Gliwice; 20.08.2015 r.

Prof. dr hab. inż. Piotr Gendarz
Instytut Automatyzacji Procesów Technologicznych
i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania
Politechnika Śląska
ul. Konarskiego 18a
44-100 Gliwice

RECENZJA

**pracy doktorskiej mgr inż. Bartosza WIECZORKA
pt. „Studia nad rozwojem środków lokomocji techniki asystującej na przykładzie wózków inwalidzkich i ich rodzin"
w ramach postępowania w sprawie nadania Doktorantowi stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie „Budowa i Eksploatacja Maszyn"**

1. Wstęp

Podstawą formalną wykonania niniejszej recenzji stanowi zlecenie nr DR-63/503/2015 z dnia 3.07.2015, podpisane przez Prof. dr hab. inż. Franciszka Tomaszewskiego, Dziekana Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu, Politechniki Poznańskiej.

Przedłożona praca doktorska obejmuje 173 stron wraz z załącznikami i podzielona jest na 10 rozdziałów. Zawiera także wykaz literatury sporządzony w porządku alfabetycznym i obejmuje 82 pozycje, w tym 4 pozycje, w których Doktorant jest autorem i współautorem. Wykaz ten obejmuje kompleksowo najważniejsze i aktualne pozycje literatury krajowej oraz zagranicznej z zakresu tematyki rozprawy. Tytuł rozprawy sformułowany jest prawidłowo i właściwie odzwierciedla jego treść. W pracy przedstawiono analizy poprawy działania i nowe metody projektowania środków technicznych asystujących na przykładzie wózków inwalidzkich dla osób z niepełnosprawnością ruchową.

2. Ocena pracy doktorskiej

2.1. Istota zagadnienia

Recenzowana praca obejmuje dziedzinę Eksploatacji i Budowy Maszyn, a szczególnie problemy naukowe budowy systemów antropotechnicznych „człowiek niepełnosprawny –

wózek inwalidzki". Problematyka jest bardzo istotna szczególnie w dobie wzrostu liczby seniorów i liczby osób z niepełnosprawnością ruchową. Celem jest opracowanie dla znanych środków technicznych nowe środki asystujące, szczególnie dla osób niepełnosprawnych mobilnie, aby spełnić kryterium odzyskania niezależności i stylu życia osób sprawnych. Opracowanie urządzeń techniki asystującej osobom niepełnosprawnym podzielono na 3 grupy: rehabilitacyjne (trenażer kończyn, pionizacja), wspomagające (w pracy i edukacji, zwiększenie zasięgu kończyn, możliwość przesiadania się), mobilne (wózki ręczne, wózki elektryczne). W urządzeniach tych dostosowanie do indywidualnych potrzeb użytkownika możliwe jest poprzez: zindywidualizowane rozwiązanie konstrukcyjne, rozwiązanie konstrukcyjne z szerokim zakresem nastaw i regulacji oraz zastosowanie rozwiązań konstrukcyjnych o modułowej strukturze. Wykazano, że najwięcej zalet posiada trzecia grupa urządzeń o budowie modułowej. Wyróżniając np.: ograniczoną różnorodność konstrukcyjną, niską cenę, możliwość uzupełniania w trakcie użytkowania produktu bazowego o nowe urządzenia asystujące. Należy wskazać, że w systemach modułowych ograniczoną liczbą modułów konstrukcyjnych (elementów, podzespołów, zespołów) można tworzyć szerokie spektrum produktów zachowując seryjność wytwarzania, a tym samym niższe koszty wytwarzania. Równocześnie odpowiedni dobór modułów konstrukcyjnych może zindywidualizować dany produkt zachowując tzw. moduł bazowy.

