowerków (rys. 2) wspomagających rehabilitację w większości przypadków ograniczone są jednak do spełniania jednej funkcji – pojazdu. Z tego względu, poszukując sposobu na poprawę warunków rehabilitacji z zastosowaniem rowerka, jak i ułatwienie nauki jazdy, w pracy podjęto próbę zamodelowania konstrukcji pojazdu trójkołowego, który dzięki swej wielofunkcyjności usprawniłby rehabilitację dziecka dając możliwość wykonywania różnorodnych ćwiczeń.



Rys. 2. Przykładowe modele rowerków firmy: a) Misiarz [5], b) Van Raam [7], c) Draisin [8]

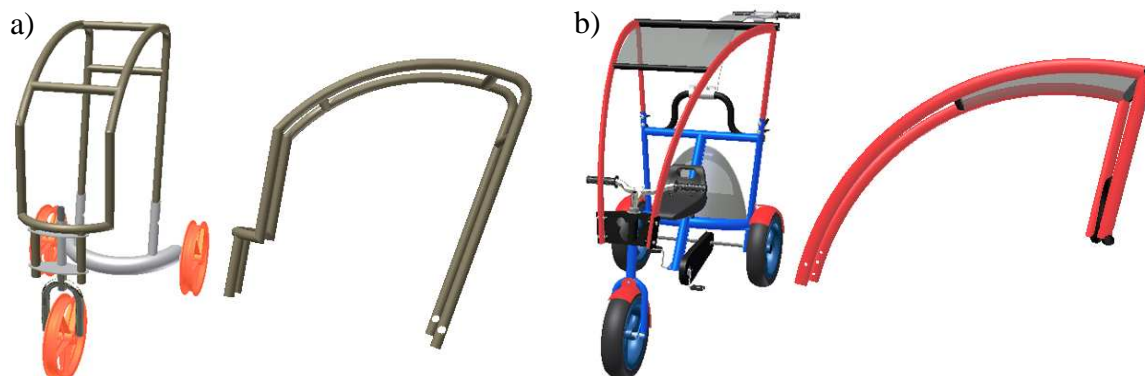
## 2. PROJEKT POJAZDU REHABILITACYJNEGO DLA DZIECI

### 2.1. Założenia projektowe

Analiza rozwiązań konstrukcyjnych istniejących na rynku pojazdów rehabilitacyjnych, dała możliwość sporządzenia założeń projektowych i wprowadzenia pewnych innowacji. Dużym atutem istniejących rozwiązań jest ich modułowość. Jednak mimo możliwości zainstalowania jednego elementu w różnych modelach danej firmy, każda część spełnia zwykle jedną określoną funkcję. Wychodząc naprzeciw potrzebom rynkowym, w omawianym projekcie pojazdu podjęto próbę zamodelowania takiej konstrukcji, która cechując się wielofunkcyjnością, znajdowałaby zastosowanie w różnych dziedzinach życia dziecka.

