

# Koncepcja systemu podparcia wózka dla osób z niepełnosprawnością ruchową – prezentacja rozwiązania z zastosowaniem druku 3D

A concept of support system for the disabled persons' wheelchairs: presentation of a 3D print solution

PAWEŁ FUDALI  
SŁAWOMIR MIECHOWICZ  
TOMASZ KUDASIK\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.5-6.60>

Omówiono nowatorską koncepcję siedziska wózka dla osób z niepełnosprawnościami. Rozwiązanie przedstawiono w postaci modelu CAD i modelu rzeczywistego. Dodatkowo pokazano możliwości konsolidacji elektronicznych układów wykonawczych w celu wizualizacji koncepcji i zasady działania.

**SŁOWA KLUCZOWE:** szybkie prototypowanie (RP), wytwarzanie przyrostowe (AM), wózek dla osób z niepełnosprawnościami

*An innovative concept of the seat design in the wheelchair for persons with disabilities is discussed. The solution is presented as a CAD model as well as in the form of a real model. Additionally, prospects of consolidation of electronic actuators are shown providing for visualization of concepts and principles of operation.*

**KEYWORDS:** rapid prototyping (RP), additive manufacturing (AM), wheelchair for people with disabilities

Projektowanie każdego urządzenia jest złożonym procesem, wymagającym od zespołów i osób w niego zaangażowanych współdziałania, począwszy od etapu opracowania koncepcji. Wynika to z faktu, że od przyjęcia poprawnych założeń i od sposobu przedstawienia proponowanego rozwiązania zależą kolejne etapy realizacji projektu. Sposób prezentacji i wizualizacji pomysłu (obrazy fotorealistyczne, wizualizacje 3D, animacje, model fizyczny itp.) może mieć bowiem duży wpływ na podejmowanie decyzji przez inwestorów.

Wizualizacja przestrzenna – model trójwymiarowy i model fizyczny (wykonany np. w technologii przyrostowej), ukazujący zasadę działania urządzenia i umożliwiający zweryfikowanie poprawności przyjętych założeń konstrukcyjnych – zapewnia skuteczną komunikację pomiędzy współpracującymi zespołami projektantów, inwestorów, potencjalnych użytkowników itp. Wykorzystanie systemów CAD pozwala zwizualizować pomysł na wczesnym etapie, a modele CAD 3D są cennym źródłem informacji w procesie projektowania urządzenia – aż do wdrożenia go do produkcji.

Efektywność całego procesu jest większa dzięki zastosowaniu metody *design thinking*. Sprzężenie zwrotne, zapewniające dostarczenie informacji zwrotnej od potencjalnego odbiorcy do projektanta jeszcze w fazie

prac koncepcyjnych, może pomóc w ograniczeniu kosztów i ryzyka popełnienia błędów. Jest to istotne zwłaszcza w projektowaniu środków transportu indywidualnego dla osób z niepełnosprawnościami, mających specyficzne potrzeby, które konstruktor musi uwzględniać od samego początku [1, 8]. Pojazd dla osoby z niepełnosprawnością z jednej strony musi być dostosowany do indywidualnych potrzeb użytkownika (spełniać wymagania ergonomii), a z drugiej – mieć na tyle uniwersalne funkcje i cechy użytkowe, by dało się ograniczyć koszty produkcji.

W przypadku opracowywania urządzenia, które nie ma odpowiednika na rynku komercyjnym (i konstruktor nie może się bezpośrednio odnieść do istniejących rozwiązań), model trójwymiarowy i model fizyczny mają szczególne znaczenie. Posłużono się nimi w tym artykule, aby przedstawić nową koncepcję pojazdu dla osób z niepełnosprawnościami. Skuteczność tego przekazu została przez autorów potwierdzona na konferencjach i targach innowacyjności, np. w Brukseli (2014 r.) i Genewie (2015 r.).

