

WÓZEK INWALIDZKI Z OPCJĄ JAZDY PO SCHODACH METODYKA KONSTRUOWANIA

Grzegorz DOBRZYŃSKI*, Włodzimierz CHROMAŃSKI*

*Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ul. Koszykowa 75., 00-662, Warszawa

dobrzynski.grzegorz@gmail.com, wch@it.pw.edu.pl

Streszczenie: Wózków inwalidzkich łączących cechy użytkowe z funkcją pokonywania przeszkód i poruszania się po schodach jest na świecie tylko kilka ofert rynkowych, a ich cena zbliżona jest do ceny luksusowego samochodu osobowego. Prac naukowych dotyczących zagadnień konstruowania i badania dynamiki wózków inwalidzkich jest bardzo mało. Niewspółmiernie mało, w stosunku do zapotrzebowania społecznego na tego typu pojazdy. Praca pokazuje w sposób kompleksowy badania nad koncepcją własną wózka inwalidzkiego poruszającego się również po schodach. Zaprezentowano proces projektowania z wykorzystaniem technik CAX, budowy prototypu oraz badań weryfikacyjnych i walidacyjnych na prototypie.

1. WSTĘP

Współczesne warunki cywilizacyjne powodują szeroko rozumiane usprawnienie i ułatwienie życia społeczeństwa, kreując zarazem nową jakość bytu dla każdej jednostki ludzkiej. Jednocześnie jednak ten dynamiczny rozwój stwarza istotne zagrożenia dla życia i zdrowia. Rozwój motoryzacji, choroby cywilizacyjne i wojny to tylko niektóre przykłady. Prowadzą one często do śmierci lub trwałego kalectwa, w tym również do niesprawności układu ruchowego człowieka. W tym miejscu trzeba podkreślić jeszcze jeden istotny element, a mianowicie ogólnoswiatową tendencję do „starzenia” się społeczeństw. Udział ludzi starszych, wyłączonych ze strefy produkcyjnej, często z silną dysfunkcją układu ruchowego staje się problemem społecznym. Z drugiej strony, w miarę poprawy jakości i czasu trwania życia, rosną oczekiwania społeczne na dokonanie kolejnych odkryć w zakresie medycyny, technicznych urządzeń wspomagających leczenie oraz opiekę nad osobami chorymi i niepełnosprawnymi. Z kolei osoby niepełnosprawne emancypują się społecznie i zawodowo, czemu na przeszkodzie stają często prozaiczne i niedostrzegalne dla osób zdrowych przeszkody. Wspomniane powyżej kwestie były inspiracją podjęcia tematyki budowy zaawansowanych technicznie, tanich, pojazdów przeznaczonych dla osób z dysfunkcją układu ruchowego. Jedną z istotniejszych funkcji realizowanych przez wózek inwalidzki będący przedmiotem pracy jest opcja pokonywania przeszkód. Słowo „mechatroniczny” użyte w tytule, związane jest z faktem, iż wózek wyposażony będzie w zintegrowane układy sterowania pozwalające na pokonywanie przeszkód typu próg oraz schody. Podstawowe wymagania dotyczące pojazdu – wózka inwalidzkiego zostały sformułowane następująco:

- Umożliwienie ruchu po różnych nawierzchniach (nawierzchnia nierówna, piasek, śnieg, itd.);
- Możliwie małe gabaryty;
- Możliwość jazdy po schodach prostych;

- Możliwość samodzielnego wjazdu do autobusu nisko-podłogowego;
- Możliwość podnoszenia oraz opuszczania osoby niepełnosprawnej (celem np. zdjęcia towaru z górnej półki w supermarkecie lub załatwienie formalności przy wysokim okienku pocztowym);
- Niska cena.