Cel pracy obejmuje opracowanie systemu modułowego z zastosowaniem techniki asystującej, nazywanej również tworzeniem systemów modułowych osprzętowych z modułem konstrukcyjnym bazowym. Wyróżniono trzy cele składowe: eksploracyjne (polegające na analizie konstrukcyjnej istniejących rozwiązań konstrukcyjnych), metodyczne (uwzględniające zindywidualizowanie zapotrzebowań), egzemplifikacyjne (polegające na opracowaniu metody tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji środków lokomocji dla osób niepełnosprawnych ruchowo).

Do najważniejszych zalet tworzonej metody wspomagającej proces projektowania zalicza się elastyczne dostosowanie do rynku zbytu (indywidualizacji), krótki cykl rozwoju i wdrażanie do produkcji opracowanej konstrukcji, zachowując wysoką jakość i niskie koszty produkcji. Tym wymogom może sprostać przedstawiona metoda tworzenia systemu modułowego z zastosowaniem techniki asystującej, z modułem konstrukcyjnym bazowym.

W zawartości tematycznej pracy można wyróżnić dwa podstawowe wątki:

- analiza układu „człowiek-ręczny wózek inwalidzki", niezbędne ze względu na dynamikę ruchu ręcznego wózka inwalidzkiego oraz zagadnienia stateczności ciała człowieka na siedzisku wózka inwalidzkiego,

- studia nad uniwersalistycznym systemem transportowo-rehabilitacyjnym, zawierające oryginalne dokonania Autora, dotyczące opracowania projektu systemu modułowego osprzętowego, składającego się z modułów konstrukcyjnych opartych na wspólnej platformie bazowej i ręcznym wózku.

W pierwszej części pracy przedstawiono analizę biomechaniczną napędzania ręcznych wózków inwalidzkich. Podczas analizy biomechaniki napędzania ręcznych napędów wyszczególniono 4 różne tory ruchu dłoni i 6 faz napędowych. Wykazano, że najbardziej efektywne napędzanie daje ruch ręki po torze SC. Na skutek wymaganych ruchów człowieka na wózku zmienia się środek ciężkości układu antropotechnicznego „człowiek-wózek inwalidzki". Na podstawie autorskiego programu wyznaczono położenie środka ciężkości układu w postaci trójwymiarowej powierzchni na podstawie przyjętych pozycji człowieka na wózku inwalidzkim. Ostatni element analizy biomechaniki ręcznego napędzania wózków obejmował zagadnienia stateczności ciała człowieka na siedzisku wózka inwalidzkiego i wpływ na tą stateczność sił generowany przez kończyny górne w trakcie napędzania wózka. W celu zbadania aktywności mięśniowej i sił mięśniowych zastosowano oprogramowanie AnyBody Modeling System . W badaniu zastosowany został model człowieka siedzącego na wózku inwalidzkim. Sprawdzano jak zmienia się obciążenie układu mięśniowego wyrażone za pomocą sił mięśniowych (*Fm*) i aktywności mięśniowych (*MA*) dla różnych położeń stawu biodrowego względem osi obrotu koła napędowego i różnych napędów ręcznych takich jak napęd ciągowy i dźwigniowy. Przeprowadzone badania pozwoliły ocenić wpływ położenia ciała na wysiłek mięśniowy oraz możliwe maksymalne kąty obrotu cięgien lub dźwigni. Stwierdzono, że największy moment napędowy uzyskuje się, gdy staw biodrowy jest o 50 mm odsunięty od osi obrotu koła. Wielorakie badania pozwoliły na zdefiniowanie wskazówek konstrukcyjnych dyslokacji ciała człowieka względem elementu napędzanego w celu efektywnego zastosowania układu mięśniowego przy napędzaniu ręcznych wózków inwalidzkich. Wartości tych sił pozwalają zaobserwować jakie mięśnie biorą udział w napędzaniu wózka inwalidzkiego, dzięki czemu możliwe jest ułożenie programu rehabilitacyjnego wspomagającego poruszanie się na ręcznym wózku inwalidzkim.

