

## Classification of innovative wheelchair constructions with the option of transport via stairs

Grzegorz Dobrzyński\* 

Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

**Abstract.** Modern transport systems are developed in accordance with the idea of universal design considering the requirements of people with disabilities. Despite the detailed legal regulations in construction and industry, there are still many barriers, e.g. architectural barriers, making it difficult to move around in wheelchairs. Designs of wheelchairs with special capabilities provide a chance to overcome these barriers. The aim of the paper was to present various methods of solving the problem of climbing stairs by wheelchairs with special capabilities. The review of works was connected to the research work of the scientific team from the Faculty of Transport of the Warsaw University of Technology. Compared the other papers, the author's own design solution was presented.

**Keywords:** wheelchair, overcoming barriers, electric drive

### Wprowadzenie

Współczesne systemy transportu są tworzone z uwzględnieniem specyficznych potrzeb osób z niepełnosprawnościami. W założeniach do ich budowy bierze się pod uwagę specjalne ułatwienia, przede wszystkim dla osób z dysfunkcją narządów ruchu. Dla tych osób szczególnie istotnymi elementami systemu transportowego są: architektura, infrastruktura transportu, odpowiednio przystosowane środki komunikacji publicznej oraz środki transportu indywidualnego. Wózek inwalidzki z opcją transportu po schodach jest ważnym elementem systemów transportu. Dla osób z niepełnosprawnością samodzielność jest równoznaczna z poczuciem godności. Z informacji otrzymywanych od osób z niepełnosprawnościami wynika, że wciąż istnieje wiele barier utrudniających im samodzielne funkcjonowanie w społeczeństwie. Niezależnie od obowiązującego prawa budowlanego liczba budynków, które są nieprzystosowane dla osób niepełnosprawnych ruchowo jest duża. Proces ich dostosowywania do wymagań normatywnych jest długotrwały i kosztowny. Istotnym elementem systemu transportu, który jest w stanie ułatwić pokonywanie przeszkód architekto-


---

#### Article citation information:

Dobrzyński G. (2021). Classification of innovative wheelchair constructions with the option of transport via stairs, WUT Journal of Transportation Engineering, 133, 59-73, ISSN: 1230-9265, DOI: [10.5604/01.3001.0015.6740](https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.6740)

\*Corresponding author

E-mail address: [Grzegorz.Dobrzynski@pw.edu.pl](mailto:Grzegorz.Dobrzynski@pw.edu.pl)

ORCID iD:  [0000-0002-9346-0916](https://orcid.org/0000-0002-9346-0916) (G. Dobrzyński)

Received 7 December 2020, Revised 12 January 2021, Accepted 17 January 2021, Available online 11 May 2021

nicznych jest innowacyjny wózek inwalidzki o specjalnych możliwościach, takich jak pokonywanie schodów i unoszenie osoby z niepełnosprawnością na wysokość osiągalną przez osoby w pełni sprawne.

Wysoki stopień zróżnicowania opracowanych rozwiązań wózków inwalidzkich jest odpowiedzią na zapotrzebowanie użytkowników odnośnie do funkcjonalności środka transportu, ale przede wszystkim wynika on z wymagań dotyczących przystosowania do różnych typów schorzeń. Wózek inwalidzki dla konkretnej osoby dobiera się tak, aby podczas jego użytkowania, możliwie w jak najszerszym zakresie wykorzystywane były sprawne partie mięśni. Pozwala to poprawić komfort psychiczny osoby niepełnosprawnej poprzez umożliwienie jej względnie samodzielnej egzystencji, ale również na utrzymanie kondycji fizycznej. Dlatego wózków o napędzie ręcznym używają najczęściej osoby z porażeniem dwukończynowym nóg (paraplegia) lub innymi schorzeniami utrudniającymi chód, lecz z właściwą sprawnością górnych kończyn. Bardziej rozległe upośledzenia ruchowe wymagają wspomaganie przemieszczania tego typu wózka przez osobę sprawną, co ogranicza samodzielność. W takich przypadkach niezbędne jest zastosowanie wózka z autonomicznym napędem np. elektrycznym.

Relatywnie mała liczba prac naukowych o tematyce konstrukcji specjalnych do transportu osób z niepełnosprawnością ruchowa oraz społeczna waga tego problemu stały się inspiracją do podjęcia tej tematyki. Prace były zapoczątkowane przez Zakład Teorii Konstrukcji Urządzeń Transportowych WTPW i kontynuowane w ramach projektu Eco-Mobilność. Niniejszy artykuł prezentuje część wyników tych prac. Wstępem do analiz własnych rozwiązań konstrukcyjnych był przegląd literatury oraz ofert wózków inwalidzkich posiadających opcję poruszania się po schodach. Na tle rozwiązań światowych zaprezentowano własną klasyfikację tych konstrukcji ze wskazaniem cech rozwiązania własnego.

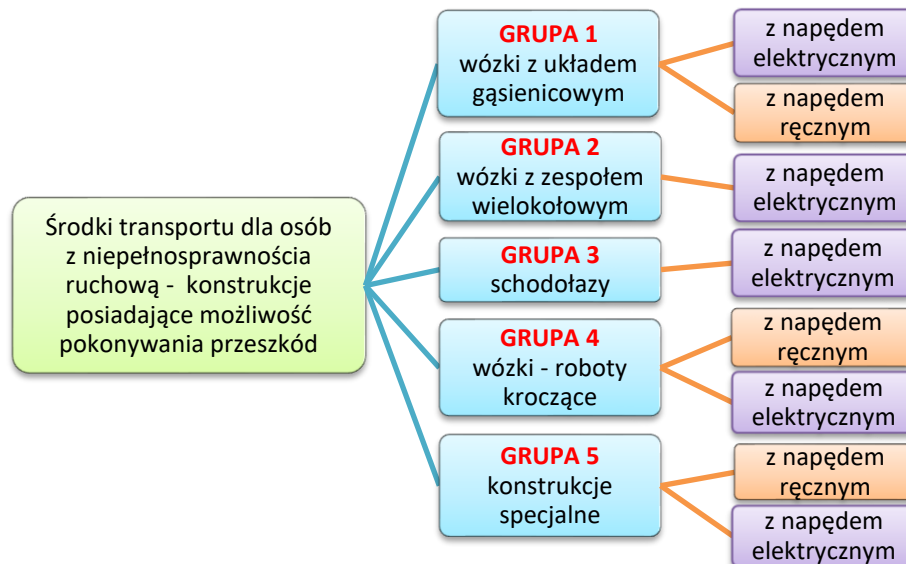
## **Rozwiązania układów jezdnych zaawansowanych konstrukcji wózków inwalidzkich**