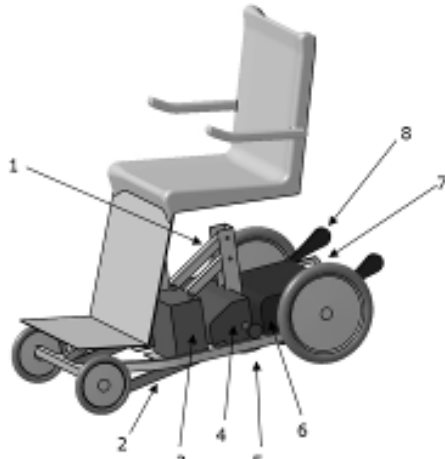
Wózków inwalidzkich łączących te cechy jest na świecie tylko kilka ofert rynkowych, a ich cena zbliżona jest do ceny luksusowego samochodu osobowego.

Praca ta pokazuje w sposób kompleksowy badania pojazdów typu wózek inwalidzki, tzn. badania poprzez proces projektowania z wykorzystaniem technik CAX, budowy prototypu oraz badań weryfikacyjnych i walidacyjnych na prototypie.

2. OPIS AUTORSKIEJ KONSTRUKCJI WÓZKA INWALIDZKIEGO PORUSZAJĄCEGO SIĘ PO SCHODACH

W niniejszym rozdziale przedstawiono ogólną koncepcję autorskiej metody pokonywania przeszkód i schodów przez wózek inwalidzki. Z uwagi na wciąż trwająca procedurę patentowania ograniczono się do zaprezentowania najistotniejszych cech funkcjonalnych opracowanej konstrukcji. Na Rys. 1 przedstawiono model ogólny funkcjonalny wózka inwalidzkiego WEKTOR. Na bazie tej koncepcji omówiono główne założenia konstrukcyjne i funkcjonalne. Wózek ma możliwość poruszania się zarówno po powierzchniach płaskich jak i schodach, stopniach i krawężnikach. Pojazd ten ma układ napędowy składający się z dwóch silników elektrycznych (4) napędzających koła tylne. Poprzez różnicowanie prędkości pomiędzy nimi będzie zmieniany kierunek jazdy. Układy wózka będą zasilane przez dwa bezobsługowe akumulatory żelowe – 12V, 2x17Ah. Są one umieszczone możliwie w miejscu pozwalającym uzyskać najkorzystniejsze położenie środka ciężkości (3). Pod siedziskiem znajduje się układ unoszenia sie-

dziska (1). Powiązany z nim jest układ korekcji pochylenia siedziska w trakcie pokonywania przeszkody. W tylnej części wózka znajduje się ramię schodowe (8) unoszące wózek na przeszkodę. Napędzane jest ono przez moduł silnika z przekładnią (6). W trakcie pokonywania przeszkód dużą rolę odgrywają układy rozpoznawania odległości od krawędzi: przedni (5) oraz tylny (7). Na etapie wjazdu i zjazdu z przeszkody pomocna jest również płoza ślizgowa (2).



Rys. 1. Model ogólny koncepcji konstrukcji wózka inwalidzkiego

Wózek posiada dwa tryby jazdy: *normalny* i *przeszkoda*. Tryb normalny służy do poruszania się po powierzchniach płaskich i niewielkich nierównościach. Mamy do wyboru dwa biegi: I i II. Na biegu pierwszym wózek osiąga prędkość maksymalną 3km/h i jest przewidziany do używania w niedużych pomieszczeniach. Jego zaletą jest ułatwienie starowanie kierunkiem jazdy. Bieg II używany jest do pokonywania dłuższych odcinków. Wymaga większej precyzji w posługiwaniu się manetką sterowania kierunkiem jazdy.

