Z E S Z Y T Y N A U K O W E P O L I T E C H N I K I P O Z N A Ń S K I E J
Nr 72 Organizacja i Zarządzanie 2017

Maciej SYDOR[*], Marek ZABŁOCKI[**], Dariusz TORZYŃSKI[**]

TRANSLACJA POTRZEB CZŁOWIEKA NA KONSTRUKCJĘ WÓZKA INWALIDZKIEGO

DOI: 10.21008/j.0239-9415.2017.072.16

W pracy przedstawiono metodyczne podejście do rozwiązania problemu projektowania wózka inwalidzkiego spełniającego więcej potrzeb niż zazwyczaj. Zdekomponowano zadanie projektowe. Zbudowano hierarchię funkcji oraz podano wymagania podstawowe i dodatkowe dla wózka inwalidzkiego. Przedstawiono dwa koncepcyjne warianty rozwiązania zadania projektowego.

Słowa kluczowe: osoba z niepełnosprawnością, wózek inwalidzki, funkcje wózka inwalidzkiego, projektowanie, modułowość, unifikacja struktury wyrobu

1. WPROWADZENIE

Wózek inwalidzki jest indywidualnym wyrobem medycznym kompensującym dwie utracone lub upośledzone funkcje motoryczne ciała osoby z niepełnosprawnościami: stabilizację w przestrzeni oraz lokomocję (Branowski, Sydor, 2013). Jak każdy indywidualny wyrób medyczny jest on objęty różnymi podziałami, m.in. klasyfikacją według normy PN-EN ISO 9999:2011[1], w której wózki inwalidzkie należą do klasy wyrobów wspierających indywidualną mobilność (ang. *assistive products for personal mobility*) i podlegają podziałowi na dwie grupy: o napędzie

[*] Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, WTD, Zakład Podstaw Konstrukcji Maszyn.
[**] Politechnika Poznańska, WMRiT, ISSiT, Zakład Inżynierii Rehabilitacyjnej.

[1] Norma ISO 9999 jest częścią rodziny klasyfikacji WHO-FIC, zawiera klasyfikację funkcjonalną, opartą na podstawach naukowych. WHO-FIC są klasyfikacjami uniwersalnymi kulturowo, czyli są możliwe do stosowania na poziomie międzynarodowym, uwzględniają wielowymiarowe aspekty związane z dysfunkcjami układów ciała, zdrowiem i jego ochroną.

ręcznym (ang. *manual wheel chairs*) oraz silnikowym (ang. *powered wheel chairs*). Wyróżnia się sześć podgrup wózków o napędzie ręcznym: (1) o konstrukcji sprzyjającej samodzielnemu napędowi ręcznemu, (2) o napędzie dźwigniowym, (3) o napędzie jednostronnym, (4) o napędzie hybrydowym (napęd ręczny oraz wspomagający silnik), (5) o napędzie za pomocą kończyn dolnych, oraz (6) napędzane przez opiekuna. W drugiej grupie wyróżniono również sześć podgrup wózków: (1) o napędzie silnikowym sterowane przez opiekuna, (2) o napędzie elektrycznym z ręcznym sterowaniem, (3) o napędzie elektrycznym z elektrycznym sterowaniem, (4) o napędzie spalinowym, (5) o napędzie elektrycznym sterowane przez opiekuna, (6) platforma transportowa do przemieszczania wózków inwalidzkich po schodach tzw. schodołaz.

Ten podział nie uwzględnia w pełni rozwoju techniki w tej dziedzinie. Interdyscyplinarne prace zespołu eksperckiego (w których brał czynny udział jeden z autorów tego opracowania – M. Sydor) wskazują na potrzebę nowej kategoryzacji wózków inwalidzkich. Przeprowadzono takie prace na początku 2016 r. Ich efektem jest opracowanie pt.: „Kategoryzacja wyrobów medycznych do zaopatrzenia indywidualnego" (Geremek et al., 2016). Wózki inwalidzkie podzielono podobnie jak w normie ISO na dwie grupy produktowe: (1) o napędzie ręcznym (dwie podgrupy: wózki inwalidzkie przeznaczone dla dzieci oraz wózki inwalidzkie preznaczone dla osób dorosłych) oraz (2) wózki inwalidzkie o napędzie elektrycznym, czyli indywidualne pojazdy specjalne dla osób niepełnosprawnych wyposażone w silnik. Dalszy podział jest już nieco inny i odpowiada stanowi techniki w tym zakresie, co przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Propozycja nowej kategoryzacji wózków inwalidzkich (Sydor, 2016)

Wózki inwalidzkie o napedzie ręcznym		Wózki inwalidzkie o napędzie elektrycznym
Dla dzieci	Dla dorosłych	
1) standardowy 2) aktywny o ramie składanej 3) aktywny o ramie nieskładanej 4) bierny dla dzieci spacerowy 5) bierny dla dzieci mulitpozycyjny	1) standardowy 2) standardowy lekki 3) aktywny o ramie składanej 4) aktywny o ramie nieskładanej 5) stabilizujący 6) multipozycyjny 7) z napędem ręcznym jednostronnym 8) wytwarzany indywidualnie	1) składany 2) uniwersalny 3) terenowy 4) specjalny 5) pionizujący 6) o napędzie hybrydowym 7) skuter o napędzie elektrycznym

Ten podział ma umożliwić uzyskanie bezpośrednich zależności pomiędzy potrzebami użytkownika oraz nowymi rozwiązaniami technicznymi wyrobu. Obowiązuje więc nadal potrzeba stosowania funkcjonalnego podziału środków tech-

nicznych. Rozpatrywanie zaspokojenia potrzeb za pomocą aspektów funkcjonalnych wyrobu wywołuje potrzebę zastosowania nowych rozwiązań technicznych i technologii, co umożliwia lepsze zaspokojenie zindywidualizowanych potrzeb. Ustalanie sztywnych ram klasyfikacji może ograniczać rozwój nowych koncepcji produktów.