Współczesne elektryczne wózki inwalidzkie są skomplikowanymi konstrukcjami mechanicznymi, a ich złożoność i różnorodność dostarcza wiele nowych funkcji. Podział takich wózków inwalidzkich może być dokonany według bardzo różnych kryteriów. Stosowane są różne klasyfikacje w różnych krajach i zostały one zaprezentowane w pracy [18]. Nie spotkano tam klasyfikacji ze względu na rodzaj niepełnosprawności. Przypadek, w którym uszkodzony jest tylko układ ruchowy kończyn dolnych jest diametralnie różny od przypadku z uszkodzeniem ruchowym kończyn górnych i dolnych. Nie bez znaczenia jest też stopień urazu, który warunkuje np. wybór systemów sterowania i konstrukcji mechanicznej wózka [4, 21, 25]. Dla potrzeb tej pracy skupiono się na wózkach dla osób z niepełnosprawnością dolnych kończyn, przy sprawnym układzie ruchowym kończyn górnych w stopniu pozwalającym samodzielnie sterować pojazdem poprzez panel typu joystick.

Napęd elektryczny ze względu na uniwersalność zastosowania, cichą pracę i brak emisji zanieczyszczeń jest najczęściej stosowanym w wózkach inwalidzkich rozwiązaniem. Wykorzystanie silnika elektrycznego wymaga, co prawda zawarcia w konstrukcji ciężkich i kosztownych magazynów energii elektrycznej, lecz tym samym daje również możliwość rozszerzenia podstawowej funkcji napędu o urządzenia pomocnicze [1]. Wózki elektryczne o rozszerzonej funkcjonalności będą głównie przedmiotem tego przeglądu.

Podstawowym obszarem zastosowania napędu elektrycznego w wózkach inwalidzkich jest napęd kół, przeznaczonych do jazdy po względnie płaskiej nawierzchni. Konstrukcje ograniczające się do tej funkcjonalności cechują się prostotą wykonania, a co za tym idzie niskimi kosztami zakupu. Z tego powodu obecnie jest to najpopularniejszy typ elektrycznych wózków. Konstrukcje, które można zaliczyć do tej grupy również cechują się różnicami w budowie. Producenci w celu umożliwienia pokonywania progów o nieznaczej wysokości stosują większe koła napędowe oraz stosują napęd na cztery koła. Ma to na celu poprawienie własności jezdnych w terenie nieurbanizowanym. Rozwiązania te rozszerzają nieznacznie możliwości poruszania się wózków inwalidzkich, lecz nie rozwiązują podstawowego problemu, jaki staje przed osobą niepełnosprawną korzystającą z infrastruktury miejskiej, to jest schodów, stopni i krawężników. Dlatego te uproszczone konstrukcje nie będą opisywane w dalszej części pracy.

Na 0 dokonano podziału i zaprezentowano konstrukcje posiadające funkcje pokonywania przeszkód terenowych o gabarytach spotykanych na co dzień przez osoby poruszające się na nich.



Rys. 1. Struktura podziału konstrukcji posiadających możliwość pokonywania przeszkód

W dalszej części artykułu zaprezentowano konstrukcje reprezentujące każdą z grup. Autorską koncepcję [27] zaklasyfikowano do grupy 5. Wszystkie wózki, zgodnie z założeniami, mają możliwość pokonania przeszkód typu schody lub krawężnik.

### 1.1. Wózki elektryczne z układem gąsienicowym

Grupa 1 to wózki inwalidzkie z układem gąsienicowym. Problem pokonywania przeszkód typu schody został rozwiązany poprzez uzupełnienie podstawowego układu jezdny wózka o układ gąsienicowy przeznaczony jedynie do tego celu. Przykładem takiego podejścia jest wózek EXPLORER firmy TGR [31] oraz wózek TopChair [32]. Podstawowy układ jezdny składa się z trzech kół – dwóch napędzanych i trzeciego służącego zadawaniu kierunku jazdy (0). W chwili przejścia w tryb jazdy po schodach koła są unoszone a wózek

spoczywa na gaśienicach. Wjazd po schodach odbywa się tyłem, co może powodować dyskomfort. Duża masa układu gaśienicowego i jego znaczne rozmiary powodują ograniczenie wydajności jazdy po terenie płaskim. Ponadto, poruszając się po schodach, gaśienice zaczepiają się o ich krawędzie obciążając je znacząco, co może prowadzić do ich uszkodzenia.



Rys. 2. a) Wózek EXPLORER firmy TGR, b) wózek TopChair [32]

Wózki te przez swoją złożoność są bardzo ciężkie (ponad 100 kg). Wózek Explorer został zakupiony przez Zakład SIMT do badań eksperymentalnych w Międzyzakładowym Laboratorium Badań Doświadczalnych i Symulacyjnych Układu Człowiek-Środki Transportu-Otoczenie. Ich wyniki zostały przedstawione w pracy [10] oraz [9]. W chwili obecnej wózek ten został wycofany ze sprzedaży. W literaturze można spotkać prace dotyczące prototypu wózków o napędzie ręcznym [12], posiadających układ gaśienicowy, jednak z uwagi na duże zapotrzebowanie energetyczne, a co za tym idzie duże obciążenie fizyczne podczas wjazdu na schody konstrukcje te nie są rozwijane.

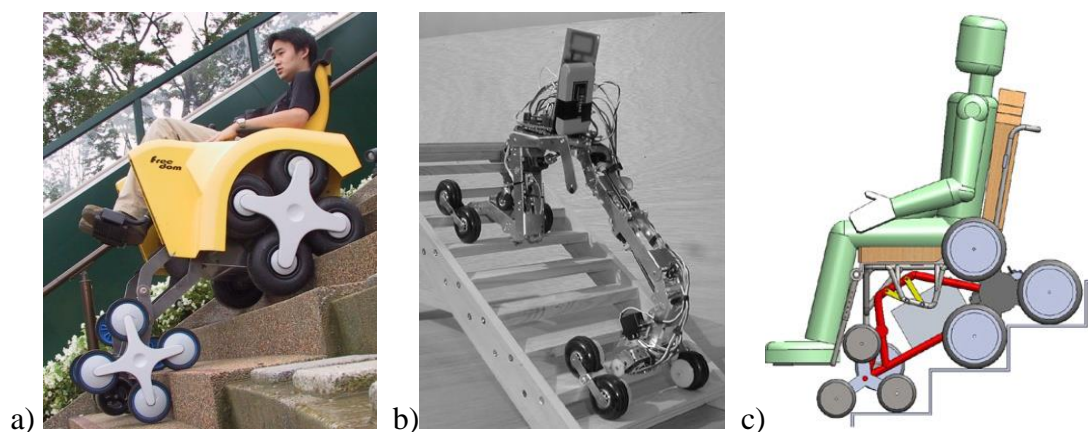
Jedynym wózkiem posiadającym opcję jazdy po schodach i pozostającym w ofercie handlowej jest elektryczny wózek TopChair [32].