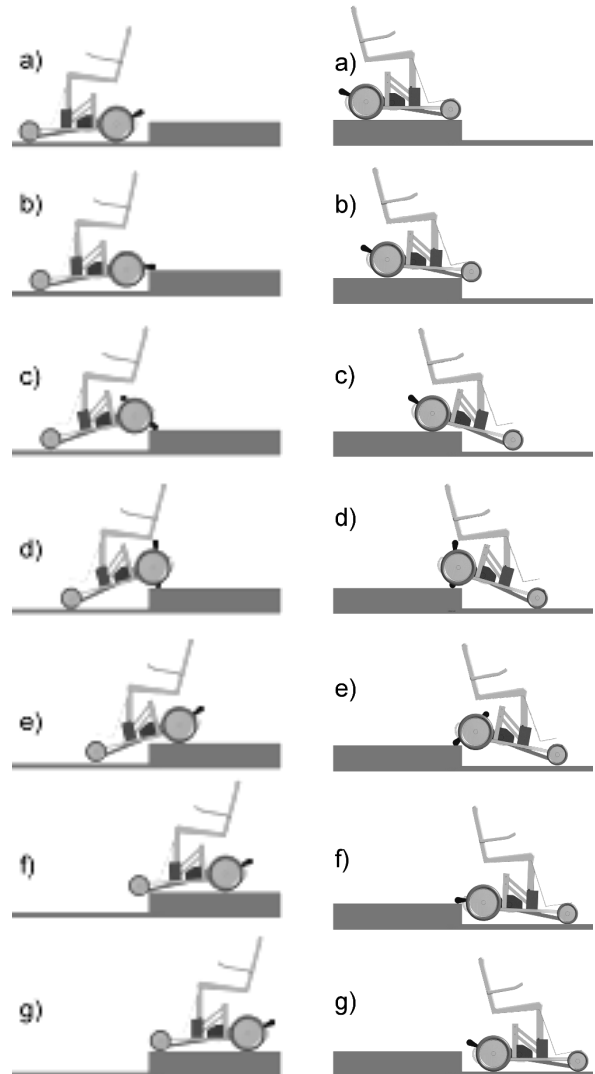
Wózek posiada też funkcję podnoszenia siedziska na wyższy poziom. W trakcie tego procesu koła wózka zostają zablokowane i nie ma możliwości jazdy. Przewidywany jest również system sygnalizacji dźwiękowej przypominający o tym trybie pracy.

Założenia parametrów eksploatacyjnych dokonano na podstawie analizy potrzeb osób niepełnosprawnych. Na wstępnym etapie projektu dokonano założeń dotyczących głównych parametrów eksploatacyjnych:

- Wysokość stopnia 0,05/0,2m;
- Głębokość stopnia 0,27/∞ m;
- Akumulator 12V, 2x17Ah;
- Masa akumulatorów 16kg;
- Autonomia (czas pracy) 5h;
- Maksymalny udźwig 90kg;
- Waga 70kg;
- Minimalna przestrzeń wymagana do manewru 1,1*1,1m;
- Prędkość na pierwszym biegu 0,8m/s;
- Prędkość na drugim biegu 2m/s;
- Średnia prędkość jazdy po schodach 0,05m/s;
- Minimalna szerokość schodów 0,8m;
- Maksymalna pochyłość do pokonania 35°;
- Wysokość unoszenia siedziska 0,45m.

Przedstawiony na Rys. 2 algorytm pokonywania przeszkody jest wyjaśnieniem zasady działania autorskiej koncepcji konstrukcji. Zaprezentowane etapy wjazdu (Rys. 2) będą realizowane w identyczny sposób przy pokonywaniu wielu schodów, z tym że po osiągnięciu fazy e) nastąpi wykonywanie fazy a) w powtarzającej się pętli, aż do momentu pokonania schodów. Etap zjazdu ze schodów (Rys. 2 prawa część schematu) będzie realizowany identycznie jak zjazd z pojedynczego progu w powtarzającym się cyklu, z tym że po ostatniej fazie g) realizowana będzie faza c).

2.1. Wjazd na przeszkodę



Rys. 2. Sekwencja obrazująca algorytm wjazdu i zjazdu z przeszkody

Do wjazdu na wszelkiego rodzaju przeszkodę wyższe niż 5cm podjeżdżamy tyłem. Zbliżając się do wjazdu na przeszkodę, krawężnik lub schody kierujący przełącza sterowanie na tryb jazdy „przeszkoda”. Prędkości głównych silników zostaną zredukowane, a układy rozpoznawania odległości rozpoczną działanie (Rys. 2, faza a). System sterowania zbliży wózek do krawędzi przeszkody na odpowiednią odległość i ustawi go prostopadłe. Rozpocznie się faza b). Główne silniki napędowe zostaną wyłączone,