Wózek realizuje cały szereg funkcji, rozpoczynając od umożliwienia przemieszczania poprzez podpieranie, napędzanie, a skończywszy choćby na kierowaniu czy zabezpieczaniu. Jest pożądane, aby spełniał również wiele dodatkowych funkcji (np. rehabilitacji, oświetlenia itd.) bez niekorzystnego oddziaływania na użytkownika i aby nie rezygnowano ze spełnienia tych wymagań. Stanowi to dość duży problem natury konstrukcyjnej, wynikający z potrzeby pogodzenia wielu wymagań w jednym produkcie.

Oprócz takiego jak reprezentowane w niniejszej pracy podejścia do projektowania – zorientowanego na użytkownika i jego wymagania, można spotkać się również z innymi uwarunkowaniami postaci konstrukcyjnej projektowanego obiektu. Przykładem może być projektowanie zrównoważone, w którym prace skoncentrowane są wokół badania cyklu życia np. z wykorzystaniem metody LCA (*life-cycle assessment*). Jego celem jest rozwój produktu z ograniczaniem negatywnego wpływu na środowisko naturalne. W pracy (Hosseinpour et. al, 2015) zarówno wymogi zrównoważone, jak i funkcjonalne wymagania produktu zostały zidentyfikowane na podstawie jakościowych kryteriów i przekształcone do danych ilościowych z użyciem analizy porównawczej i oceny cyklu życia. Zastosowanie tej metody pozwoliło zmniejszyć szkodliwe oddziaływanie na środowisko całego cyklu życia przykładowego wózka inwalidzkiego elektrycznego, przy zachowaniu względem niego oczekiwań funkcjonalnych.

Jeśli spojrzeć na historię rozwoju tych środków wspomagających osoby z niepełnosprawnościami, metody projektowania prowadziły do mało zróżnicowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Znane są ilustracje tego typu pojazdów już z VI w. n.e. dokumentujące chińską myśl techniczną. Dopiero na przełomie XIX i XX w. pojawiły się pierwsze powszechnie dostępne wózki o zadawalającej funkcjonalności, a dopiero w latach 30. XX w. opracowano wózki inwalidzkie o współczesnej formie konstrukcyjnej: o ramie składanej krzyżakowo z kołami napędowymi z tyłu, wyposażonymi w obręcze napędowe, oraz z kołami samonastawnymi z przodu. W latach 80. XX w. dokonano bardzo istotnej zmiany polegającej na przekształceniu wyrobu o dużym stopniu uniwersalności w wyrób indywidualny, dobierany do cech określonego użytkownika (Branowski, Sydor, 2013). Celem tych zmian było uzyskanie możliwie samodzielnego i aktywnego funkcjonowania osoby niepełnosprawnej, zgodnie ze sformułowanymi w tym czasie dezyderatami filozofii niezależnego życia (ang. *independent living*) (Sydor, 2012).

Wózek jako podstawowy środek techniczny do zapewnienia mobilności nie jest przystosowany np. do rehabilitacji przy przemieszczaniu i użytkowaniu w różnych warunkach (np. wnętrza mieszkania, samochodu). Wymagana jest jego zmiana w zależności od wykonywanych czynności – istnieje zatem potrzeba posiadania

kilku wózków. Nadmierną różnorodność produktów można ograniczać przez ogólnie pojmowaną standaryzację i modularyzację. Współczesny paradygmat platformy produktów jest uformowany z wcześniejszych form standaryzacji komponentów i późniejszych form modularyzacji opartej na montażu i na funkcjach (Branowski, Zabłocki, 2015).

Analizując rozwój i obecny stan techniki w dziedzinie urządzeń wspomagających lokomocję (przede wszystkim wózków inwalidzkich), można z całą odpowiedzialnością stwierdzić, że współczesne rozwiązania konstrukcyjne odpowiednio nie kompensują wspomnianych na początku utraconych lub upośledzonych funkcji motorycznych ciała osoby z niepełnosprawnościami, z równoczesnym uwzględnieniem dodatkowych i pożądanych wymagań. Pewnie właśnie z tego tytułu statystyki sprzedaży i zapotrzebowania na wózki inwalidzkie wskazują, że najczęściej wybierane są proste wózki inwalidzkie z napędem ręcznym (Branowski, Sydor, 2013).