### 2.2. Kryterialna ocena rozwiązań

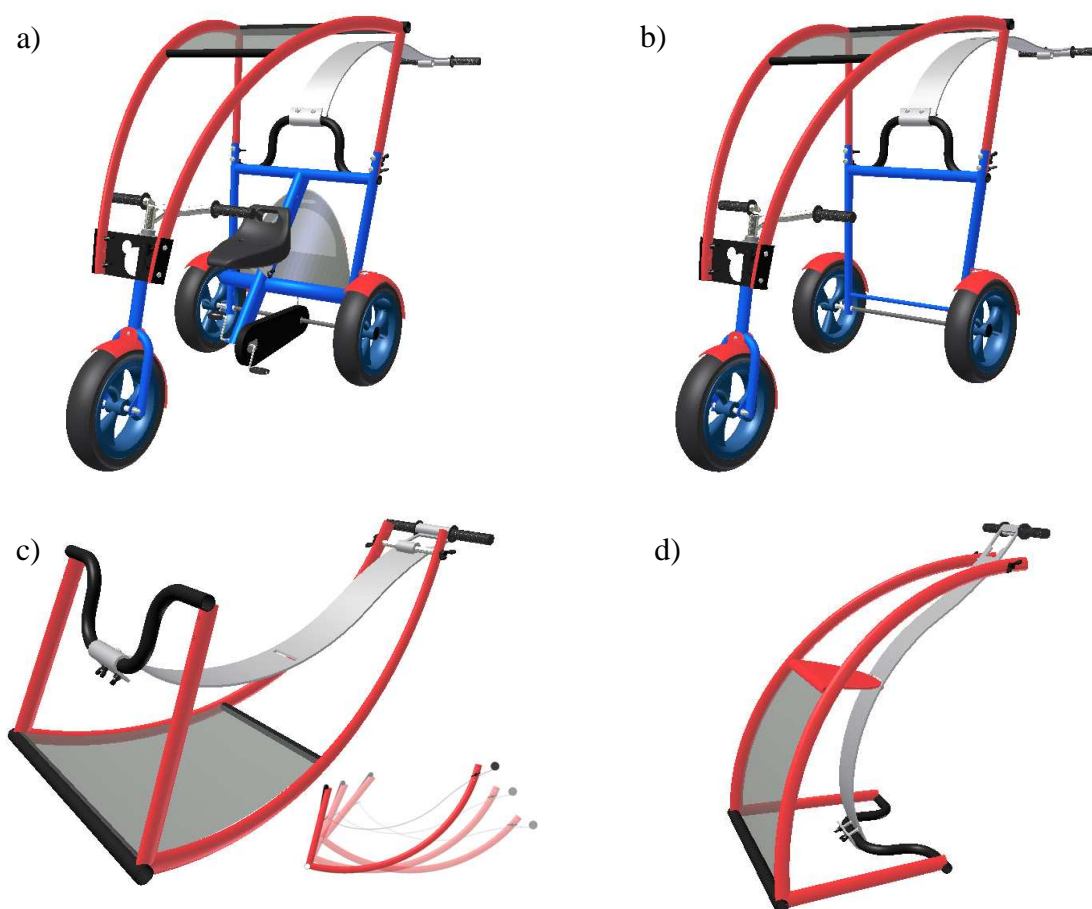
W początkowym etapie projektowania konstrukcji ramowej, realizowano dwie koncepcje. Obie zamodelowano z wykorzystaniem programu Inventor. Koncepcja pierwsza, zobrazowana na rysunku 3a, została odrzucona na korzyść drugiej przedstawionej na rys. 3b.



Rys. 3. Konstrukcje nośne pojazdu: a) koncepcja 1, b) koncepcja 2

Wybór właściwej konstrukcji został dokonany na podstawie wniosków wyciągniętych z przeprowadzonej kryterialnej oceny rozwiązań. Stwierdzono, że drugi wariant lepiej spełnia założenia projektowe i przeważa nad pierwszym w wielu względach. Dzięki większej stabilności uzyskanej przez pochylenie bocznych profili w kierunku zewnętrznym cechuje go dużo większe bezpieczeństwo użytkowania. Estetyczny wygląd będzie zachęcał dziecko do częstszych ćwiczeń i korzystania z urządzenia. Wielofunkcyjność drugiego wariantu sprawia, również, że rehabilitacja z jego wykorzystaniem nie będzie nudna i zapewni dziecku wiele przyjemności.

Omawiany pojazd rehabilitacyjny składa się z czterech modułów przystosowanych do szybkiego montażu i demontażu zapewniając urządzeniu jego wielofunkcyjność. Moduły w odpowiednim połączeniu sprawiają iż zaprojektowane urządzenie może być stosowane jako: rowerek, chodzik, huśtawka – tzw. „koń na biegunach” oraz krzeselko (rys. 4)



Rys. 4. Możliwość modyfikacji ramy nośnej pojazdu w:  
a) rowerek, b) chodzik, c) huśtawkę, d) krzeselko