a koła napędowe zostaną zablokowane. Pracę rozpocznie napęd ramienia unoszącego. Przechodząc do kolejnych faz c) i d) układ sterownia utrzymuje siedzisko w poziomie. Faza e) rozpocznie się po wykonaniu obrotu o 180° przez ramię unoszące. Zostaną uruchomione główne silniki napędowe i ze zredukowaną prędkością będą wprowadzały wózek na przeszkodę. Działające układy rozpoznawania odległości będą monitorowały czy przed wózkiem stoi zadanie pokonania kolejnego stopnia. Jeśli tak ponownie rozpocznie się cykl od fazy a). Jeżeli był to ostatni stopień przeszkody wózek ze zredukowaną prędkością będzie poruszał się do tyłu. W fazie f) krawędź przeszkody przesuwana się po szynie poślizgowej i następuje wprowadzenie przednich kół na przeszkodę. W końcowej fazie g) użytkownik przełącza tryb sterownia na „normalny”.

2.2. Zjazd z przeszkody

Przygotowując się do zjazdu z różnego rodzaju przeszkód wózek należy kierować przodem możliwie prostopadle do jej krawędzi. Z trybu jazdy „przeszkoda” korzystamy dla pokonywania stopni wyższych niż 5cm. O momencie załączenia tego trybu decyduje użytkownik. Z chwilą załączenia trybu „przeszkoda” (Rys. 2 faza a) nastąpi redukcja prędkości silników głównych a układy rozpoznawania odległości, umieszczone pomiędzy osią przednią i tylną wózka, rozpoczną działanie. System sterowania, śledząc położenia płóz wózka na krawędzi, wykona korektę kierunku jazdy (faza b). Kontynuując zjeżdżanie układ rozpoznawania odległości w odpowiednim momencie zatrzyma główne silniki napędowe (faza c). Rozpocznie się faza d). Koła napędowe zostaną zablokowane. Pracę rozpocznie napęd ramienia unoszącego. Przechodząc do kolejnych faz e) i f) układ sterownia utrzymuje siedzisko w poziomie. Faza g) rozpocznie się po wykonaniu obrotu o 180° przez ramię unoszące. Zostaną uruchomione główne silniki napędowe i ze zredukowaną prędkością będą sprowadzały wózek z przeszkody. Działające układy rozpoznawania odległości będą monitorowały czy przed wózkiem stoi zadanie pokonania kolejnego stopnia. Jeśli tak ponownie rozpocznie się cykl od fazy d). Jeżeli był to ostatni stopień przeszkody wózek ze zredukowaną prędkością będzie poruszał się do przodu. Po zakończeniu fazy g) użytkownik przełącza tryb sterownia na „normalny”.

3. BADANIA SYMULACYJNE

W dobie rozwijającej się komputeryzacji, w coraz większym stopniu przed zbudowaniem modelu fizycznego (prototypu), wykonuje się szereg symulacji komputerowych. Symulacje te pozwalają – już we wczesnym etapie projektowania – wykryć ewentualne błędy, rozwiązać różnego rodzaju problemy konstrukcyjne, które do niedawna jeszcze wymagały zaangażowania wielkich środków finansowych, zasobów ludzkich oraz czasu, aby zbudować model rzeczywisty i dodatkowe stanowisko badawcze. Prace nad modelem symulacyjnym prowadzono łącząc budowę modelu CAD z systemem MBS.