W dalszej części pracy przedstawiono metodyczne podejście do projektowania rodzin konstrukcji modułowych wózków i pojazdów rehabilitacyjnych o wspólnej platformie bazowej. Rozważono dwie koncepcje systemów modułowych konstrukcji:

1. opracowanie zbioru konstrukcji na podstawie jednej konstrukcji układu nośno – napędowego uzupełnianego modułami konstrukcyjnymi w sposób trwały stosowanie do potrzeb w fazie produkcyjnej w zależności od wymogów zleceniodawcy,

2. opracowanie zbioru konstrukcji na podstawie modułu konstrukcyjnego nośno – napędowego niezależnego (uniwersalnego) pozwalającego na dowolną rozbudowę przez przyszłego użytkownika w zależności od potrzeb.

Wybrano rozwiązanie drugie ze względu na niezależność stosowania modułów (osprzętu) w dowolnym etapie eksploatacji urządzenia.

W ramach pracy doktorskiej opracowano metodę projektowania systemu modułowego osprzętowego, nazywanego techniką asystującą, innowacyjnego środka technicznego łączącego grupę najważniejszych relacji sprzężeń i przekształceń w wózkach o napędzie ręcznym, elektrycznym i specjalistycznym. Z założeniem, że system tego środka technicznego nie spełnia wszystkich relacji jednocześnie, lecz umożliwia stopniowe ich dołączanie w zależności od potrzeb w różnych okresach eksploatacji.

W celu uzyskania wzorcowego systemu modułowego zastosowano metodę SIMPLEX i realizowano kolejne jej stadia. W jednym ze stadiów założono, że osoba niepełnosprawna ma już jeden wózek aktywny lub klasyczny. A dąży się do rozszerzenia jego możliwości w czynnościach związanych z pracą, edukacją, zakupami itp. W nowo zamawianym wózku tworzonym na podstawie systemu modułowego zwrócono szczególną uwagę na wykonanie platformy bazowej, która będzie poprzez realizację poszczególnych relacji rozszerzana o kolejne zespoły. W tym celu podjęto analizę morfologiczną między relacjami systemu (wymaganiami użytkownika) a rozwiązaniami konstrukcyjnymi. Wynikiem stał się projekt platformy transportowej oraz sposób dodawania do niej zespołów w zależności od potrzeb.

Głównym modułem konstrukcyjnym (adapterem), stała się platforma bazowa, dla której podjęto proces projektowania, szczególnie rozważając różne koncepcje rozmieszczenia kół platformy i różne sposoby załadunku wózka ręcznego. W celu kryterialnej optymalizacji tych zagadnień utworzono układy kryteriów i pola możliwych rozwiązań. Metodą punktową dokonano wyboru optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych.

Szczególnie wartościowym osiągnięciem metodologicznym doktoranta było opracowanie procesu projektowania systemu modułowego wózków inwalidzkich, w której to na podstawie analizy systemowej (w pracy użyto pojęcia analizy funkcjonalnej) dokonano wyboru typowych wariantów rozwiązań konstrukcyjnych (w pracy nazwanych modułami). Doktorat podjął się bardzo złożonego zadania wspomagania tworzenia typowych rozwiązań konstrukcyjnych, (czyli relacji i im odpowiadających postaci geometrycznych) na podstawie analizy systemowej, to znaczy analizie sposobu działania wózków oraz sposobie zaspakajania potrzeb osobom niepełnosprawnym ruchowo. Jest to główne zadanie projektanta systemów modułowych konstrukcji, które waży o konkurencyjności i powodzeniu przedsięwzięcia. Do