## 1.2. Wózki z zespołem wielokołowym

Innym podejściem do problemu pokonywania przeszkód typu schody jest wykorzystanie wielokołowych zespołów napędowych. Konstrukcja posiadała zespoły kół, którym umożliwiono dodatkowy obrót wokół osi leżącej poza ich własną osią obrotu. W ten sposób zespoły kół, obracając się, wchodziły naprzemiennie w kontakt z kolejnymi stopniami, a wózek pokonywał przeszkodę poprzez kroczenie zespołów. Istnieje wiele rozwinięć podstawowej koncepcji, różniących się przede wszystkim metodą stabilizacji konstrukcji podczas pokonywania przeszkody.

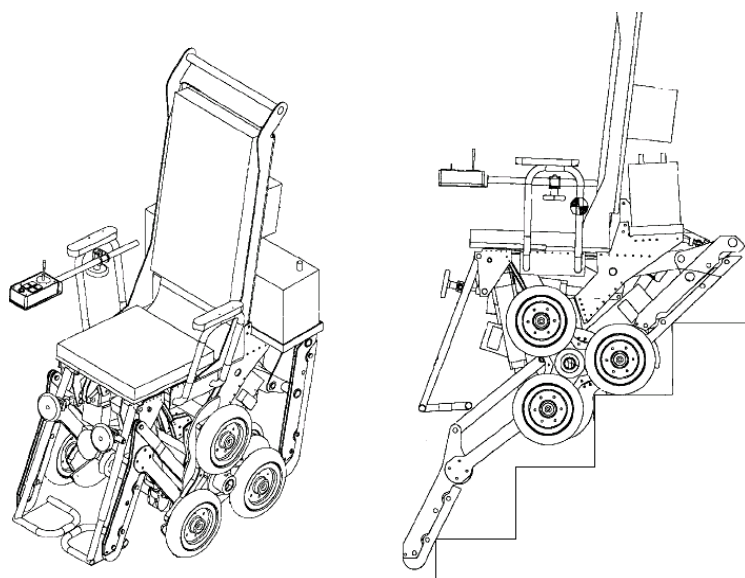
Na 0a) przedstawiono prototypowy wózek posiadający napędzany układ ośmiokołowy na tylnej osi i taki sam układ pełniący rolę stabilizatora w części przedniej [**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**], [25]. Koła stabilizujące umieszczone są dodatkowo na wysuwanych ramionach w celu utrzymania dogodnego kąta nachylenia siedziska pasażera. Do

jazdy po terenie płaskim wykorzystywane są dodatkowe koła samoskrętne. Konstrukcja ta charakteryzuje się znacznymi gabarytami, co zwiększa jej masę i utrudnia manewrowanie. Zbliżone rozwiązania zostały również przedstawione w pracach [12] 0b) oraz [20] 0c).



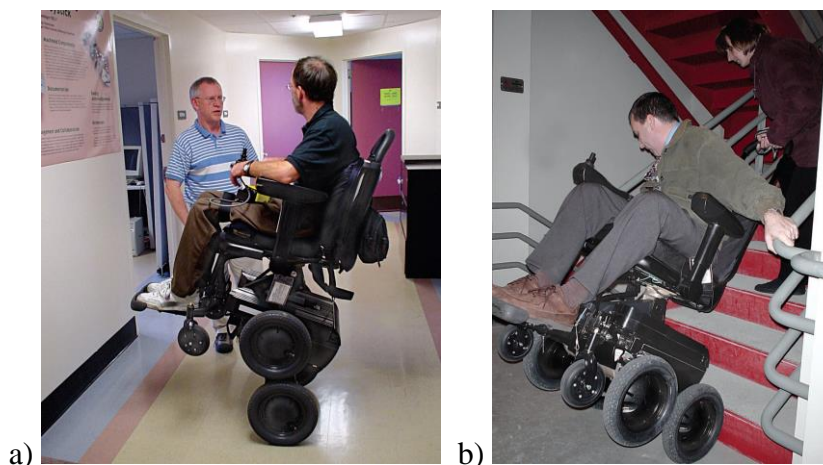
Rys. 3. Wózki posiadające zespoły wielokołowe na obu osiach: a) SunwaStair frezom [29], b) prototyp opracowany na Nagasaki University [12], c) model Politecnico di Torino [20]

Innym rozwiązaniem jest opatentowana koncepcja wózka posiadająca dwa napędzane układy trzykołowe [34]. W tym przypadku do stabilizacji wykorzystywane są wysuwane ramiona o złożonej kinematyce. Ramiona te pełnią rolę podpór w przedniej i tylnej części wózka. Układ ten jest wrażliwy na położenie środka ciężkości. Do jazdy po terenie płaskim wykorzystywane są cztery nieskrętne koła, co utrudnia manewrowanie. Rozbudowana konstrukcja ramion dodatkowo zwiększa masę własną pojazdu, co pociąga za sobą duży pobór mocy.



Rys. 4. Wózek posiadający parę układów trzykołowych [34]

Jedną z najbardziej zaawansowanych konstrukcji wykorzystujących układy wielokołowe jest wózek o nazwie Independence 3000 IBOT. Konstrukcja posiada parę układów dwukołowych i cechuje się zdolnością jazdy po schodach, pokonywania krawężników, itp., lecz w ograniczonym zakresie. Podczas jazdy po terenie płaskim wykorzystywane są dwa z kół napędzanych i dodatkowe małe, samoskrętne koła przednie.