Z uwagi na przyjęte uproszczenia model ciała człowieka można zredukować do jednej bryły o parametrach masowych i bezwładnościowych odpowiadających ciału czło-

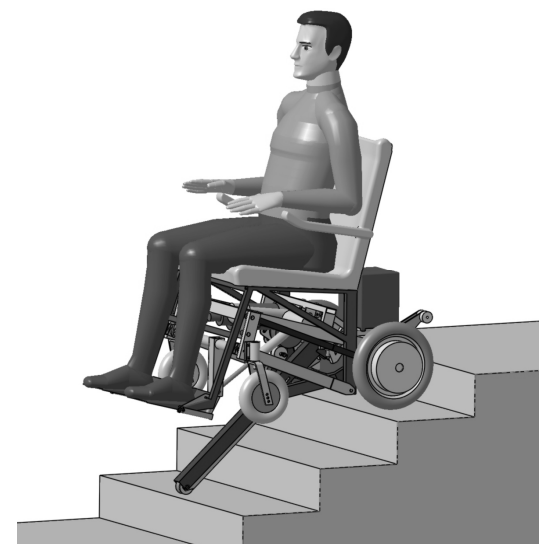
wieka. Dla uproszczenia tego zabiegu wykorzystano możliwości programu Catia.



Rys. 3. Położenie środka ciężkości układu wózek-użytkownik dla prezentowanego modelu symulacyjnego



Rys. 4. Model symulacyjny wózka inwalidzkiego wykonany w systemie ADAMS

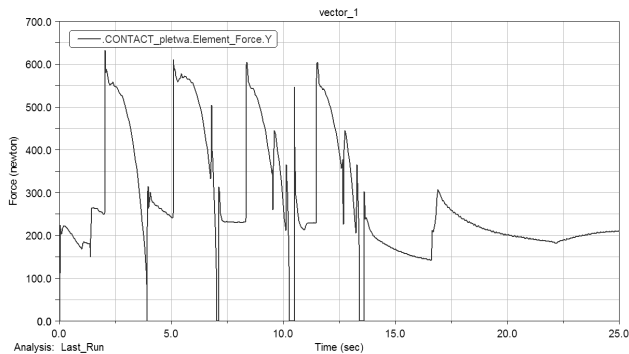


Rys. 5. Model projektu konstrukcyjnego CAD3D-CATIA

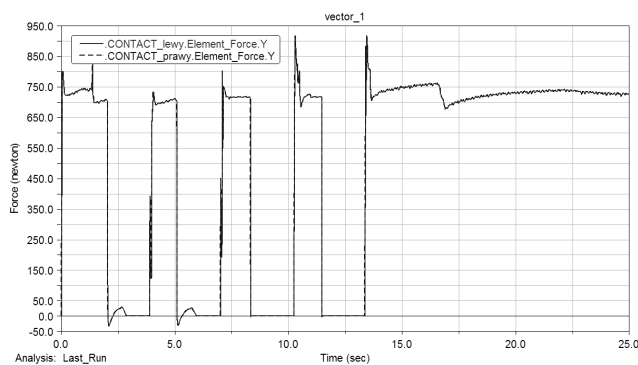
Opierając się na danych literaturowych, wygenerowany został wielocłonowy układ przedstawiający człowieka w pozycji siedzącej, następnie otrzymano masę, środek ciężkości oraz momenty bezwładności tego układu. Szczegółowy opis modelu symulacyjnego układu człowiek – wózek inwalidzki – schody został zaprezentowany w pracy Dobrzyńskiego i innych (2008). Na Rys. 4 zaprezentowano

widok modelu symulacyjnego, a na Rys. 5 model projektu konstrukcyjnego CAD3D - CATIA.

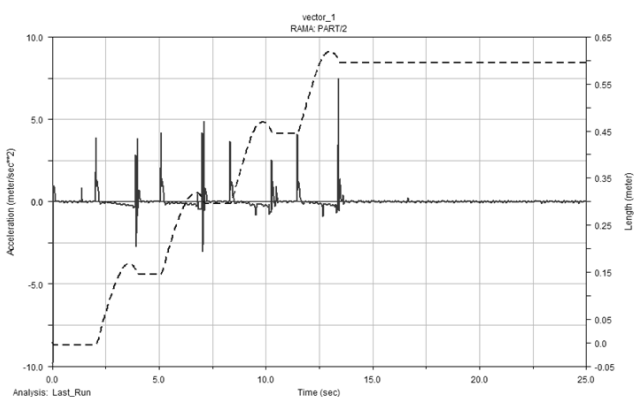
Przedstawiony powyżej model, poddany został badaniom symulacyjnym. Poniżej, na Rys. 6 oraz na Rys. 7 przedstawiono wykresy zmienności sił występujących w obszarze kontaktu, przy pokonywaniu przez wózek inwalidzki, czterech schodów. Przedstawiono proces wjazdu. Można przyjąć, że jest to wielokrotnie powtórzony algorytm przedstawiony na Rys. 2.