tej pory rozważne jako zagadnienie głównie heurystyczne, ale możliwe do wspomagania metodami heurystycznymi jak wskazuje recenzowana praca. Wynikiem zastosowania analizy systemowej jest szerokie spektrum relacji (funkcji) jakie będzie możliwe do realizacji z zastosowaniem utworzonego systemu modułowego wózków, a tym samym szeroki zakres, 10-ciu konstrukcji modułowych (nazywanych wariantami) tworzonej rodziny konstrukcji wózków co autor pracy przedstawił w tabl. 7.2. W ten sposób utworzona została uporządkowana rodzina konstrukcji wózków, bazująca na systemie modułowym, przyjaznym głównie dla użytkownika, ale również ich producenta. Gdzie ograniczoną liczbą modułów konstrukcyjnych możliwe jest tworzenie szerokiego zbioru konstrukcji, a następnie wytworów wózków inwalidzkich. W systemie modułowym wyróżniono moduły niezbędne, do których zlicza się moduły podstawowe i pomocnicze oraz moduły dodatkowe związane z realizacją określonej relacji (funkcji) np. moduł załadunku wózka ręcznego, moduł ławki wspomagającej przesiadanie, moduł bagażnika, moduł fotela do pionizacji. W sumie utworzono w systemie modułowym wózka 21 modułów konstrukcyjnych. To perspektywiczne projektowanie systemów modułowych jest dynamicznie rozwijane w gospodarce światowej i będzie miało główny wpływ na rozwój gospodarki krajowej.

Na podstawie opracowanej metody tworzenia systemu modułowego osprzętowego przedstawiono projekty konstrukcji modułowych (warianty przedstawicieli rodziny konstrukcji). Projekty obejmowały:

- transporter wózka inwalidzkiego ręcznego,
- wózek elektryczny,
- pionizator.

W każdej konstrukcji modułowej miał miejsce moduł ramy nośnej, której doktorant poświęcił szczególnej uwadze i przeprowadził proces tworzenia geometrii tego modułu konstrukcyjnego. Tworzenie geometrii ramy nośnej uzyskano na podstawie analizy wolnych przestrzeni między modułami współpracującymi z ramą nośną. Było to możliwe, gdyż znane były już konstrukcje lub zarysy postaci geometrycznej modułów współdziałających. Wyróżniono szczegółowe stadia stosowania takiej metody nadawania postaci geometrycznej ramy, a szczególnie relacje sprzężeń między współdziałającymi modułami. Ponadto rama ta powinna spełniać warunki wytrzymałościowe, które również wpływają na jej postać geometryczną. Brak jednakże opracowania tejże weryfikacji wytrzymałościowej, mimo szczegółowego opisu sił i momentów jakie na wózek będą oddziaływać Wynikiem była wstępnie opracowana postać geometryczna ramy. Na konstrukcję ramy wpływa również proces technologiczny. Tutaj Doktorant przeprowadził szczegółową analizę wytwórczą

zakładając, że rama wykonana będzie z profili walcowanych o przekroju prostokątnym lub kwadratowym. Proces wytwarzania ramy mógł być oparty na: gięciu kształtownika, cięciu ramy na części i spawaniu, gięciu kształtownika z nacięciami i spawaniu. W sposób kryterialny wybrano technologię ostatnią i opracowano prawidłowy sposób realizacji wycięć za pomocą wypalarki plazmowej CNC.

Utworzony system modułowy poddano szczegółowej ocenie i praktycznej weryfikacji. Dotyczyło to modułu bazowego, a szczególnie osi kół tylnych, gdzie ostatecznie powstało 8 różnych konfiguracji: rozstaw kół wąski i szeroki, regulacja wysokości ręczna i elektryczna, rodzaj zawieszenia sztywny i podatny. Pozwoliło to dostosować moduł do określonych wymogów użytkowych. Następnie oceniano pionizator, gdzie analizowano wymaganą siłę w siłowniku. W celu uzyskania wymaganych sił zastosowano sprężyny naciągowe, które wspomagały siłownik. Analizowano również siedzisko, które zmodyfikowano tak, aby mogły z nich korzystać osoby o wymiarach antropometrycznych: C30, C50 i C70. Dokonano również wielu innych modyfikacji konstrukcyjnych ułatwiających korzystania z pionizatora. Ostatecznie modyfikacji konstrukcyjnej poddano moduł ławki pozwalającej na przesiadanie się osoby niepełnosprawnej. Na podstawie symulacji komputerowej oraz doświadczeń rehabilitantów określono stadia przesiadania się osoby niepełnosprawnej i dodatkowo wprowadzono zaczep hakowy ławki. Ta krytyczna ocena modułów konstrukcyjnych przyczyniła się do poprawy konstrukcji modułów i jest szczególnie celowa w systemach modułowych konstrukcji.