Rys. 5. Wózek IBOT 3000 7: a) podczas jazdy w pozycji uniesionej b) podczas wjeżdżania na schody z pomocą dodatkowej osoby

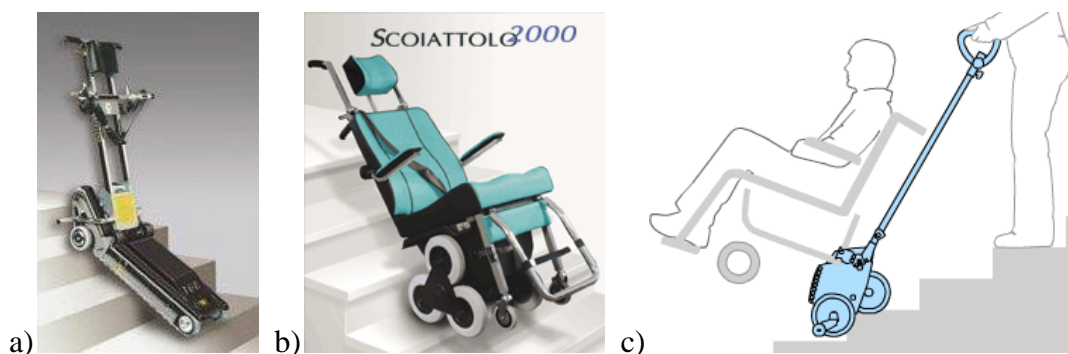
Układ wielokołowy wykorzystywany jest dodatkowo do unoszenia pasażera np. w celu sięgnięcia po przedmiot leżący na wysoko położonej półce sklepowej. Do stabilizacji konstrukcji podczas unoszenia i jazdy po przeszkodach wykorzystywany jest układ żyroskopowy oraz zespół czujników określających przesunięcie środka ciężkości względem punktu podparcia kół. Na tej podstawie, przy pomocy napędu kół, automatycznie dokonywana jest korekcja położenia, co pozwala utrzymać równowagę. Układ ten nie jest jednak wystarczający podczas samodzielnego pokonywania schodów. W tym przypadku wymagany jest aktywny udział osoby poruszającej się na wózku lub pomoc osoby asystującej. IBOT 3000, jak dotąd jako jedyny z omawianych wózków z układami wielokołowymi, trafił do sprzedaży na pewien czas, lecz z powodu zainteresowania zaprzestano jego produkcję. Konstrukcję, która również działa na zasadzie odwróconego wahadła przedstawiono również w pracy [12].

### 1.3. Schodolazy

Mianem schodolazów określana jest grupa urządzeń, które służą tylko i wyłącznie pokonywaniu schodów. Są to urządzenia pomocnicze dla wózków inwalidzkich i samodzielnie nie mogą służyć przemieszczaniu się osoby niepełnosprawnej.

Dostępne w ofercie handlowej schodolazy oparte są głównie na omawianych już rozwiązaniach wykorzystujących układy wielokołowe lub gąsiennicowe. Są to najczęściej uniwersalne konstrukcje mogące współpracować z wieloma modelami wózków.

Podstawową wadą tych urządzeń jest fakt że, aby funkcjonować bezpiecznie wymagają asysty osoby sprawnej.

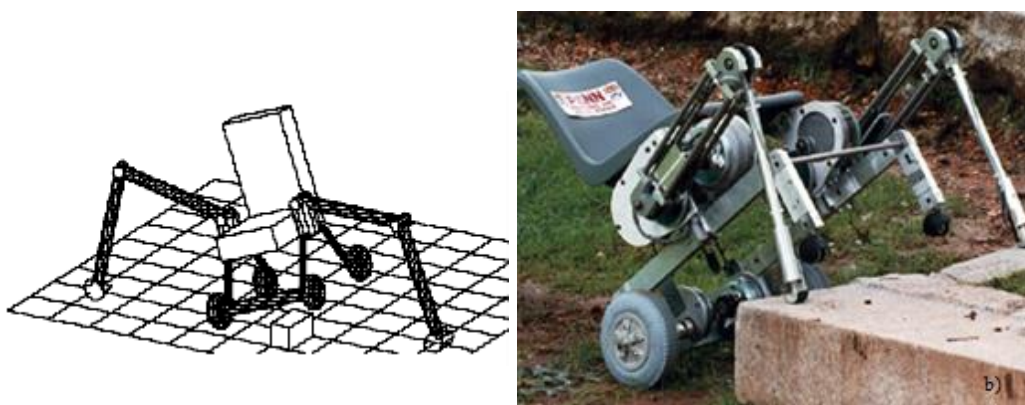


Rys. 6. Schodołazy: a) podnośnik gąsiennicowy TR-93 [14], b) fotel do transportu po schodach, c) urządzenie Scalamobil S30 [33]

Do tej grupy zaliczono również różnego rodzaju windy, platformy i krzesła dźwigowe dla osób niepełnosprawnych. Konstrukcje te wspomagają pokonywanie przeszkód, ale są związane z jedną lokalizacją a ich działanie odbiega od problematyki wózków. Propozycje te nie będą szerzej omawiane.

#### 1.4. Wózki - roboty kroczące

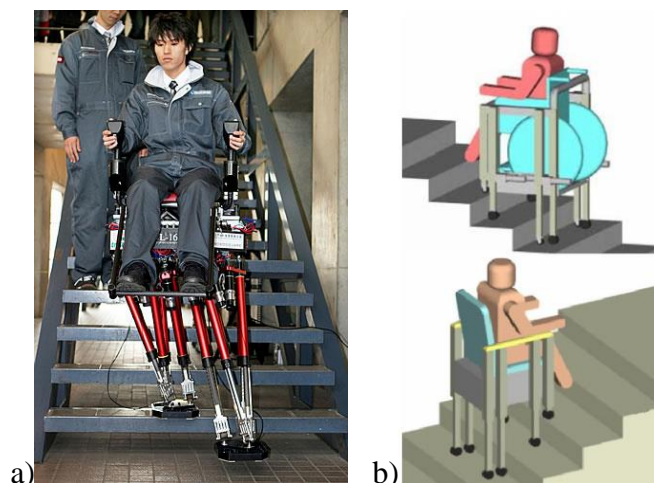
W grupie 4 zaprezentowano konstrukcje pokonujące przeszkody poprzez mechanizmy kroczące. Ciekawa propozycja została przedstawiona w [14], gdzie wózek jest wyposażony w dwa ramiona – podpory. Posiada on klasyczny układ tylnych kół napędzanych i przednich kół samoskrętnych, do poruszania się po terenie płaskim. Do pokonywania przeszkód wykorzystywane są dwa dwuczłonowe, napędzane ramiona pełniące rolę „nóg”. Proces pokonywania przeszkody przedstawiono na 0 i jest on formą kroczenia.



Rys. 7. Konstrukcja wózka inwalidzkiego z dwiema nogami podczas pokonywania przeszkody [14]

Ramiona mogą być wykorzystane do pokonywania trudnego terenu, gdzie przeszkody rozmieszczone są niesymetrycznie względem kół wózka lub pełnić rolę prostych manipulatorów np. do otwierania drzwi. Wadą tego rozwiązania, przynajmniej w wersji prototypowej,

jest brak możliwości regulacji kąta pochylenia siedziska. Problematyczne wydaje się również pokonywanie schodów zbudowanych z wielu krótkich stopni, ponieważ w takim przypadku trudno jest uzyskać stabilną pozycję przejściową podczas przemieszczania ramion z tyłu na przód.