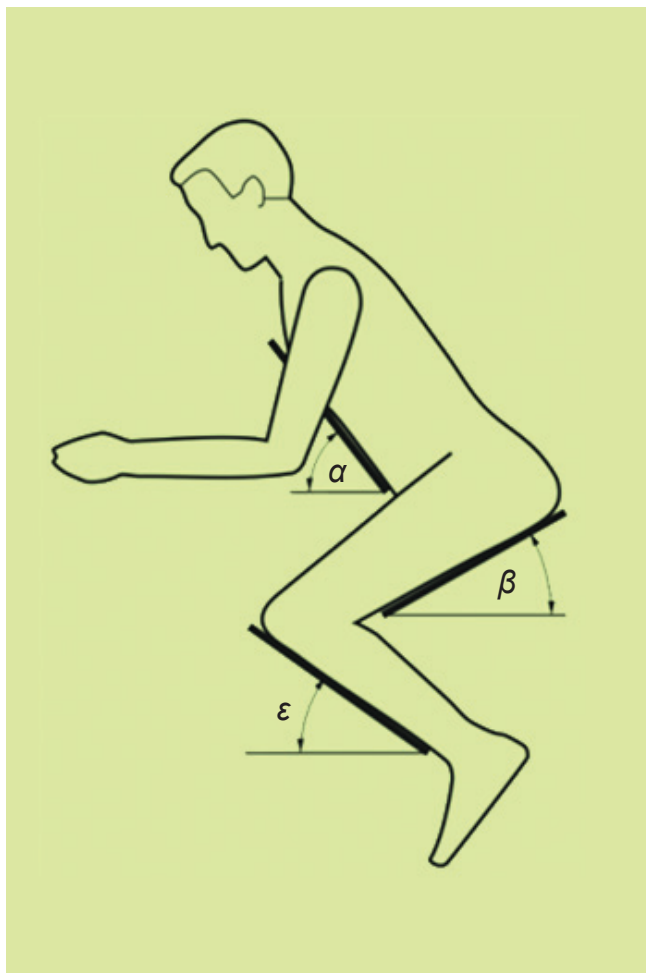
Jak wiadomo, wykorzystanie konwencjonalnych metod wytwarzania do wykonania w pełni działających prototypów funkcjonalnych lub modeli w określonej skali często pociąga za sobą znaczące koszty. Na szczęście z pomocą przychodzi szybkie prototypowanie, np. metoda FDM (*fused deposition modeling*), dzięki której można uzyskać model fizyczny z zachowaniem kryterium niskich kosztów wytwarzania [7].

## Nowatorski układ siedziska

W ramach prac badawczych w Katedrze Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej opracowano koncepcję nowatorskiego rozwiązania siedziska wózka [2, 3]. Klasyczne siedzisko z oparciem zastąpiono układem podpierającym klatkę piersiową, uda i podudzia (rys. 1), oferującym szereg udogodnień [4]. Regulowana wysokość siedziska daje możliwość przesiadania się na łóżko czy krzesło bez pomocy osób trzecich. Sposób podparcia zapewnia obniżenie środka ciężkości, co zwiększa stabilność jazdy, zwłaszcza podczas pokonywania przeszkód. W przypadku klasycznych wózków nawet kilkucentymetrowe przeszkody mogą być niebezpieczne [5, 8].

Jedną z podstawowych zalet zaproponowanego układu podparcia jest możliwość zmiany rozkładu nacisków powierzchniowych siedziska na ciało człowieka, aby odciążać miejsca najbardziej narażone na uszkodzenia wskutek długotrwałego ucisku.

\* Mgr inż. Paweł Fudali (pfudali@prz.edu.pl), dr hab. inż. Sławomir Miechowicz prof. PRz (smiechowicz@prz.edu.pl), dr inż. Tomasz Kudasiak (tkudasik@prz.edu.pl) – Katedra Konstrukcji Maszyn, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej



Rys. 1. Koncepcja układu podparcia w wózku dla osób z niepełnosprawnościami ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\epsilon$  – kąty nachylenia poszczególnych elementów siedziska)

W celu zapewnienia jednoczesnej zmiany wysokości siedziska i nachylenia podparcia podudzia wykorzystano jeden napęd, łącząc elementy podparcia za pomocą mechanizmu. Na mocy decyzji z sierpnia 2016 r. to rozwiązanie uzyskało ochronę patentową [2].

### Model CAD wózka

W programie SolidWorks opracowano model CAD układu podparcia oraz zawieszenia wózka i jego obudowy [6]. Wielkość modelu dobrano na podstawie wymiarów człowieka – jego model również stworzono w środowisku CAD (rys. 2). Dotychczas nie przeprowadzono optymalizacji kątów  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\epsilon$  – ich zakresy muszą zostać dobrane na podstawie badań wpływu ułożenia elementów podparcia na rozkład nacisków na ciało człowieka, a ponadto powinny być skonsultowane medycznie. Chodzi o to, aby zmniejszyć wartości nacisków na pośladki kosztem zwiększenia obciążenia klatki piersiowej oraz podudzia.