Dla weryfikacji metody wykonano kilka projektów elektrycznych wózków o wspólnej platformie. Przeprowadzono badania wirtualne i rzeczywiste współpracy tych obiektów technicznych z człowiekiem. Podstawową zaletą utworzonego projektu systemu modułowego osprzętowgo jest jego otwartość i możliwość dalszej rozbudowy.

Pracę zakończono wnioskami, kierunkami dalszych badań oraz szerokim wykazem literatury.

2.2. **Wartość merytoryczna pracy doktorskiej**

Wysoko cenię zastosowaną w pracy metodologię projektowania dla osób niepełnosprawnych PON, rozwijaną przez Prof. Bogdana Branowskiego, czy też zastosowanie projektowania współbieżnego, projektowanie zorientowane na wytwarzanie i montaż, projektowanie ergonomiczne. Ale również rozwijaną w pracy metodologię tworzenia systemów modułowych konstrukcji środków technicznych, a szczególnie trudne do sformalizowania przyporządkowanie potrzebom i wymogom przyszłych użytkowników

(cechom użytkowym, cechom charakterystycznym środka technicznego), typowych rozwiązań konstrukcyjnych będących podstawą tworzenia nowej uporządkowanej rodziny konstrukcji środków technicznych. Ma to szczególne znaczenie w gospodarce rynkowej, gdzie konkurencja na rynku wymaga spojrzenia perspektywicznego na określoną klasę produktów.

Przedstawiona do recenzji praca jest istotnym wkładem Doktoranta do metodologii projektowania i konstruowania systemów modułowych środków lokomocji wraz z osprzętowieniem dla osób niepełnosprawnych ruchowo. Tak więc Autor opracowania osiągnął pierwszy ważny cel jakim jest zebranie i sklasyfikowanie zagadnień projektowania wózków inwalidzkich, poprzez opracowanie modeli opisu obiektów oraz określenie dodatkowych relacji (funkcji) jakie powinny one spełniać. Podstawową zaletą opracowania jest zastosowanie perspektywicznego projektowania środków technicznych na bazie systemu modułowego osprzętowego, nazywanego w pracy techniką asystującą.

Opracowana metoda, jest zorientowana na projektowanie i konstruowanie środków technicznych dla osób niepełnosprawnych, co podwyższa rangę realizowanych prac naukowo badawczych realizowanych przez Doktoranta w dobie zwiększającej się liczby osób niepełnosprawnych i seniorów wymagających lokomocyjnego wsparcia. W pełni uzasadnione jest rozwijanie tego typu prac naukowych.

Przeprowadzona analiza biomechaniczna wpływu położenia ciała użytkownika wózka względem osi kół napędowych oraz cech geometrycznych napędu ręcznego pozwoliły zwiększyć efektywność napędu ręcznych wózków inwalidzkich. Te badanie przeprowadzane były z zastosowaniem programów autorskich oraz z użyciem programu AnyBody Modeling System.

Opracowana metoda projektowania uporządkowanej rodziny konstrukcji środków technicznych bazującej na morfologicznej zależności potrzeb i wymagań użytkowników oraz możliwych rozwiązań konstrukcyjnych pozwoliły wyłonić system modułowy osprzętowy, na który składają się moduły konstrukcyjne podstawowe i pomocnicze oraz moduły dodatkowe dobierane w zależności od wymaganej relacji (funkcji) z użytkownikiem. Wybór z pola możliwych koncepcji realizowany był kryterialnie i w sposób jawny co bardzo wysoko oceniam. Zastosowano metodę punktową, gdzie najpierw oceniano kryteria, a następnie warianty rozwiązań konstrukcyjnych względem kryteriów. Wynikiem były wybrane rozwiązania konstrukcyjne rozmieszczenia kół jezdnych transportera i sposób samodzielnego wjazdu lub zjazdu na transporter osoby niepełnosprawnej.