### 2.3. Analiza wytrzymałościowa opracowanej konstrukcji

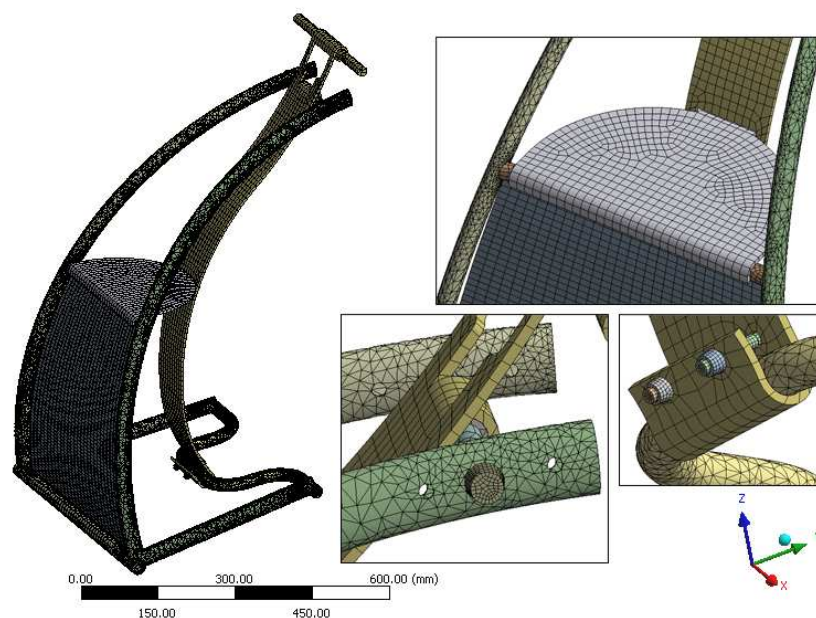
Analizę wytrzymałościową przeprowadzono w programie Ansys Workbench. Jej celem było zbadanie prawidłowości dobranych materiałów oraz oszacowanie występujących w konstrukcji przemieszczeń i naprężeń. Analizę wytrzymałościową ograniczono do konstrukcji nośnej pojazdu. Ze względu na wielofunkcyjność tejże konstrukcji oraz zróżnicowany sposób obciążania, poddano ją badaniom w zależności od pełnionej funkcji. Badania wykonano dla trzech pozycji: krzesła, ramy rowerowej oraz huśtawki.

W analizie przyjęto własności materiałów użytych do produkcji, które przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Przyjęte właściwości materiałowe [3]

Właściwości	Stal	Tworzywo sztuczne
Moduł Younga, E	210 GPa	3,4 GPa
Współczynnik Poissona, $\nu$	0,3	0,38
Gęstość, $\rho$	7850 kg/m <sup>3</sup>	1050 kg/m <sup>3</sup>
Granica plastyczności, $R_e$	250 MPa	17,5 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie, $R_m$	460 MPa	50 MPa

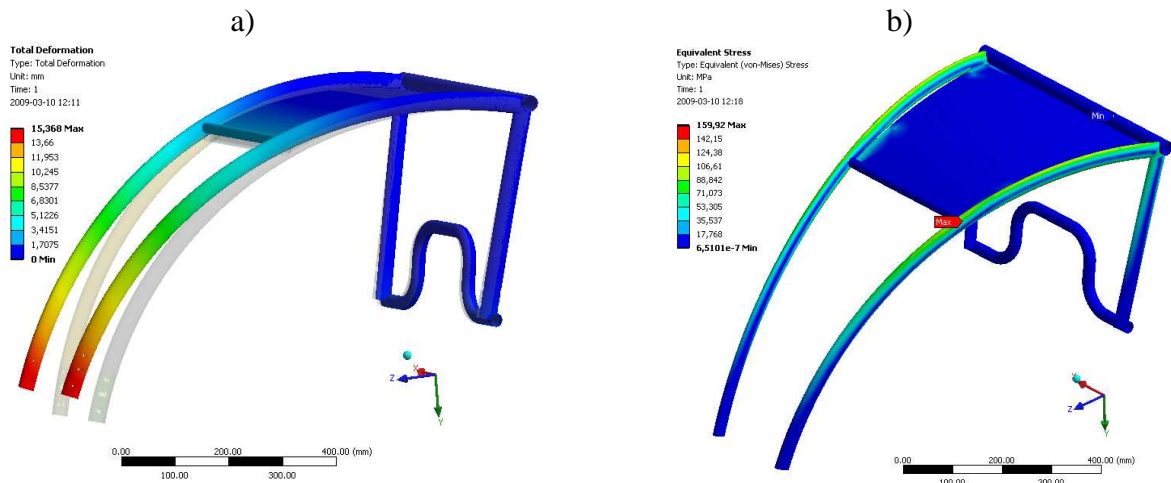
Na potrzeby analizy wytrzymałościowej model podzielono na elementy skończone. Przy generowaniu siatki elementów skończonych wielkości i rodzaje elementów dostosowano w zależności od rozmiarów części, oraz stopnia skomplikowania kształtu. Gotowy model dyskretny konstrukcji nośnej pokazano na rysunku 5.