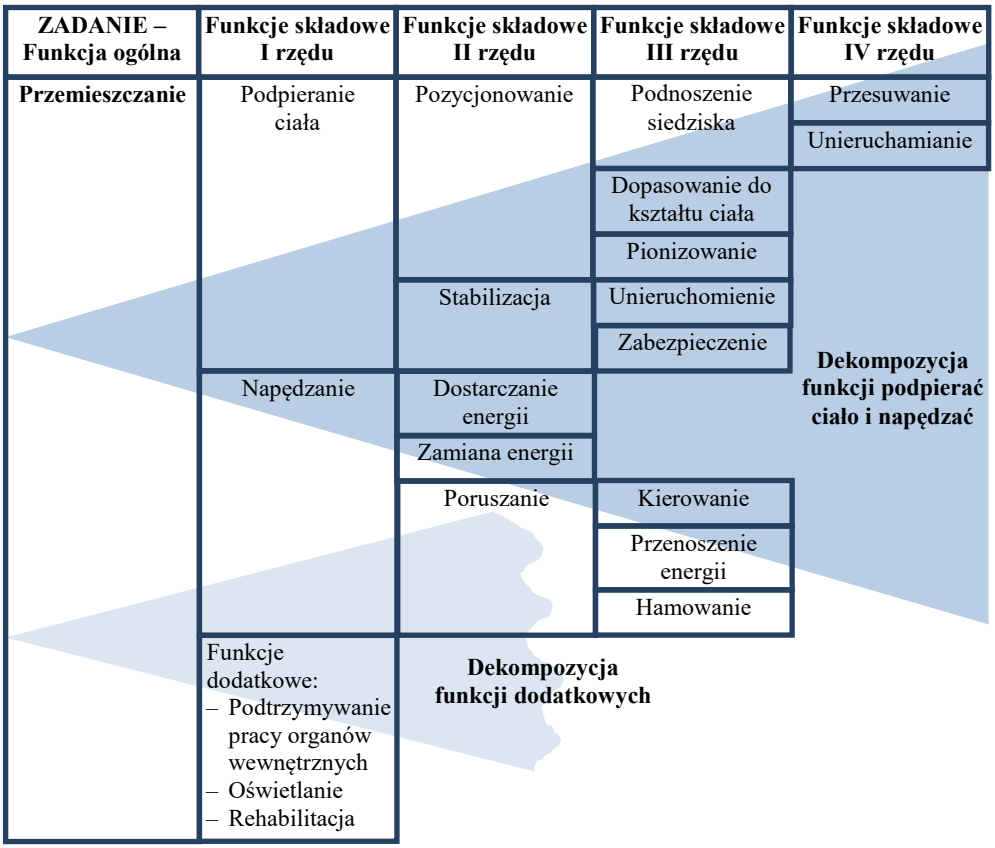
2. STRUKTURA

2.1. Hierarchia funkcjonalno-konstrukcyjna wózka inwalidzkiego

Początkiem działania projektowego jest dostrzeżenie nowej potrzeby. W celu znalezienia rozwiązania, które ją spełnia, formułuje się zadanie projektowe. Jednak aby łatwiej rozwiązać to zadanie, należy przeprowadzić jego dekompozycję. Zidentyfikowana potrzeba generuje funkcje środka technicznego oraz konkretne wymagania, które określają odpowiednią funkcjonalność produktu. Według jednej wybranej szczególnej zasady konstrukcji funkcjonalność to poprawne spełnianie funkcji. Funkcja jest synonimem działania lub roli, która może być konsekwencją potrzeby (Dietrich, 1985). Funkcjonalność wynika wprost z przeznaczenia projektowego obiektu (Tarnowski, 1997) i jest zbiorem parametrów środka technicznego lub systemu, które określają zdolność do dostarczenia funkcji zaspokajających potrzeby podczas użytkowania.

Współcześnie wiele funkcji składowych w ramach działań projektowych uwzględnia się w opracowaniach projektowych rozwiązań konstrukcyjnych, ale występują również takie, które nie są wystarczająco przetransformowane w ostateczne rozwiązanie konstrukcyjne. Zadanie zaprojektowania ręcznego wózka inwalidzkiego można więc zdekomponować zgodnie z przedstawioną na rysunku 1 strukturą funkcjonalną. Dzięki temu można w prostszy sposób poszukiwać rozwiązań technicznych realizujących bardziej elementarne funkcje składowe.

Za najważniejszą funkcję ogólną wózka można uznać **przemieszczanie**. Aby funkcja ta mogła zostać zrealizowana względem osoby z niepełnosprawnościami, konieczna jest realizacja funkcji składowych niższego rzędu: **podparcia ciała i napędu**. Spełnienie dodatkowych funkcji składowych I rzędu (np. wskazanych na rys. 1) wymaga wprowadzenia modułowości konstrukcji (modułu oświetlenia czy respiracji).



Rys. 1. Zdekomponowane zadanie projektowania wózka inwalidzkiego

Ta podfunkcja ze względu na obszerność pracy nie zostanie rozwinięta o kolejne, podporządkowane jej podfunkcje niższego rzędu. Kolejny poziom uszczegóławiania, dzieli np. podfunkcję podpieranie ciała na: dwie funkcje składowe II rzędu. Pierwsza to **pozycjonowanie**, czyli zapewnienie wymaganego oddziaływania organów roboczych środka technicznego (wózka) na podmiot operacji którym jest człowiek, przy ustalonym podparciu, co zapewnia wzajemne położenie człowiek–konstrukcja wózka. Drugą funkcją składową II rzędu jest **stabilizacja**, która jest zapewnieniem człowiekowi stateczności statycznej i dynamicznej z wykorzystaniem możliwości człowieka (aparat wzrokowy, mięśniowo-stawowy i nerwowy z uwzględnieniem indywidualnej specyfiki niepełnosprawności) oraz z uwzględnieniem komplementacji funkcji, czyli uzupełnienia przez system rzeczowy (wózek) funkcji działaniowych (stabilizacja w celu wykonania zadania roboczego). Stabilizacja ma zapewnić poprawne wykonanie procesu roboczego przez utrzymanie wartości parametrów określających warunki pracy systemu w wymaganym

zakresie. Dalszy podział podfunkcji dla przykładowego pozycjonowania tworzy trzeci ich poziom: **podnoszenie siedziska**, które z kolei wymaga jego **przesuwania** i **unieruchamiania** jako podfunkcji o kolejnych składowych np. doprowadzeniu energii (np. elektrycznej lub siły mięśni), materiału i informacji do odpowiednich podzespołów środka technicznego w celu zapewnienia ruchu przez np. ciągnięcie lub pchanie, co skutkuje umieszczeniem użytkownika wyżej, przy podstawowym ruchu wykonywanym w kierunku pionowym (podnoszeniu może towarzyszyć również przemieszczanie w płaszczyźnie poziomej). Funkcja **przesuwanie** – polega na wykonaniu kontrolowanego ruchu układu podparcia ciała w celu uzyskania dogodnej wysokości do wykonania procesu roboczego przez użytkownika a **unieruchamianie** to zapewnienie bezpiecznej pozycji przed i po wyłączeniu układów napędowych podnoszenia. Założono przy tym, że położenie kątowe poszczególnych segmentów ciała człowieka nie zmienia się. Funkcja **dopasowanie do kształtu ciała** będzie spełniona przez budowę konstrukcji segmentowej i odpowiednich typoszeregów wielkości (Pahl, Beitz, 1984) o specyficznych, często zindywidualizowanych cechach układu podparcia ciała (konieczność podparcia głowy) osoby z niepełnosprawnością (Zabłocki, 2002; Zabłocki & Branowski, 2004; Zabłocki, 2003). **Pionizowanie** to ustawienie i ustabilizowanie ciała w pozycji pionowej lub zbliżonej do pionowej za pomocą pionizatora, egzoszkieletu, łóżka wielofunkcyjnego lub wózka inwalidzkiego z funkcją pionizacji. W trakcie pionizowania zmianie ulega podstawa biomechanizmu ciała człowieka (podstawę w pozycji siedzącej stanowi miednica, a w stojącej – układ kostno-mięśniowo-stawowy stóp), co wpływa na zmianę przeniesienia obciążenia. Masa ciała w pozycji stojącej korzystnie oddziałuje na układ kostno-stawowy użytkownika, jednak przy bezwładzie i niedowładzie kończyn dolnych wymagana jest stabilizacja stawów: skokowego, kolanowego oraz biodrowego wraz z miednicą, często również stabilizacja tułowia. Funkcja pionizacji zapewnia zwiększenie strefy manipulacji kończyn górnych ale również ma podstawowe znaczenie w procesie terapeutycznym i podczas rehabilitacji (Szymczak, 2004).