Rys. 6. Siły wypadkowe występujące w kontakcie ramienia wleczonego z podłożem



Rys. 7. Siły wypadkowe występujące w kontakcie kół z podłożem



Rys. 8. Przebieg zmian przyspieszenia, w kierunku pionowym, jakim podlega przewożona osoba

Na Rys. 8 pokazano zestawienie przebiegu zmian przyspieszenia, jakim podlega przewożona osoba. Pozwala to ocenić rodzaj oraz parametry zastosowanych elementów amortyzujących między siedziskiem a ramą wózka.

4. BADANIA LABORATORYJNE

W badaniach laboratoryjnych podjęto próbę wyznaczenia wartości współczynnika określającego energię drgań przenoszoną na osobę poruszającą się na wózku inwalidzkim. Do prób wykorzystano dwie konstrukcje:

- EXPLORER - wózek gąsienicowy produkcji TGR-Italy;
- WEKTOR – konstrukcja, prototyp laboratoryjny - opracowana przez Zakład Teorii Konstrukcji Urządzeń Transportowych, Wydział Transportu PW.

Na Rys. 9 przedstawiono wózek „Explorer”, na którym przeprowadzono serię badań doświadczalnych. Wózek ten został zakupiony przez Wydział Transportu PW i skierowany do badań w Międzyzakładowym Laboratorium Badań Doświadczalnych i Symulacyjnych Układu Człowiek-Środki Transportu-Otoczenie. W dalszej części pracy zostaną zaprezentowane wyniki tych badań.

Pojazd ten ma dwa układy jezdne. Do poruszania się po równym terenie wykorzystuje układ trzech kół gdzie dwa tylne są napędzane, zaś przednie odpowiada za nadawanie kierunku jazdy. Po schodach natomiast przemieszcza się za pomocą gąsienic z niezależnym napędem na każdą z nich, co pozwala na pokonanie każdego typu schodów.



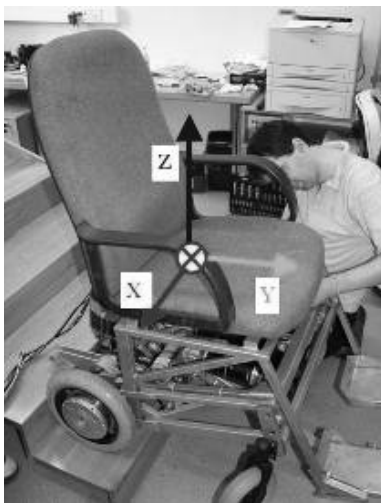
Rys. 9. Wózek samojezdny EXPLORER

Ponieważ w dalszej części pracy będą czynione odniesienia do tej konstrukcji, poniżej przedstawiono jej najważniejsze cechy eksploatacyjne. Wózek może być używany przez osobę posiadającą zdolność psychomotoryczną do samodzielnego użytkowania technicznych urządzeń jezdnych. Posiada dwie funkcje jazdy: na kołach lub na gąsienicach. Jest zaprojektowany i wytworzony, jako urządzenie zapewniające kompleksowo funkcję zjazdu i wjazdu po schodach, oraz funkcję swobodnego przemieszczania się po powierzchniach płaskich. Zalecana jest eksploatacja urządzenia w powietrzu o niewielkiej wilgotności w temperaturze -10°C do +40°C. Do najważniejszych parametrów eksploatacyjnych należy zaliczyć:

- Minimalna/maksymalna wysokość stopnia 6/18cm;
- Minimalna/maksymalna głębokość stopnia 27cm/32 cm;
- Akumulator 12V, 2x40Ah;
- Autonomia (czas pracy) 5 godzin;

- Maksymalny udźwig 110kg;
- Waga 118kg;
- Minimalny promień skrętu na gąsienicach 68cm;
- Minimalny promień skrętu na kołach 100cm;
- Minimalna przestrzeń wymagana do manewru 115x115cm;
- Prędkość na pierwszym biegu 3km/h;
- Prędkość na drugim biegu 6km/h;
- Prędkość jazdy po schodach (na gąsienicach) 0,5km/h;
- Minimalna szerokość schodów 80cm;
- Maksymalna pochyłość do pokonania 33°.