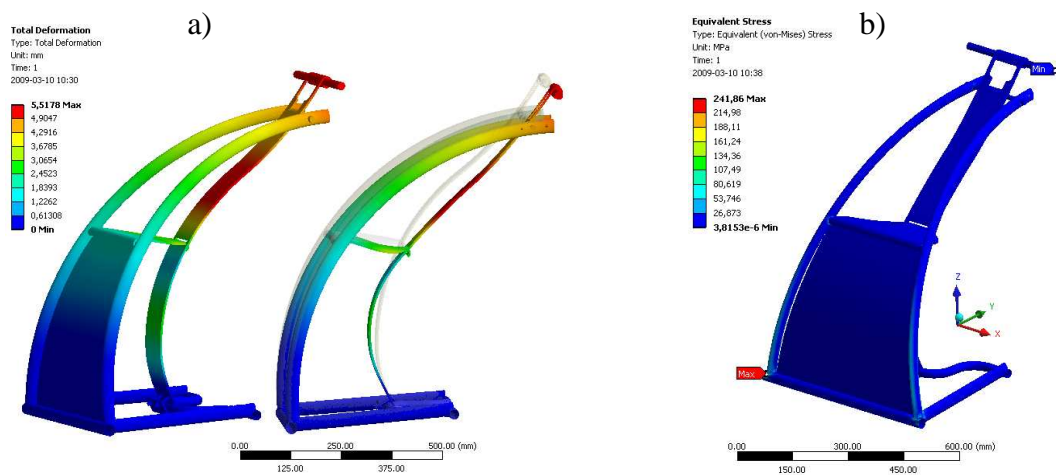
Rys. 5. Model dyskretny konstrukcji nośnej pojazdu

W kolejnych etapach analizy zakładano zmienne warunki brzegowe i obciążenia, których wartości odpowiadają masie dziecka korzystającego z urządzenia. W wyniku obliczeń otrzymano przemieszczenia całkowite, przemieszczenia kierunkowe – zgodne z kierunkiem działania sił, naprężenia redukowane wg hipotezy H–M–H oraz odkształcenia.

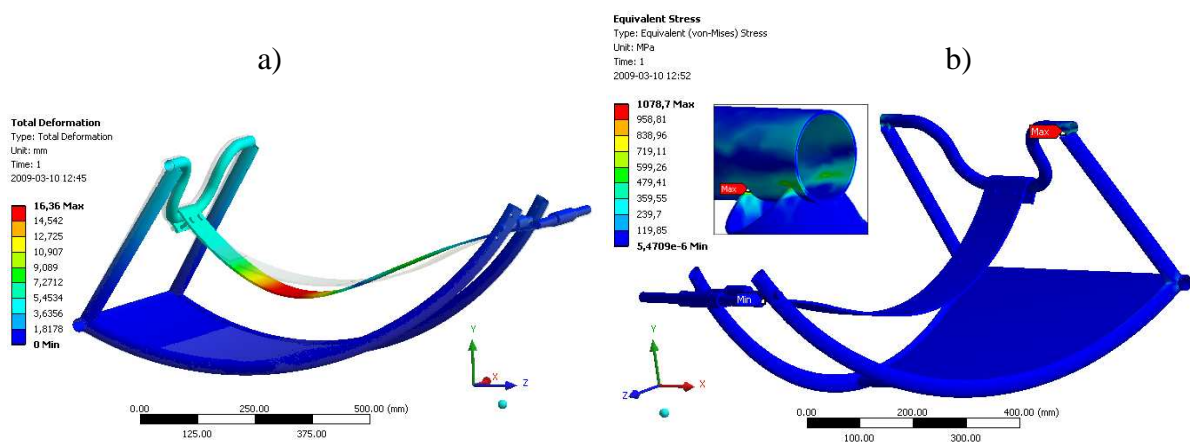
Podczas analizy wytrzymałościowej ramy rowerowej (rys. 6) zauważono, że wartości przemieszczeń konstrukcji stalowej są trzy krotnie większe od pozostałych przypadków, dochodząc do 15mm. Pomimo tak dużych przemieszczeń, wyznaczone naprężenia nie przekraczały wartości dopuszczalnych. Również w analizie krzesła (rys. 7) naprężenia były mniejsze od dopuszczalnych i wynosiły 50MPa, a maksymalne przemieszczenia osiągały wartość 6mm, co świadczy o wysokiej sztywności konstrukcji. Przy analizie wytrzymałościowej huśtawki (rys. 8) uzyskano wyniki porównywalne do wcześniejszych przypadków. Maksymalne odkształcenia występujące w konstrukcji nie wpływają negatywnie na stabilność konstrukcji, a maksymalne naprężenia elementów polistyrenowych dochodzą do połowy wartości granicy plastyczności.