Opracowana na podstawie modelu CAD animacja komputerowa stanowi bardziej zaawansowaną formę prezentacji nowatorskiego układu podparcia, w tym: jego podstawowych cech, wzajemnego położenia poszczególnych elementów systemu w stosunku do części ciała człowieka oraz koncepcji ruchu zarówno elementów mechanizmu, jak i możliwych (ze względu na uwarunkowania ergonomiczne) wychyleń kończyn w położeniach krańcowych. Animacja pozwoliła zapobiec ewentualnym błędom oraz uwzględnić wiele założeń koncepcyjnych w jednym multidyscyplinarnym projekcie.



Rys. 2. Model CAD wózka wraz z użytkownikiem

### Model fizyczny wózka

Prototyp funkcjonalny jest formą prezentacji modelu pomocną na etapie dopracowywania cech użytkowych i weryfikowania przyjętych założeń. W ramach prac badawczych wykonano prototyp układu podparcia w skali 1:1 – dzięki temu można było określić komfort jego użytkowania oraz rozkład nacisków powierzchniowych na ludzkie ciało. W trakcie dalszych prac układ podparcia zostanie rozszerzony do pełnej konstrukcji wózka, na którym zostaną przeprowadzone próby jazdy, aby zebrać opinie zwrotne od użytkowników.

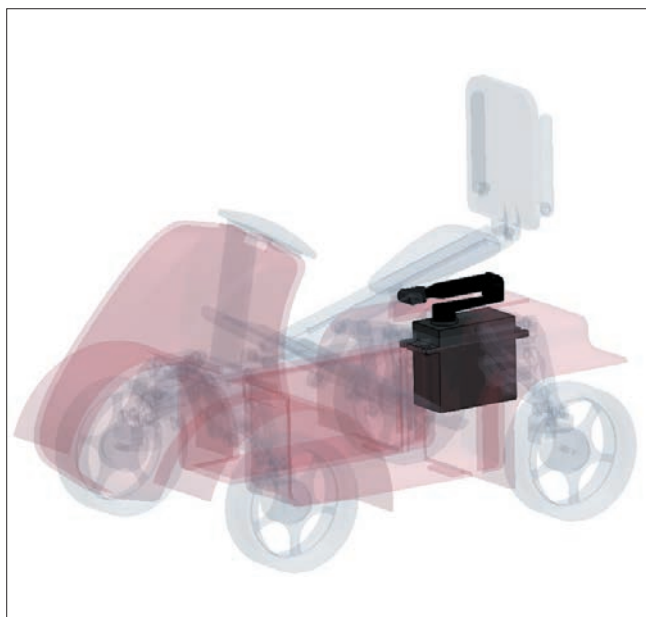
Do celów pokazowych stworzono model w skali 1:4,5 – wartość tę dobrano odpowiednio do wymiarów przestrzeni roboczej dostępnej drukarki 3D oraz wymiarów dostępnych modeli manekinów.

Dokładność modeli jest uzależniona od wybranej metody RP (*rapid prototyping*). W przypadku maszyny UPplus2, na której wykonano model, można przyjąć, że wynosi ona ok. 0,2 mm, co uwzględniono w modelu CAD (wszystkie średnice otworów przeznaczonych do umieszczenia w nich śrub powiększono o 0,2 mm). Obudowę wózka ze względu na rozmiary podzielono na osiem części. Model przekonwertowano do formatu STL, który zapewnia bezpośredni odczyt w oprogramowaniu UP! v. 2.13 drukarki 3D.

Wydrukowanie wszystkich części wózka zajęło ponad 63,5 godziny. Poszczególne elementy zostały następnie połączone ze sobą. Do połączeń trwałych (np. części składowych obudowy) użyto kleju na bazie żywicy epoksydowej, a do połączeń ruchomych – wkrętów M3 o różnej długości, zależnej od miejsca zastosowania.

Elementy wykonane metodami przyrostowymi cechują się nierównością powierzchni, wynikającą ze specyfiki procesu drukowania. Na powierzchniach krzywoliniowych profil powierzchni jest odwzorowywany w postaci schodków, a na powierzchniach płaskich widoczna jest charakterystyczna tekstura. W celu zniwelowania nierówności można powierzchnię wygładzić mechanicznie, np. za pomocą ściernic, zastosować materiał wypełniający (szpachlę) albo połączyć obie te metody, co daje najlepsze efekty. W przypadku modelu wózka nierówności najpierw wypełniono szpachlą, a następnie całą powierzchnię wygładzono papierem ściernym i pomalowano.