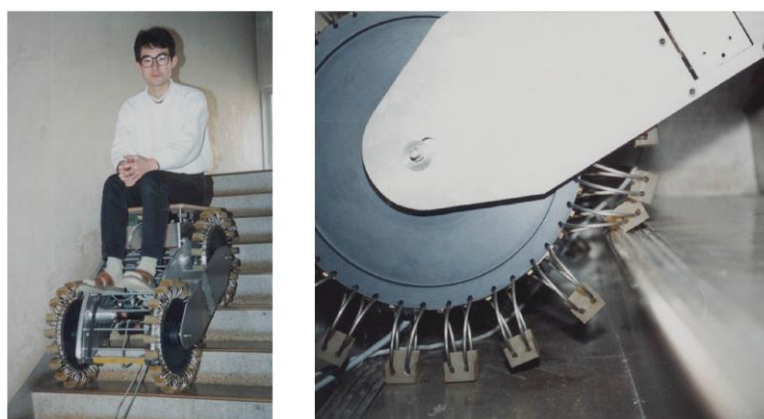


Rys. 8. Roboty kroczące budowane do transportu osób niepełnosprawnych [14]

Rozwiązanie problemu pokonywania schodów poprzez budowę robotów kroczących jest przede wszystkim wyzwaniem dla konstruktorów (0). Cechy użytkowe są niewspółmierne do nakładów. Roboty te są w stanie sprawnie kroczyć po schodach, lecz poruszanie się po powierzchniach płaskich jest mniej komfortowe i ze względu na złożoność napędów - bardziej energochłonne.

### 1.5. Rozwiązania specjalne

Do ostatniej z omówionych grup zaklasyfikowano konstrukcje łączące cechy poprzednich. Próbą wyeliminowania wad napędu wielokołowego (0) jest prototypowa maszyna [14] o nazwie Terrain-AdaptiveQuadru-Track (TAQT) przedstawiona na 0.

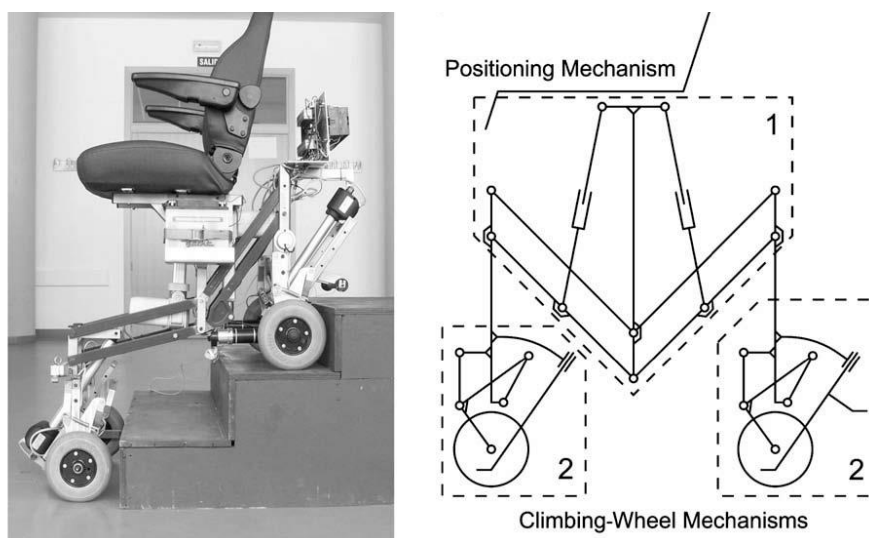


Rys. 9. Konstrukcja o sprężystych kołach tzw. Terrain-AdaptiveQuadru-Track (TAQT) [12]



Konstrukcja posiada specjalne koła, wyposażone w bieżnik na sprężynie (spring-wheel). Bieżnik składa się z segmentów sprężyste połączonych z korpusem koła. Kiedy koło napotyka ostry fragment podłoża lub krawędź stopnia, część segmentów bieżnika ugina się i tworzy punkt podparcia dla koła. Prototyp TAQT posiada również system płynnej regulacji kąta pochylenia siedziska.

Ciekawą koncepcję przedstawił ośrodek z Hiszpanii w pracy [16]. Wózek ten posiada układ jezdny składający się z dwóch zespołów posiadających po 2 koła i układ wspinania na kolejny schodek. W zależności od geometrii schodów lub innej przeszkody układy kontroli, niezależnie dla mechanizmu przedniego i tylnego, wykonują kolejne etapy wspinania. Wózek w sposób ciągły ustawia siedzisko względem kierunku poziomego.



Rys. 10. Konstrukcja wózka wspinającego się po schodach [11] wraz ze schematem kinematycznym

Do tej grupy zaliczono również konstrukcję będącą przedmiotem tego artykułu. Autorska koncepcja jest w swoim działaniu najbardziej zbliżona do ostatniej z opisanych, lecz znacząco prostsza w budowie. Jej opis został przedstawiony w kolejnym rozdziale.

## Przegląd prac z zakresu symulacji komputerowej konstrukcji wózków inwalidzkich z opcją transportu po schodach

Przedstawione wcześniej konstrukcje, przed ich powstaniem, były analizowane na poziomie koncepcyjnym z wykorzystaniem symulacji komputerowej. Prace z tego zakresu w analizie elektrycznych wózków inwalidzkich nie są przedmiotem dużej liczby publikacji. Można spotkać prace, w których przedstawiono badania wózków korzystając z narzędzi i doświadczeń pochodzących z problematyki ruchu pojazdów samochodowych [19, **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**]. Zawiężając obszar poszukiwań do publikacji dotyczących modeli symulacyjnych wózków inwalidzkich pokonujących przeszkody można

odnaleźć na świecie tylko kilka ośrodków naukowych związanych z tą tematyką. W polskojęzycznych publikacjach prezentowane są prace związane z wózkami o napędzie ręcznym [1] oraz wyniki badań symulacyjnych nowych koncepcji konstrukcji wózków elektrycznych opracowane przez Zakład Teorii Konstrukcji Urządzeń Transportowych na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej. Pierwsze wyniki tych prac opublikowano w 2004 roku w pozycji [5]. Kolejne nowe koncepcje przedstawione zostały w pracach [3, 30]. Modele symulacyjne tam zaprezentowane w sposób bezpośredni zainspirowały autora do opracowania własnej koncepcji. Te nowe autorskie rozwiązania, będące częścią rozprawy, zostały przedstawione po raz pierwszy w pracach [2, 8, 10].