Rys. 6. Konstrukcja ramy rowerowej a) przemieszczenia całkowite, b) mapa naprężeń zredukowanych wg hipotezy H-M-H



Rys. 7. Konstrukcja krzeselka a) przemieszczenia całkowite, b) mapa naprężeń zredukowanych wg hipotezy H-M-H



Rys. 8. Konstrukcja huśtawki – położenie drugie a) przemieszczenia całkowite, b) mapa naprężeń zredukowanych wg hipotezy H-M-H

### 3. PODSUMOWANIE

Ze względu na istotne znaczenie roweru w ćwiczeniu równowagi, jak również w rehabilitacji dzieci z niedowładem kończyn dolnych, dziecięcym porażeniem mózgowym oraz innymi chorobami układu ruchu podjęto się w pracy opracowania konstrukcji pojazdu będącego alternatywą dla istniejących na rynku rozwiązań konstrukcyjnych.

Wykorzystując specjalistyczne oprogramowanie wykonano model wielofunkcyjnego pojazdu trójkołowego, pomocnego zarówno w rehabilitacji jak i rekreacji. Pojazd został wyposażony w 4 moduły, dzięki którym zmiana jego funkcji odbywa się w łatwy i szybki sposób. Każdy z modułów poddano szczegółowej analizie wytrzymałościowej przeprowadzając szereg symulacji.

Przeprowadzone analizy wytrzymałościowe umożliwiły wykrycie miejsc najbardziej narażonych na powstawanie uszkodzeń. Zauważono, że wartości maksymalnych naprężeń w każdym badanym przypadku występowały jedynie w miejscu ostrych krawędzi, które w rzeczywistości są przetopione przez spoinę. Natomiast pozostałe wartości nie przekraczały wartości dopuszczalnych naprężeń. Również przemieszczenia występujące w konstrukcji nie wpływają negatywnie na stabilność konstrukcji, co świadczy o jej wysokiej sztywności.

Otrzymane wyniki potwierdziły spełnienie przez konstrukcję nośną wszystkich założonych funkcji, pozostawiając znaczny margines bezpieczeństwa. Jednak dla przeprowadzenia rzeczywistych testów wytrzymałościowych, a także wykazania przydatności pojazdu do rehabilitacji dzieci należałoby wykonać prototyp, który umożliwiłoby na ocenę najważniejszych jego cech konstrukcyjnych.

## LITERATURA

- [1] Milanowska K., Nowotny J., Grochmal S., „Podstawy rehabilitacji ruchowej”, Tom 1 i 2, Wydawnictwo Sport i Turystyka, Warszawa 1981.
- [2] Nowotny J., „Podstawy fizjoterapii - podstawy teoretyczne i wybrane aspekty praktyczne cz. I”, Wydawnictwo Kasper, Kraków 2004.
- [3] Dobrzański L., „Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo”, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2002.
- [4] [www.choroby.biz](http://www.choroby.biz)
- [5] [www.misiarz.pl](http://www.misiarz.pl)
- [6] [www.mdh.pl](http://www.mdh.pl)
- [7] [www.vanraam.nl](http://www.vanraam.nl)
- [8] [www.draisin.com](http://www.draisin.com)

## STEREOMECHANIC ANALYSIS OF VEHICLE FOR CHILDREN REHABILITATION

Summary. The project of a multifunctional tricycle for disabled children is presented in this paper. Modal construction of tricycle has been developed for children rehabilitation. A stereomechanical analysis of the vehicle's frame has allowed to verify material properties and its strength. The calculations and simulations have been made in Ansys Workbench program. Obtained results were used to propose final conclusions.