Do rejestracji drgań wykorzystano akcelerometry trójosiowe połączone z układem rejestracji. Czujnik trójosiowy został umieszczony w obszarze środkowym siedziska, w miejscu przyjmowanym jako miejsce wypadkowej reakcji siedzenia na pasażera. Usytuowanie tego akcelerometru wraz z kierunkami działania pokazano na Rys. 10.



Rys. 10. Lokalizacja i kierunki działania trójosiowego czujnika przyspieszeń

Z uwagi na charakter ruchu, do dalszych analiz wykorzystano sygnały zarejestrowane z kierunków Y i Z, gdzie na kierunku Z pojawiają się największe wartości parametru energii drgań. Po umieszczeniu czujnika w wskazanym powyżej miejscu wózki poddano obciążeniu o masie 76 kg. Rozmieszczenie obciążników w przybliżony sposób pozwoliło zastąpić model człowieka. Ten etap przygotowań zaprezentowano na Rys. 11.

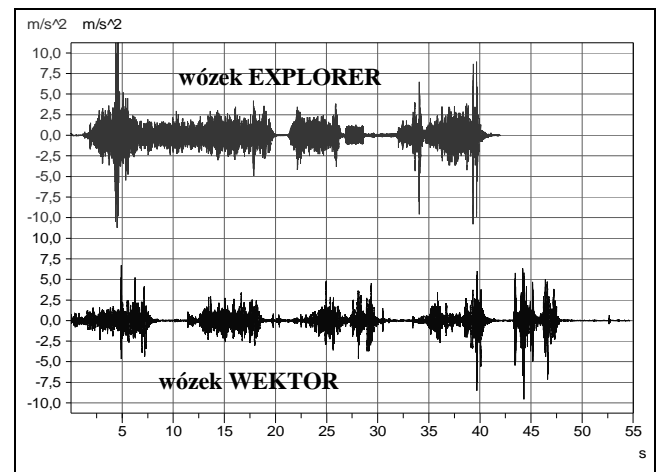
Dla każdego z wózków rejestrowano oddzielnie etap wjazdu i zjazdu. Badane wózki mają różną metodę pokonywania schodów i czas tego zadania jest uzależniony od wielu czynników. W celu porównania wyników otrzymanych dla badanych konstrukcji przyjęto jako podstawę zakres zadania rozumiany, jako praca do wykonania, czyli możliwość pokonania 4 schodów pokazanych na rysunkach powyżej.

Sygnal pomiarowy rejestrowany był od chwili przełączenia się wózków w tryb jazdy po schodach, aż do momentu wjechania na część końcową schodów i przełączenia się w tryb jazdy po powierzchniach poziomych.



Rys. 11. Sposób obciążenia wózków inwalidzkich

Poniżej na Rys. 12 przedstawiono przebiegi czasowe drgań dla wózków podczas wjazdu na schody. Wózek Explorer do pokonania tych schodów potrzebował 42s, zaś wózek Wektor 54s. Już pobieżna ocena tych wykresów wskazuje na mniejszą wartości energii drgań siedziska dla wózka Wektor.