Autorzy z USA w pracy [7] systematyzują problematykę badania nowych konstrukcji wózków inwalidzkich o specjalnych możliwościach. Poza zdefiniowaniem stanu obecnego proponują nowe kierunki poszukiwań.

Przykładem analizy komputerowej wykorzystującej narzędzia symulacji i optymalizacji parametrów konstrukcji a skończywszy na badaniach na modelu rzeczywistym są opracowania ośrodka University of Castilla-La Mancha Campus, Ciudad Real, Spain. Jest to przykład kompleksowego podejścia to rozwiązania problemu naukowego w zakresie badania nowego środka transportu. W pracach [11, 16, 17] zostały przedstawione kolejne etapy rozważań analitycznych dla modeli statycznych oraz dynamicznych. Analizowany był też wpływ różnych parametrów układu sterowania i jego oddziaływanie na osobę poruszającą się na wózku.

Zbliżoną metodologię analizy problemu przyjął również ośrodek z Włoch. Przedstawiona w pracy [20] koncepcja wózka inwalidzkiego pokonującego przeszkody jest znacząco odmienna, ale zakres i narzędzia analizy problemu są bardzo zbliżone.

W pracach [12, 22] zaprezentowano kolejne rozwiązania konstrukcyjne wózków pokonujących przeszkody kładąc nacisk na rozważania analityczne i badania eksperymentalne. Autorzy z Japonii zaprezentowali również unikatową konstrukcję poruszającą się po schodach, napędzaną siłą mięśni rąk.

Autorzy z Tajwanu w pracy [15] zaprezentowali złożoną mechanicznie konstrukcję, w której ograniczyli problematykę analizy pokonywania przeszkód do warunków zachowania statycznej stabilności. Zbliżone podejście zostało zaprezentowane również w pracy [6].

Wszystkie zaprezentowane powyżej prace rozróżniał przedmiot badań. Każdy z ośrodków naukowych zaproponował swoje koncepcje konstrukcji i dla nich prowadził prace badawcze. Pomimo prac nad odmiennymi konstrukcjami naukowcy realizowali swoje projekty w podobnym zakresie, stosując zbliżone metody analizy oraz narzędzia symulacji.

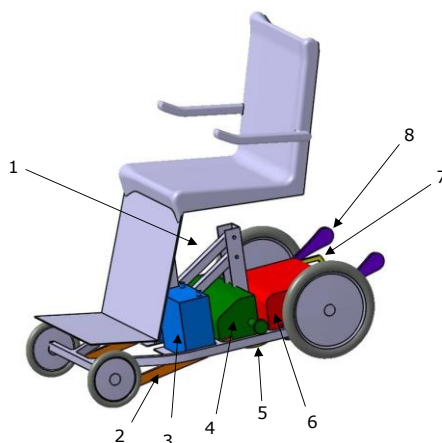
## **Opis autorskiej koncepcji środka transportu dla osób z niepełnosprawnością**

Na tle prac z ośrodków światowych poniżej opisano założenia do budowy wózka inwalidzkiego nowej generacji dla osób niepełnosprawnych ruchowo. Główną zaletą tej koncepcji wózka jest możliwość pokonywania przeszkód terenowych typu stopień, krawężnik albo schody oraz funkcja unoszenia siedziska. Nowa koncepcja budowy wózka dla osoby niepełnosprawnej z autonomicznym napędem elektrycznym spełnia następujące wymagania:

- możliwość ruchu po różnego rodzaju nawierzchniach (nawierzchnia nierówna, piasek, trawnik, 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),
- relatywnie niska cena w porównaniu do wózków zbliżonej funkcjonalności.

Na 0 przedstawiono autorski model koncepcji konstrukcji wózka inwalidzkiego. Główny element konstrukcji - układ napędowy składa się z dwóch silników elektrycznych (4). Poprzez różnicowanie prędkości pomiędzy nimi następuje zmiana kierunku jazdy. Układy wózka będą zasilane przez dwa bezobsługowe akumulatory żelowe - 12V, 2x20Ah. Są one umieszczone możliwie nisko, aby uzyskać najkorzystniejsze położenie środka ciężkości (3). Pod siedziskiem znajduje się układ unoszenia siedziska (1) z opcją ułatwiania wsiadania na wózek. Powiązany z nim jest układ korekcji pochylenia siedziska w trakcie pokonywania przeszkody. W tylnej części wózka znajduje się ramię wiatraka unoszącego wózek na przeszkodę (8). 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 tym etapie pomocna jest również płoza ślizgowa (2), która poprzez połączony z nią napęd, zapewnia zachowanie odpowiedniego położenia kąтового siedziska.



Rys. 11. Model 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 1 m/s i jest przewidziany do używania w niedużych pomieszczeniach. Jego zaletą jest ułatwione sterowanie kierunkiem jazdy. Bieg II używany jest do pokonywania dłuższych odcinków. Wymaga większej precyzji w posługiwaniu się manetką sterowania kierunkiem jazdy. W normalnym trybie jazdy istnieje możliwość pokonywania przeszkód typu próg o wysokości do około 0,05 m. Przy przeszkodach większych należy używać trybu schody, w którym prędkości zbliżania się do przeszkód są ograniczone i działają układy rozpoznawania odległości od krawędzi.

Wózek posiada też funkcję podnoszenia siedziska na wyższy poziom. Jest to ważne dla osób niepełnosprawnych, gdyż daje możliwość sięgania na wysokości dostępne dla osób

sprawnych. W trakcie tego procesu koła wózka zostają zablokowane i nie ma możliwości jazdy. Przewidywany jest również system sygnalizacji dźwiękowej przypominający o tym trybie pracy.

Cechami odróżniającymi autorską koncepcję od innych zaprezentowanych są sposób działania i konstrukcja mechanizmów realizujących kroczenie po schodach. Propozycja układu ramion kroczących jest znacząco prostsza od układów wielokołowych a jednocześnie pojedyncze ramie poziomujące jest lżejsze od rozwiązań symetrycznych.