Równocześnie z potrzebą podstawową „przemieszczać" w rozwiązaniu zadania projektowego „wózek" muszą być rozpatrywane dodatkowe potrzeby osób z niepełnosprawnościami. Tabela 2 zawiera proponowane wymagania podane z przyporządkowaniem do zidentyfikowanych funkcji składowych. Ich uwzględnienie spowoduje rozbudowanie rozpatrywanej struktury funkcji i wymagań, które można przetransponować w adekwatną do oczekiwań klienta konstrukcję wózka.

Przedstawiony powyżej opis to tylko niepełny przykład dekompozycji funkcjonalnej wózka inwalidzkiego, którą należałoby przeprowadzić w celu znalezienia rozwiązania odpowiedniego zadania projektowego. Analiza umożliwia poszukiwanie nowych, skuteczniejszych rozwiązań wydzielonych funkcji składowych, tworząc tym samym nową konstrukcję dla postawionego zadania projektowego. W przedstawionej powyżej analizie nie uwzględniono wzajemnych oddziaływań pomiędzy funkcjami, które w rzeczywistości często występują. Równoległość przebiegu funkcji w strukturze (dla konkretnego rzędu) może prowadzić do rozwiązań konstrukcyj-

nych ze sprzecznościami ergonomicznymi. Podane na rysunku 1 funkcje nie tworzą zamkniętej struktury, są tylko wstępną propozycją dekompozycji.

Tabela 2. Wymagania w stosunku do wózka inwalidzkiego

Funkcje składowe			
Podparcie ciała	Przemieszczanie się	Dodatkowe	
Wymagania			Meta-wymagania
zwiększona nośność zwiększona stabilizacja wspomaganie wstawania aktywny ukł. podparcia ciała	napęd silnikowy podstawowy napęd silnikowy wspomagający napęd przez opiekuna napęd samodzielny oburącz napęd nożny napęd jednoręczny nietypowe sterowanie napędem	składanie korzystanie z sedesu, wanny, przesiadanie do samochodu transport w trudnych warunkach terenowych – rekreacja jazda po schodach zapewnienie możliwości pracy załadunek do samochodu transport dziecka przez osobę niepełnosprawną	estetyka bezpieczeństwo niezawodność bezobsługowość kompatybilność z innymi urządzeniami modułowość

2.2. Kompatybilność wózków inwalidzkich z innymi wyrobami techniki

Zidentyfikowane wcześniej wymagania podporządkowane funkcjom I rzędu – podpierania, napędu oraz dodatkowym – zawierają potrzeby wynikające z relacji, jakie pojawiają się przy współużytkowaniu innych środków technicznych. Przykładowo – wybrane przedmioty z zakresu asystującej techniki dla osób niepełnosprawnych są projektowane z uwzględnieniem korzystania ze środków transportu zarówno indywidualnego, jak i zbiorowego. Przykładem formułowania wymagań odnoszących się do transportu wózka w różnych pojazdach są:

– wytyczne dotyczące m.in. mocowania, usytuowania i testowania miejsca dla wózka w środkach transportu zbiorowego i indywidualnego, np. w autobusie (Butlewski, Kalemba, Sydor, 2014; PN-ISO 7176-19:2007);
– przewidywanie potrzeby samodzielnego umieszczania wózka w samochodzie osobowym; wózek powinien mieć możliwość łatwego rozkładania na segmenty transportowe (typowo rozłączalne: poduszka na siedzisko, koła napędowe, rama; opcjonalnie: rozłączalne osłony boczne, koła samonastawne, składane oparcie, składana rama oraz inne ułatwienia);

– przewidywanie potrzeby zautomatyzowanego lub zmechanizowanego umieszczania wózka inwalidzkiego w specjalnym bagażniku dachowym lub w miejscu tylnego siedzenia lub w bagażniku samochodowym – wózek powinien mieć ramę składaną np. krzyżakowo;
– przewidywanie potrzeby umieszczania wózka o napędzie elektrycznym w bagażniku samochodu osobowego wymusza jego podział bez użycia narzędzi na segmenty o masie nieprzekraczającej np. 25 kg każdy.

Podane przykładowe wymagania są realizowane często bez uwzględnienia bardziej złożonej struktury systemu „człowiek–wózek–inne środki techniczne" (Zabłocki, 2013), który można określić mianem złożonego (Jones, 1977). W konstrukcji wózka można uwzględniać również częściowo wymagania współpracy w takim systemie, ale wymaga to rozbudowy listy wymagań. Teoretycznie właściwy dobór i konfiguracja indywidualnych wyrobów medycznych powinna uwzględniać wszystkie obszary życia osoby niepełnosprawnej, w tym również przykładowe poruszanie się za pomocą samochodu osobowego (Zabłocki, 2013) czy transportu zbiorowego (Marciniak, Szewczenko, 2003).