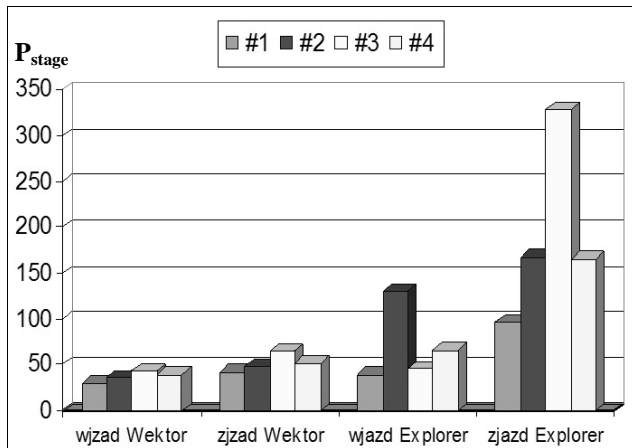


Rys. 12. Przebiegi czasowe drgań dla wózków podczas wjazdu na schody

W celu lepszego porównania wyników, dla wielu prób, przygotowano algorytm wyznaczający bezwymiarowy parametr określający liczbowo wartość energii drgań P_{stage} w czasie T jednego powtórzenia wjazdu lub zjazdu ze schodów (wzór nr 1).

$$P_{stage} = \frac{1}{T} \int_0^T (Y_{(t)}^2 + Z_{(t)}^2) dt \quad (1)$$

Wyznaczone wartości zobrazowano na wykresie poniżej (Rys. 13).



Rys. 13. Wykres wartości parametru energii drgań dla kolejnych prób oznaczonych przez: #1, #2, #3, #4.

5. PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań laboratoryjnych wskazują na poprawność założeń metody pokonywania schodów zastosowanej w konstrukcji wózka Wektor. Ta autorska metoda daje lepsze efekty niż handlowa i znana konstrukcja wózka Explorer. Niniejszy artykuł jest udokumentowaniem procesu projektowania z wykorzystaniem technik CAx, budowy prototypu oraz badań weryfikacyjnych i walidacyjnych na prototypie. Zaprezentowane własne rozwiązania konstrukcyjne są częścią zgłoszenia patentowego i są chronione prawem autorskim.

LITERATURA

1. Dobrzyński G., Choromański W., Kowara J. (2008), A Simulation Study of the New Concept of a Stair-Climbing Wheelchair - Concept of Construction, *Proceedings of BIO-DEVICES 2008 – International Conference on Biomedical Electronics and Devices*, INSTICC Press, Funchal, Madeira - Portugal; 28 - 31 January, CD, volume I, 143-146;
2. Engstrom B. (2002), *Ergonomic seating. A true challenge*. Wheelchair Seating & Mobility Principles, Medio Druck & Logistik GmbH, Germany.
3. Frączek J. (2002), *Modelowanie mechanizmów przestrzennych metodą układów wieloczłonowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, (assistant professor thesis), Warszawa.
4. Kim S. K., White S. W., Bajaj A. K. (2003), Simplified models of the vibration of mannequins in car seats, *Journal of Sound and Vibration* 264, 49-90.
5. Seireg A., Arvikar R. (1989), *Biomechanical Analysis of the Musculoskeletal Structure for Medicine and Sport*, Hampshire Publishing Co, New York.
6. Zabłocki M. (2002), *Metodyka projektowania urządzeń technicznych dla osób niepełnosprawnych*, WMRiT, (doctoral thesis), Politechnika Poznańska.

THE MECHATRONIC WHEELCHAIR WITH THE FUNCTION OF OVERCOMING PHYSICAL OBSTRUCTIONS

Abstract: On the market there are only few offers of wheelchairs combining their motor function with the function of surmounting physical obstructions and ascending or descending stairs. Their prices are comparable to those of luxury cars. There are also few research papers concerning the dynamics of wheelchairs. Definitely too few considering the social demand for vehicles of this type. The authors of this paper are convinced that it is one of the first papers in the world dealing, in a comprehensive way, with wheelchairs. It presents the design process using CAx techniques together with the prototype construction and verification/validation studies conducted on the prototype.

Pracę zrealizowano przy wsparciu środkami finansowymi pochodzącymi z Ministerstwa Szkolnictwa Wyższego i Nauki (grant nr 513 G 1160 4470, kierownik W. Choromański) oraz Państwowego Funduszu Rehabilitacji Osób Niepełnosprawnych (grant nr 501S / 4630, kierownik W. Choromański, G. Dobrzyński)