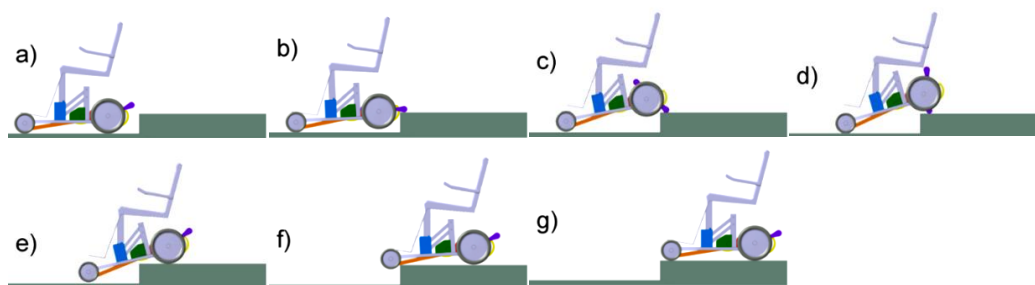
## 1.6. Algorytm pokonywania przeszkody

Algorytm pokonywania przeszkody został opisany na przykładzie wjazdu i zjazdu z pojedynczego stopnia reprezentującego np. krawężnik. Problem pokonywania schodów jest iteracyjnym powtórzeniem wybranych sekwencji tego algorytmu.

**Wjazd na przeszkodę.** Do wjazdu na wszelkiego rodzaju przeszkodę wyższe niż 0,05 m należy podjechać 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 (0, 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 są blokowane. 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  $180^\circ$  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 płoży poziomującej i następuje wprowadzenie przednich kół na przeszkodę. W końcowej fazie g) użytkownik przełącza tryb sterownia na „normalny”.

**Zjazd z przeszkody.** Przygotowując się do zjazdu z różnego rodzaju przeszkód wózek należy ustawić przodem możliwie prostopadłe do jej krawędzi. O momencie załączenia tego trybu decyduje użytkownik.

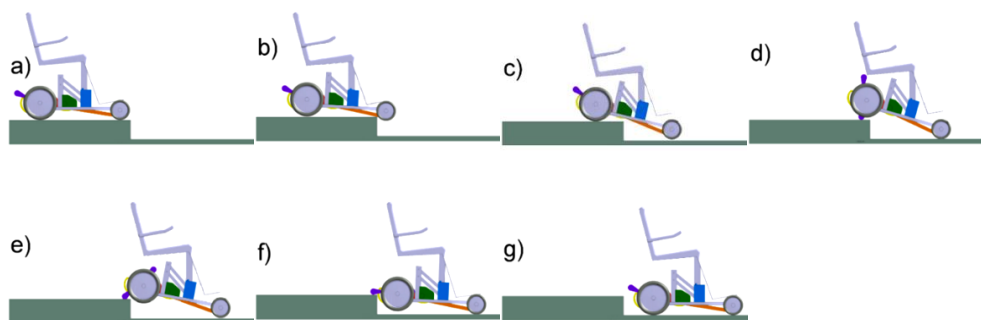


Rys. 12. Sekwencja algorytmu wjazdu na przeszkodę

Z chwilą załączenia trybu „przeszkoda” (0, faza a) nastąpi redukcja prędkości silników głównych, a układy rozpoznawania odległości, umieszczone pomiędzy osią przednią i tylną wózka, rozpoczną działanie (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 wiatraka krocącego. Przechodząc do kolejnych faz e) i f) układ sterownia utrzymuje siedzisko w poziomie. Faza g) rozpocznie się po wykonaniu obrotu o  $180^\circ$  przez ramię unoszące. Zostaną uruchomione główne silniki napędowe i ze zredukowaną prędkością będą oddalały wózek od pierwszego progu 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”.



Rys. 13. Sekwencja algorytmu zjazdu z przeszkody

W poprawnym działaniu tego algorytmu istotną rolę pełnią układy rozpoznawania odległości od krawędzi przeszkody. Zaproponowano zastosowanie układów ultradźwiękowych, ponieważ nie są wrażliwe na kolor i rodzaj powierzchni przeszkody.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono przegląd prac dotyczących innowacyjnych konstrukcji wózków inwalidzkich jako środka transportu dla osób z niepełnosprawnościami. Została zaproponowana klasyfikacja tych rozwiązań. Na tym tle przedstawia własną koncepcję konstrukcji. Opisano jej główne cechy i zasadę działania.

Prace realizowane przez zespół, w skład którego wchodzi autor doprowadziły do powstania unikatowych konstrukcji zastrzeżonych patentami [25, 27, 28].

## Bibliografia

1. Branowski, B., Zabłocki, M. (2006). Krecja i kontaminacja zasad projektowania i zasad konstrukcji w projektowaniu dla osób niepełnosprawnych. Rozdział 3 w pracy zbiorowej pod redakcją Jana Jabłońskiego pt.: Ergonomia produktu, 73-106, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
2. Choromanski, W., Dobrzynski, G., Kowara, J. (2009). The dynamics of a mechatronic wheelchair with the function of overcoming physical obstacles; Proceedings of IAVSD 2009 - 21st International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks, 17 – 21 August 2009, KTH, Stockholm, Sweden, CD - volume I, 143–146.
3. Choromański, W., Dobrzyński G., Kowara J. (2007). Simulation Studies of New Solutions of Wheelchairs. Archives of Transport, vol. 19, issue 3, Warszawa, 31–37.
4. Choromański, W., Fiok, K., Dobrzyński, G. (2012). Optimizing the lever propelling system for manual wheelchairs, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, vol. 60, nr 4, 793–800. DOI:10.2478/v10175-012-0092-8.