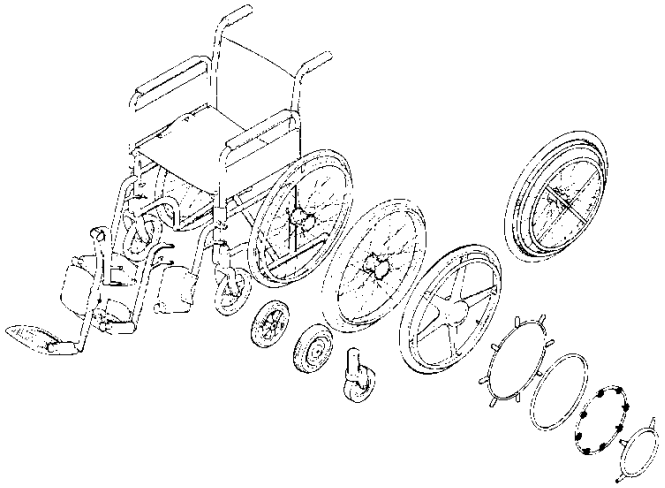
3. KONCEPCJE I KONSTRUKCJE WÓZKÓW INWALIDZKICH

3.1. Standardowy typoszereg i konstrukcja modułowa wózka inwalidzkiego o napędzie ręcznym

Typowy wariantowy i alternatywny system modułowy wózków przedstawiono na rysunku 2. Przedstawione rozwiązanie zapewnia możliwość zmiany podnóżków, kół samonastawnych, doboru kół napędowych do różnych niepełnosprawności (zmiana geometrii ciągów napędowych lub możliwość napędu wózka jedną ręką dla osób z hemiplegią).

W podobnym układzie podzespołów można wariantować konstrukcję wózka inwalidzkiego aktywnego. Napotyka się jednak na znaczne ograniczenia rozbudowy modułowości konstrukcji – np. brak jest możliwości zastosowania kół z oponami terenowymi do standardowego wózka (kolizja opony z osłonami kół, potrzeba zmiany elementów dystansujących koło względem ramy itp.). W celu spełnienia wymagania jazdy terenowej wózek wymaga zmian konstrukcyjnych. Rozbudowa systemu modułowego może skomplikować również wybór odpowiedniej konfiguracji.

Takie typowe rozwiązanie nie zapewnia również możliwości realizacji innych ważnych dla osób niepełnosprawnych czynności w procesie lokomocji (np. proces przemieszczania się aktywnego na dłuższych odcinkach drogi, pokonywanie wzniesień bez nadmiernego wysiłku) czy możliwości realizacji czynności rehabilitacji bez przesiadania się na inne środki lub korzystania z innych urządzeń.



Rys. 2. Wariantowe i alternatywne systemy modułowe wózków ręcznych: z alternatywnymi kołami napędzającymi, ciągami, kołami samonastawnymi i podnóżkami (opracowano na podstawie (Cooper, 1995))

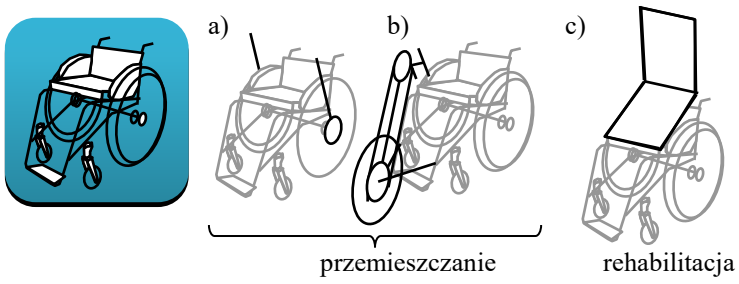
Funkcjonalność (lub możliwość dokonania wyboru) można uzyskać, stosując inne środki techniczne (wiele środków realizujących różne funkcje) lub projektując środek techniczny umożliwiający podłączenie do konstrukcji bazowej dodatkowych modułów wymienianych w zależności od realizowanego zadania np. napędzania wózka, różnych czynności aktywnego wypoczynku czy rehabilitacji.

Poszukiwanie nowego rozwiązania projektowego może z jednej strony doprowadzić do zbytniej różnorodności opcji systemu (ewentualnie niepotrzebnych), z drugiej jednak strony zapewnia możliwość spełnienia ważnych wymagań funkcjonalnych.

3.2. Wariant pierwszy – rodzina konstrukcji

W wariancie pierwszym rozwiązania elementem konstrukcyjnym specjalnym i uniwersalnym może być „element podparcia ciała" dającym możliwość integracji modułów wspomagających. Konstrukcja ramy prętowej wózka najczęściej spełnia tę funkcję i zapewnia integrację modułów napędowych z siedziskiem, a rozwiązanie stanowi przewidziany przez zespół konstruktorów system spełniający wymagania funkcjonalne, użytkowe, bezpieczeństwa czy ergonomicznie. Tak powstały system ma zapewniać przy wstępnym ograniczeniu nakładów finansowych podczas zakupu (możliwość wyboru potrzebnych konfiguracji) oraz wspomagany korzystny finansowo zakup wyrobu. Dodatkowe moduły mogą być uzupełniane w zależności od potrzeb i niekoniecznie nabywane w tym samym czasie z konstrukcją bazową.

Zbyt rozbudowany komplementarny system modułowy może być niefunkcjonalny. Proponowany ograniczony liczebnie system może składać się z wybranej grupy przystawek wspomagających dwie funkcje (rys. 3):
– przemieszczanie się i podpieranie ciała (zmiana układu napędowego ręcznego, napęd hybrydowy mięśniowo-elektryczny lub elektryczny),
– rehabilitację (pionizacja inne ćwiczenia usprawniające).