Spektakularnym osiągnięciem pracy jest utworzona uporządkowana rodzina konstrukcji wózków inwalidzkich w postaci systemu modułowego osprzętowego, będąca praktyczną weryfikacja opracowanej metody.

Przeprowadzone prze Doktoranta badania nie są tu tylko ilustracją Jego dotychczasowych obserwacji i przewidywań, ale wskazują, że zaproponowana przez Niego metoda postępowania jest słuszna i wiarygodna. Zaowocowały one również zgłoszeniami patentowymi dotyczącymi:

1. zastosowania wielobiegowej, redukcyjnej przekładni planetarnej, wbudowanej w piastę koła napędowego,
2. dźwigniowego układu napędowego wózka z wbudowaną nawrotnicą planetarną.

Obydwa rozwiązania były wyróżnione na światowych wystawach wynalazków.

2.3. Uwagi szczegółowe

Przedstawiona do oceny praca napisana jest logicznym językiem naukowym. Niemniej zauważa się pojęcia sprzeczne z ujęciem metodologicznym stosowanym już powszechnie w kraju. Całość pracy skłania recenzenta do następujących uwag i spostrzeżeń krytycznych.

1. Tworzony system modułowy dotyczy najpierw sfery abstrakcji, której wynikiem są moduły konstrukcyjne wózka inwalidzkiego, a później konkretu, czyli osprzętu wózka inwalidzkiego, które w pracy nazwano również modułami tworząc technikę asystującą. W pracy zaciera się świat miedzy abstraktem a konkretem. W świecie abstraktów poprzez odpowiedni dobór cech konstrukcyjnych tworzymy moduły konstrukcyjne, a jeżeli jesteśmy w świecie konkretów to używamy pojęć wózek inwalidzki, osprzęt, adapter, ewentualnie moduł urządzenia.
2. W pracy wyróżniono dwie koncepcje systemów modułowych konstrukcji:
    1. opracowanie zbioru konstrukcji na podstawie jednej konstrukcji układu nośno – napędowego uzupełnianego modułami konstrukcyjnymi w sposób trwały stosowanie do potrzeb w fazie produkcyjnej w zależności od wymogów zleceniodawcy,
    2. opracowanie zbioru konstrukcji na podstawie modułu konstrukcyjnego nośno – napędowego niezależnego (uniwersalnego) pozwalającego na dowolną rozbudowę przez przyszłego użytkownika w zależności od potrzeb.

    Jeżeli decydujemy się na jednego producenta i zakładając, że na rynku będzie on zawsze egzystował, to zastosowanie wózka z napędem ręcznym i wg życzeń również z napędem elektrycznym, z możliwością realizacji rehabilitacji, pionizacji, czy też

przesiadania może być realizowane przez danego producenta również w dowolnym etapie eksploatacji urządzenia. Jest to obecny trend stosowany przez producentów, „wiążąc klienta z producentem" nawet w końcowym etapie istnienia środka technicznego, to jest jego recyrkulacji. Natomiast wybrana przez doktoranta koncepcja umożliwia korzystanie z modułów (osprzętu) różnych producentów kosztem zastosowania platformy bazowej w postaci „adaptera". **Chciałbym zwrócić uwagę, że stosowanie dodatkowego osprzętu to zwiększenie uniwersalizmu, kosztem zwiększenia masy środków asystujących wózka.** Doktorant może i słusznie wybrał kryterium uniwersjalizmu tworzonego systemu modułowego, ale gdyby było to zlecenie dla jednego producenta to należałoby rozważyć pierwszą koncepcję tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji.