5. Choromański, W., Staszalek, R. (2004). Problemy transportu osób niepełnosprawnych – nowe koncepcje w budowie mechatronicznych wózków inwalidzkich, Materiały Konferencji: Transport XXI wieku, Wydział Transportu PW, Komitet Transportu PAN.
6. Chun-Ta, Ch., Hoang-Vuong P. (2008). Enhanced development and stability analysis of a new stair-climbing robotic wheelchair, *Advanced robotics and Its Social Impacts*. ARSO, IEEE Workshop, 1–6, doi: 10.1109/ARSO.2008.4653582
7. Ding, D., Cooper, R.A. (2005). Electric powered wheelchairs, *Control Systems, IEEE*, vol.25, no.2, 22–34, doi:10.1109/MCS.2005.1411382; URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1411382&isnumber=30578>.
8. Dobrzyński, G., Choromański, W. (2010). Wózek inwalidzki z opcją jazdy po schodach – metodyka konstruowania, *Acta Mechanica Et Automatica*, Vol. 4, no. 2, 37–42.
9. Dobrzyński, G. (2013). Synteza własności mechatronicznego wózka inwalidzkiego jako elementu systemu transportu osób niepełnosprawnych, *Rozprawa doktorska*, Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej.
10. Dobrzyński, G. (2010). Badania symulacyjne i eksperymentalne wózka inwalidzkiego z opcją jazdy po schodach jako elementu systemu transportu osób niepełnosprawnych. Materiały konferencyjne „Transport XXI wieku”, Białowieża.
11. Gonzalez, A., Ottaviano, E., Ceccarelli M. (2009). On the kinematic functionality of a four-bar based mechanism for guiding wheels in climbing steps and obstacles, *Mechanism and Machine Theory*, Volume 44, Issue 8, 1507-1523, ISSN 0094-114X, doi:10.1016/j.mechmachtheory.2008.12.004.
12. Hinderer, M., Friedrich, P., Wolf, B. (2017). An autonomous stair-climbing wheelchair, *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 94, 219-225, ISSN 0921-8890, doi:org/10.1016/j.robot.2017.04.015.
13. Ito, T. (2009). Simulation-Based Study Using a Stair Climbing Wheelchair, *Modelling & Simulation, AMS '09. Third Asia International Conference*, 537-542, doi:10.1109/AMS.2009.89;
14. Jianjun, Y. (2004). Study on the mechanism and control of leg-wheel hybrid stair climbing wheelchair, *Dissertation Submitted to Department of Mechanical and Aerospace Engineering For the Degree of Doctor of Engineering*, Tokyo Institute of Technology.
15. Lawn, M.J., Ishimatsu, T. (2003). Modeling of a stair-climbing wheelchair mechanism with high single-step capability, *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions*, vol.11, no.3, 323–332, doi:10.1109/TNSRE.2003.816875. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1231243&isnumber=27583>
16. Morales, R., González A., Feliu, V. (2007). Mechanical and Kinematics Design Methodology of a New Wheelchair with Additional Capabilities, *Bioinspiration and Robotics: Walking and Climbing Robots*, Book edited by: Maki K. Habib, ISBN 978-3-902613-15-8, 544, I-Tech, Vienna, Austria, EU.
17. Morales, R., Feliu, V.A., González, P. Pintado (2006). Coordinated Motion of a New Staircase Climbing Wheelchair with Increased Passenger Comfort, *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Orlando, Florida, 3995-4001.
18. Praca zbiorowa pod redakcją Włodzimierza Choromańskiego (2009). Transport osób niepełnosprawnych – wózki innowacyjne dla osób z upośledzonym układem ruchowym, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.
19. Quaglia, G., Franco, W., Oderio, R. (2009). Wheelchair.q, a mechanical concept for a stair climbing wheelchair, *Proceedings of the 2009 IEEE, International Conference on Robotics and Biomimetics*, 800-805, December 19–23, Guilin, China.
20. Quaglia, G., Franco, W., Oderio, R. (2011). Wheelchair.q, a motorized wheelchair with stair climbing ability, *Mechanism and Machine Theory*, Volume 46, Issue 11, 1601-1609, ISSN 0094-114X, 10.1016/j.mechmachtheory.2011.07.005, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094114X1100139X>
21. Sankardoss, V. & P., Geethanjali (2019). Design and Low-Cost Implementation of an Electric Wheelchair Control, *Published online: 30 Jan 2019*, doi:org/10.1080/03772063.2019.1565951
22. Sugahara, Y., Yonezawa, N., Kosuge, K. (2010). A novel stair-climbing wheelchair with transformable wheeled four-bar linkages, *Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE/RSJ International Conference*, 3333-3339, 18-22 doi: 10.1109/IROS.2010.5648906; <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5648906&isnumber=5648787>
23. Yu, S., Wang, T., Li, X., Yao, C., Wang, Z., Zhi, D. (2010). Configuration and tip-over stability analysis for stair-climbing of a new-style wheelchair robot, *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, 1387-1392, doi:10.1109/ICMA.2010.5589079.

- 24.
25. Tao, W., Xu, J., Tao, L. (2017). Electric-powered wheelchair with stair-climbing ability, Electric-powered wheelchair with stair-climbing ability, First Published July 25, doi:org/10.1177/1729881417721436
- Witryny internetowe, zgłoszenia patentowe oraz inne źródła:**
26. Choromański, W., Potyński, A., Dobrzyński, G., Fiok, K. (2014). Patent: Stanowisko do badania wózków dźwigniowych, Numer patentu/prawa: P-220067, Data udzielenia prawa: 19-12-2014;
27. Dobrzyński, G., Choromański, W., Potyński, A. (2014). Patent: Środek transportu, Numer patentu/prawa: PL-219658, Data udzielenia prawa: 29-10-2014;
28. Dobrzyński, G., Potyński, A., Choromański, W., Fiok, K. (2017). Patent: Hamulec sprężynowy do wózków zwłaszcza inwalidzkich, Numer patentu/prawa: PL 227755, Data udzielenia prawa: 18-08-2017;
29. Informacje producenta, SunwaStair-Ship TRE-52, Sunwa CO. Ltd. Sendagaya, shiuya-ku, Tokyo Japan, 2008; URL:www.sunwa-jp.co.jp .
30. Kowara, J. (2005). Koncepcja konstrukcji i badania symulacyjne wózka inwalidzkiego nowej generacji, Praca dyplomowa magisterska, SiMR-PW.
31. Ofeta firmy TGR Srl, <http://www.tgr.it/>.
32. Ofeta firmy TopChair SAS, <http://www.topchair.net/>.
33. Ofeta firmy Ulrich Alber GmbH, <http://www.alber.de/>.
34. Patent: Battery powered stair-climbing wheelchair, US Patent 6,484,829 B1.

## Klasyfikacja innowacyjnych konstrukcji wózków inwalidzkich posiadających opcję transportu po schodach

**Streszczenie.** Współczesne systemy transportowe rozwijane są zgodnie z ideą projektowania uniwersalnego uwzględniającego wymagania osób z niepełnosprawnościami. Pomimo szczegółowych uwarunkowań prawnych w budownictwie i przemyśle, wciąż pozostaje wiele barier np. architektonicznych utrudniających poruszanie się wózkami inwalidzkimi. Konstrukcje wózków inwalidzkich o specjalnych możliwościach dają szansę pokonania tych barier. Celem artykułu było przedstawienie różnych metod rozwiązania problemu pokonywania schodów przez wózki inwalidzkie o specjalnych możliwościach. Przegląd prac był związany z pracami badawczymi zespołu naukowego z Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej. Na tle innych prac zaprezentowano własne autorskie rozwiązanie konstrukcyjne.

**Słowa kluczowe:** wózek inwalidzki, pokonywanie barier, napęd elektryczny.