Rys. 3. Komplementarny system modułowy wózka inwalidzkiego: a, b) różne realizacje funkcji przemieszczania się (moduły napędowe dźwigniowe (a) i korbowe – handbike (b)), d, e) przykładowa realizacja funkcji rehabilitacji – pionizacja (c)

W grupie pierwszej mogą znaleźć się moduły lokomocji ze względu na cechy:
– wspomagania osoby przemieszczającej się: osoba niepełnosprawna (użytkownik wózka lub towarzysząca – wspomagająca proces obsługi),
– umiejscowienie napędu: z przodu wózka, pod wózkiem, za wózkiem, z boku wózka (wbudowany lub podłączony do kół wózka),
– rodzaj napędu: ręczny, hybrydowy, elektryczny,
– wspomagania procesu: lokomocji lub rehabilitacji.

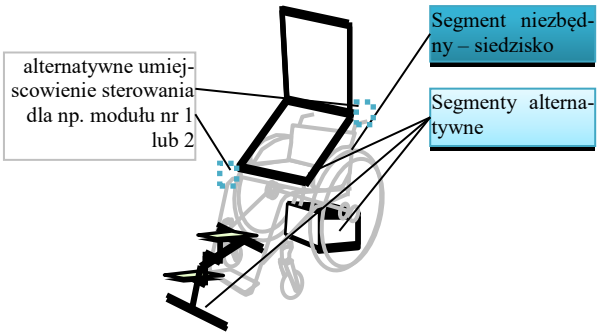
W drugiej grupie można wyróżnić moduły do rehabilitacji ze względu na cechy:
– możliwość lub brak możliwości przemieszczania z modułem (przystawki unieruchamiające wózek to rotor (rys. 3e), przystawka mobilna to pionizator wózka (rys. 3d)),
– rehabilitacji kończyn górnych, dolnych lub całego ciała.

Wymagania dla projektowanego systemu modułowego wózka z dwoma modułami (lokomocji i rehabilitacji) wynikają z możliwości zastosowania różnych modułów łączonych z konstrukcją ramy wózka. Wymagania stawiane systemowi wynikają z alternatywnego stosowania wybranych modułów. Do najważniejszych wymagań systemu można zaliczyć zapewnienie możliwości:
– prostego (najlepiej bez użycia narzędzi) i samodzielnego montażu wszystkich modułów do konstrukcji bazowej,
– zmiany układu podparcia ciał w celu dostosowania do niepełnosprawności, indywidualnych preferencji,

– zmiany rodzaju napędu (przystawka elektryczna, napęd ręczny),
– rehabilitacji (pionizacja, ćwiczenia – rotor itp.),
– dostosowania do wnętrza mieszkania i otoczenia (wymiary, manewrowanie, składalność, ogumienie),
– dostosowania do pokonywania przeszkód przy wybranym module napędowym (np. możliwość pokonywania krawężników),
– dostosowania do załadunku i transportu w samochodzie,
– realizacji czynności obsługowych dnia codziennego,
– uzależnienia kosztu zakupu od stosowanej liczby modułów,
– design (sportowy, nowoczesny),
– niewielkie gabaryty,
– ładowanie akumulatorów w dowolnym miejscu,
– komfort użytkowania – wygodne siedzisko, regulacja geometrii siedziska,
– prosta budowa, prosta obsługa, bezpieczeństwo.

Elementem integrującym jest siedzisko realizujące jedną z wyróżnionych wcześniej głównych funkcji składowych – podparcia ciała, stanowiące segment niezbędny konstrukcji modułowej, wokół którego można zbudować całą konstrukcję modułową (rys. 4). W tej konstrukcji można wyróżnić również segmenty alternatywne służące realizowania innych funkcji składowych.

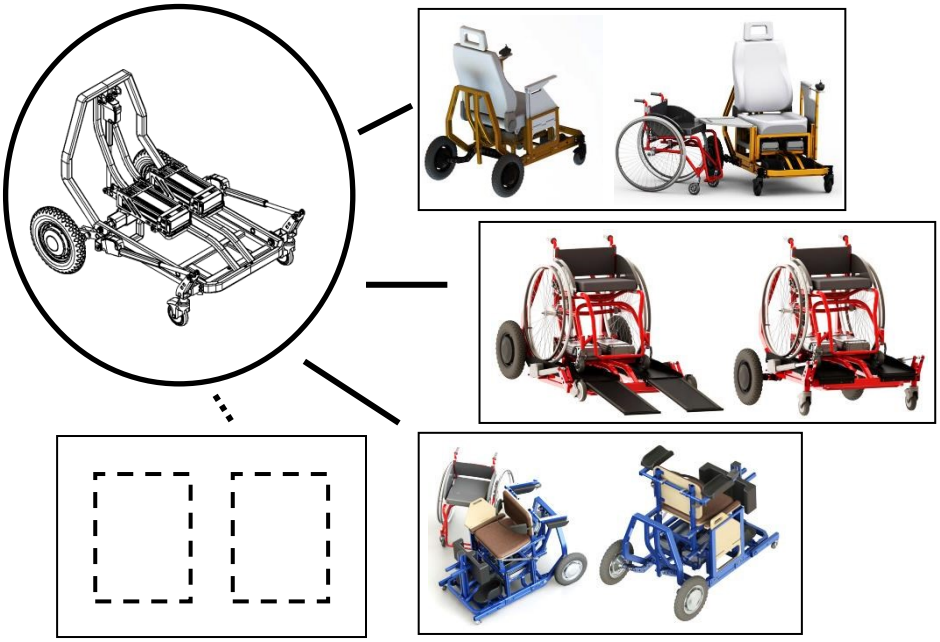
System modułowy składa się z ograniczonej liczby przystawek, a ich dobór i stosowanie przez użytkownika jest dowolne, zależne od potrzeb i możliwości finansowych w okresie użytkowania. Możliwe jest zapewnienie większej funkcjonalności przy ograniczonej liczbie przystawek. Wybór wariantu końcowej konstrukcji nie sprowadza się do dobrania jednego modułu alternatywnego, niezmiennego przez okres wynikający z interwałów dofinansowania przez państwo konstrukcji wózka ale do zmiennych pojawiających się potrzeb oraz uzyskania niższego kosztu zakupu modułów dodatkowych.