Model został wyposażony w układy elektroniczne. Konsolidacja elektronicznych układów wykonawczych i napędów elektrycznych umożliwia lepszą wizualizację koncepcji i zasady działania urządzenia. W przykładowym modelu wózka zamontowano serwomechanizm, którego zadaniem jest zmiana położenia elementów podparcia. Już na etapie projektowania i drukowania komponentów wózka przewidziano konieczność zastosowania szeregu części pośredniczących w przekazywaniu ruchu z serwomechanizmu do elementów ruchomych wózka. Napęd został umiejscowiony w tylnej części pojazdu (rys. 3).



Rys. 3. Umiejscowienie napędu ramienia

Sterowanie serwomechanizmem zapewnia sterownik komunikujący się z komputerem poprzez port COM. Parametry ruchu – takie jak zakres kątowy obrotu serwomechanizmu i jego prędkość oraz możliwość działania w pętli – są ustalane za pomocą specjalnego oprogramowania, umożliwiającego łatwe wygenerowanie skryptu, który może zostać wgrany do sterownika i wykonany bez podłączenia do komputera. Finalny efekt prac pokazano na rys. 4 i 5.



Rys. 4. Model fizyczny



Rys. 5. Model fizyczny wraz z manekinem

## Podsumowanie

Dzięki dodatkowym funkcjonalnościom omawiany pojazd może być zarówno uniwersalnym środkiem komunikacji, jak i przyrządem rehabilitacyjnym.

Opracowanie nowego rozwiązania wymaga konsultacji społecznych, zwłaszcza ze środowiskiem osób z niepełnosprawnościami. Efektywny nośnik transferu idei stanowią wirtualna wizualizacja trójwymiarowa oraz model fizyczny wykonany wybraną metodą przyrostową. Wykorzystanie tej technologii umożliwia szybkie przygotowanie modeli prototypowych oraz zweryfikowanie poprawności przyjętych założeń, same zaś modele wpływają na lepszą wymianę informacji pomiędzy osobami zaangażowanymi w realizację danego projektu. Bardzo istotnym etapem opracowania modelu fizycznego jest obróbka końcowa. Od niej zależy estetyka wykonania modelu i tym samym jakość prezentacji koncepcji.

**Rozwiązanie opisane w artykule zostało zaprezentowane na międzynarodowych targach wynalazczości Brussels Innova 2014 oraz na 43. międzynarodowej wystawie wynalazczości Geneva Inventions, gdzie otrzymało medale i wyróżnienia.**

## LITERATURA

1. Choromański W. „*Ekomobilność. Tom II. Innowacyjne rozwiązania poprawy i przywracania mobilności człowieka*”. Warszawa: WKŁ, 2015.
2. Miechowicz S., Fudali P. „*Wózek zwłaszcza dla osób niepełnosprawnych*”. Wynalazek, numer prawa wyłącznego: 224969. Zgłoszenie Patentowe 408447 z 05.06.2014 r.
3. Fudali P., Miechowicz S. „*Analiza porównawcza rozwiązań siedzisk z wykorzystaniem MES*”. *Wybrane zagadnienia i problemy z zakresu budowy maszyn. Cz. 2.* Leszek Skoczylas (red.). Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2014, s. 21–32.
4. Vaucher M., Isner-Horobeti M.E., Demattei C., Alonso S., Hérisson C., Kouyoumdjian P., van Dieën JH., Dupeyron A. “Effect of a kneeling chair on lumbar curvature in patients with low back pain and healthy controls: A pilot study”. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 58, 3 (2015): s. 151–156.
5. Bennett S., Lee Kirby R., Macdonald B. “Wheelchair accessibility: Descriptive survey of curb ramps in an urban area”. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 4, 1 (2009): s. 17–23.
6. Kęska P. „*SolidWorks 2014. Modelowanie powierzchniowe. Narzędzia do form. Rendering i wizualizacje*”. Warszawa: CADvantage, 2014.
7. Kaziunas France A. „*Świat druku 3D. Przewodnik*”. Gliwice: Wydawnictwo HELION, 2014.
8. Taktak A., Ganney P., Long D., White P. “*Clinical Engineering. A Handbook for Clinical and Biomedical Engineers*”. Elsevier Ltd, 2014. ■