3. W stadium procesu tworzenia systemów modułowych konstrukcji, gdzie przypisuje się relacjom środka technicznego (funkcjom) modułowe postacie konstrukcyjne (typowe rozwiązania konstrukcyjne), nazywa się powszechnie typizacją. Z jakiego powodu Doktorant nie używa tego pojęcia.
4. Autor pracy doktorskiej unika pojęcia system, który jest głównym przedmiotem tworzenia systemu modułowego wózka inwalidzkiego. Wynikiem działań projektowo – konstrukcyjnych jest system i konstrukcja. Właśnie podstawą rozważań w tej części pracy jest system, który wg metodologii Prof. Janusza Dietrycha, jest układem relacji sprzężeń i przekształceń oraz opisuje działanie przyszłego środka technicznego.
5. W pracy w sposób metodyczny utworzono moduły konstrukcyjne bazowe nazywane platformą bazową, która w sposób systemowy w zależności od wymaganych cech charakterystycznych może być kojarzona z modułami dodatkowymi. Według pojęć recenzenta z modułem konstrukcyjnym mamy wówczas do czynienia, gdy oprócz postaci konstrukcyjnej określone są wymiary konstrukcyjne. Czyli tutaj rozumiany moduł to typowe rozwiązanie konstrukcyjne, które po doborze wartości wymiarów staje się dopiero modułem konstrukcyjnym. Brak jest opisu zasad doboru wartości wymiarów modułów konstrukcyjnych np. w zależności od wymiarów antropometrycznych mężczyzn i kobiet.
6. Aby tworzyć konstrukcje modułowe w pracy nazywane wariantami, oprócz modułów konstrukcyjnych muszą być podane reguły doboru modułów konstrukcyjnych. Doktorant przedstawił je w formie tabelarycznej (tabl. 7.2), ograniczając się do typowych rozwiązań konstrukcyjnych. Ale, gdyby uwzględnić wymiary liczba

modułów konstrukcyjnych diametralnie by się zwiększyła. W jaki sposób zapisywane by były wtedy reguły doboru modułów konstrukcyjnych.

7. Pojęcie „rodzina" użyta w pracy to czasem nie homonim.
8. Aby uzyskać obiektywny wybór rozwiązania konstrukcyjnego powinni w optymalizacji punktowej brać udział eksperci z różnych dziedzin. Tego w pracy nie uwzględniono, przez co wybór może być subiektywny. Również w pracy niejasny jest sposób przeprowadzania ocen cząstkowych kryteriów. Np. przy ocenie kryteriów rozmieszczenia kół platformy transportowej k1 – k2, o_{12}=3, natomiast k1 – k3, o_{13}=0.75. Czy nie byłoby słuszniejsze przyjmowanie bardziej miarodajnych ocen kryteriów, zdefiniowane tak jak przy ocenach cząstkowych rozwiązań konstrukcyjnych względem kryteriów?

Recenzent spodziewa się, że wyszczególnione uwagi, poza swym polemicznym charakterem, dostarczą Doktorantowi asumptu do ogólniejszych przemyśleń, inspirując Go do dalszych badań, rozwijających zapoczątkowany w ten sposób obszar nowych i oryginalnych metod projektowania wózków inwalidzkich i ich rodzin konstrukcji. Szczegółowe uwagi przekazałem Kandydatowi w trakcie bezpośrednich dyskusji.

3. Konkluzja końcowa

Reasumując stwierdzam, że praca doktorska pt. **„Stadia nad rozwojem środków lokomocji techniki asystującej na przykładzie innowacyjnych wózków inwalidzkich i ich rodzin"** stanowi znaczący wkład Autora w rozwój dyscypliny Budowa i Eksploatacja Maszyn i w myśl obowiązującej Ustawy stanowi podstawę do przeprowadzenia przewodu doktorskiego. Pracę dopuszczam do publicznej obrony, a po jej pozytywnym przebiegu będę wnioskował o nadanie Panu mgr inż. Bartoszowi Wieczorkowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