Rys. 4. Koncepcja systemu wózka inwalidzkiego o zmiennej funkcjonalności

3.3. Wariant drugi – platforma produktu

W systemach segmentowych zmienne segmenty konstrukcyjne (funkcjonalne i technologiczne) są łączone rozłącznie lub nierozłącznie ze stałą platformą produktu. Utworzenie nowego wariantu strukturalnego konstrukcji modułowej (rys. 5) o określonych więziach fizykalnych i konfiguracyjnych jest oparte na wzorcu więzi funkcjonalnych wynikającym z połączenia w określoną strukturę funkcjonalną zbioru funkcji składowych, spełniających nową funkcję ogólną. Niezmienny jest rdzeń zasadniczego rozwiązania (np. platforma). W tym rdzeniu istotne funkcje są z góry wybrane (np. typ napędu), a alternatywy są opcjonalne.



Rys. 5. Platforma i wybrani typoprzedstawiciele rodziny konstrukcji (Branowski, Zabłocki, 2015)

Okresowy charakter wykorzystania (np. przejazd rekreacyjny lub zajęcia edukacyjne) wynika z równoległego używania wózka inwalidzkiego ręcznego na krótkich odcinkach drogi. Zakłada się, że platforma powinna mieścić się w bagażniku samochodu osobowego. Nadmierna różnorodność wariantów produktów wynika zarówno z zewnętrznych i wewnętrznych przyczyn, takich jak kompleksowość rynku, popytu i konkurowania, współzawodniczenia w kosztach, cenie i czasie wytwarzania, wprowadzania nowych technologii, jak i niedoboru technicznych lub organizacyjnych warunków w firmie.

Rodzina konstrukcji nowych środków transportu (Branowski, Zabłocki, 2015) oparta na strategii platformy pozwala zmniejszyć nadmierną różnorodność produktów określonego producenta na drodze wyboru podstawowego zespołu, który z różnymi zespolonymi modułami tworzy innowacyjną paletę nowych produktów na rynku.

W proponowanym rozwiązaniu rodziny konstrukcji ze wspólną platformą zakłada się, że **innowacyjność koncepcji** rozwiązania rodziny produktów będzie zapewniona dzięki:

- zwiększeniu funkcjonalności, tzn. problem transportowy użytkownika wózka inwalidzkiego będzie rozwiązany na nowo dzięki dodatkowym funkcjom;
- zmianom architektury produktów rodziny dzięki modyfikacjom wymiarów fizycznych podczas działania lub przechowywania, odmiennościom układów fizycznych architektury elementów w rodzinie produktów w poszerzonym środowisku fizycznym jej stosowania;
- właściwej rodzinie charakterystyce oddziaływań środowiskowych na modyfikacje przepływu akceptowalnych lub zmienionych materiałów, na modyfikacje przepływu energii co do źródeł i form użycia energii, na modyfikacje przepływu informacji w obszarze jej zbierania, przetwarzania i współdziałania z infrastrukturą;
- interakcjom użytkownika tzn. modyfikacjom wysiłku fizycznego, sensoryki i oddziaływań mentalnych;
- zmianom kosztów zakupu, operacji i utrzymania.

Zakłada się, że na bazie platformy zostanie rozwiniętych i produkowanych szereg różnych produktów pochodnych powstałych w wyniku powiązania dodatkowych modułów realizacji **dodatkowych funkcji** do funkcji ogólnej platformy.

Konstrukcje platformy i kilku wybranych zaprojektowanych typoprzedstawicieli rodziny konstrukcji pokazano na rysunku 5.

Kolejne konstrukcje są połączeniem strukturalnym platformy z indywidualnymi modułami:

- wózek elektryczny zapewniający możliwości przesiadania się osoby niepełnosprawnej z ręcznego wózka i wykorzystania pulpitu do pracy (w biurze, markecie lub w szkole),
- pojazd do transportu osoby niepełnosprawnej na wózku inwalidzkim ręcznym z opuszczanym zawieszeniem i układami najazdu/zjazdu z platformy,
- pojazd rehabilitacyjny do pionizacji osoby niepełnosprawnej siedzącej na geometrycznie zmiennym siedzisku,
- inne.

Przedstawiona koncepcja metodyczna i jej egzemplifikacja w konkretnych obiektach techniki rehabilitacyjnej i medycznej jest oryginalna. Konstrukcja pojazdu transportowego lub rehabilitacyjnego dla osób z niepełnosprawnością ruchu powstała w wyniku prowadzenia prac w ramach projektu NCBiRPBS1/A6/5/2012 pt.: „Nowe linie produktów wspomagających mobilność i dostępność otoczenia seniorów i osób niepełnosprawnych”. Rodzina konstrukcji o wspólnej platformie

(rys. 5) jest wynalazkiem zgłoszonym do opatentowania (Branowski et. al., 2014) i otrzymała nagrody i wyróżnienia na targach wynalazczości w Polsce i Niemczech.

4. PODSUMOWANIE

Wózki inwalidzkie są jednym z wielu wyrobów z zakresu tzw. asystującej techniki, ich podstawowymi funkcjami są stabilizacja ciała w przestrzeni za pomocą układu podparcia ciała oraz lokomocja za pomocą układu jezdno-napędowego. Te dwie funkcje mogą być realizowane bardzo różnym zestawem rozwiązań konstrukcyjnych. Z tego powodu właściwości użytkowe wózków inwalidzkich wygodnie jest prezentować w formie hierarchii funkcjonalno-konstrukcyjnej. W artykule zaproponowano wielopoziomową hierarchię (rys. 1). Takie podejście umożliwia metodyczne rozwiązywanie zagadnienia, jak przełożyć potrzeby niepełnosprawnego człowieka na konkretne, często antynomiczne względem siebie, rozwiązania konstrukcyjne w zakresie wózków inwalidzkich, w tym spełnienie dezyderatu kompatybilności wózka inwalidzkiego z innymi rozwiązaniami z zakresu asystującej techniki.

Zadanie polegające na spełnieniu zmiennych wymagań wobec wózków inwalidzkich, wynikające z bardzo indywidualnego charakteru współczesnych wyrobów medycznych, rozwiązuje się za pomocą modułowej konstrukcji wózków inwalidzkich. Niemal wszystkie podsystemy konstrukcyjne nowoczesnych wózków inwalidzkich oferowane są w formie wariantowych lub opcjonalnych modułów dobieranych do określonych wymagań ich użytkownika. Rozwinięciem „modułowego" podejścia jest system opisany jako „wariant pierwszy – rodzina konstrukcji", który zapewnia o wiele większą wielofunkcyjność wyrobu medycznego. Wykorzystanie rozwiązań mechatronicznych umożliwia uzyskanie jeszcze większej wielofunkcyjności, opisanej jako w niniejszym artykule jako „wariant drugi – platforma produktu".

LITERATURA

Branowski, B., Sydor, M. (2013). Wózki inwalidzkie – zastój, ewolucja czy rewolucja w rozwoju. In: J. Lewandowski, Z. Wiśniewski (red.). *Ergonomia niepełnosprawnym – aktywizacja życia. Pomoce rehabilitacyjne, działania wspierające*. Łódź: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 10-27.

Branowski, B., Zabłocki, M. (2015). Platforma rodziny produktów transportowych i rehabilitacyjnych dla osób z niepełnosprawnościami na wózkach inwalidzkich. In: B. Branowski (red.). *Projektowanie dla seniorów i osób z niepełnosprawnościami*, *badania, analizy, oceny, konstrukcje*. Poznań: Wydawnictwo WMRiT PP, 442-462.

Butlewski, M., Kalemba, A., Sydor, M. (2014). Wymagania dla miejskich systemów transportowych wobec rozwoju sprzętu dla osób z niepełnosprawnością. *Logistyka*, 6, 14046-14055.

Dietrich, M. (1985). *System i konstrukcja* (2nd ed.). Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

Geremek, K., Hojan, E., Janicki, S., Majcher, P., Przeździak, B., Radziszewski, P., … Tchórzewska-Korba, H. (2016). *Kategoryzacja wyrobów medycznych do zaopatrzenia indywidualnego* (1st ed.). Warszawa.

Hosseinpour, A., Peng Q., Gu P. (2015). A benchmark-based method for sustainable product design. *Benchmarking: An International Journal*, 22, 4, 643-664.

Jones, J.H. C. (1977). *Metody projektowania*. (J. Zielonka, Trans.). Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

Marciniak, J., Szewczenko, A. (2003). *Sprzęt szpitalny i rehabilitacyjny*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.

Pahl, G., Beitz, W. (1984). *Nauka konstruowania*, 12. Londyn: Springer.

PN-ISO 7176-19:2007. Wózki inwalidzkie, 19, Mobilne urządzenia na kołach przewożone w pojazdach silnikowych.

Sydor, M. (2012). Wózek inwalidzki do aktywnej rehabilitacji. In: *Aktywna Rehabilitacja. Zwiększanie samodzielności i niezależności życiowej osób po URK*. Warszawa: Jeden Świat, 179-212.

Sydor, M. (2014). Dostępność wózków inwalidzkich w Polsce. *Rehabilitacja w Praktyce*, (4), 81-88.

Sydor, M. (2016). Wyroby lokomocyjne i pomoce techniczne. In: *Kategoryzacja wyrobów medycznych do zaopatrzenia indywidualnego* (1st ed.). Warszawa: 53-70.

Szymczak, B. (2004). Pionizowanie osób chorych i niepełnosprawnych. In: R. Będziński, M. Nałęcz (Eds.), *Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna 2000*, 5. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza „Exit" (przy współpr. Polskiego Towarzystwa Biomechaniki), 885-897.

Tarnowski, W. (1997). *Podstawy projektowania technicznego*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

Zabłocki, M. (2002). *Metodyka projektowania urządzeń technicznych dla osób niepełnosprawnych*. (rozprawa doktorska). Poznań: WMRiT PP.

Zabłocki, M. (2003). *Aspekty systemowe i procesowe w projektowaniu technicznym dla osób z niepełnosprawnościami*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.

Zabłocki, M., Branowski, B. (2004). Designing of families of active wheelchair. In: *The ergonomics of rehabilitation equipment and objects of everyday use for disabled people*, A. Kabsch, T. Marek, J. Pokorski (red.). Kraków: Wyd. PAN, 113-122.

Zabłocki, M. (2013). *Aspekty systemowe i procesowe w projektowaniu technicznym dla osób z niepełnosprawnościami*. Poznań: Wyd. Politechniki Poznańskiej.

Branowski, B., Wieczorek, B., Głowala, S., Zabłocki, M. (2014). Zgłoszenie patentowe w UPRP; P.408212 [WIPO ST 10/C PLP.408212], 15.05.2014, *Pojazd transportowy lub rehabilitacyjny dla osób z niepełnosprawnością ruchu*, krajowy. Poznań: Politechnika Poznańska.

FUNCTIONAL TRANSLATION OF USER NEEDS INTO WHEELCHAIR DESIGN

Summary

The paper presents a methodical approach to solving the problem of designing a wheelchair that meets more than the usual needs of users. The design task was decomposed. A hierarchy of functions was built and the basic and additional requirements for a wheelchair were presented. In the paper, two conceptual variants of solutions to the design task are presented.

Keywords: a person with a disability, wheelchair, wheelchair functions, design, modularity, product structure unification