

Dr inż. Jarosław PANASIUK

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.278

Dr inż. Wojciech KACZMAREK

Inż. Michał SIWEK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa

ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 49

PROJEKT I BUDOWA ROBOTA MOBILNEGO NA KOŁACH W UKŁADZIE OMNIDIRECTIONAL

Streszczenie: Głównym celem artykułu jest przedstawienie procesu projektowania i budowy modelu robota mobilnego wyposażonego w koła typu omnidirectional. Wzorując się na rozwiązaniach opisywanych w literaturze, zbudowano model, korzystając z ogólnodostępnych elementów, a następnie opracowano i skonfigurowano jego układ sterowania. Opracowany model został przebadany pod względem jego parametrów funkcjonalnych w celu określenia możliwości jego dalszej rozbudowy.

DESIGN AND BUILD OF MOBILE ROBOT WITH OMNI-DIRECTIONAL WHEELS

Abstract: The main aim of this article is to present the design and build of the model of the mobile robot equipped with omnidirectional wheels. Following the examples of solutions described in the literature, model of robot was built and then control system was developed and configured. The model of the robot and control system have been tested in order to determine the possibility of its further improvement.

Słowa kluczowe: robot mobilny, koła omnidirectional, system sterowania, komputer Raspberry

Keywords: mobile robot, omnidirectional wheels, control system, Raspberry computer

1. WPROWADZENIE

Projektując robota mobilnego, już na samym początku musimy przyjąć pewne założenia co do jego konstrukcji i rozwiązań technicznych, które zostaną następnie zaimplementowane w docelowym modelu. Szczególnie istotne jest to, jeśli chodzi o projekt układu jezdnygo i sposobu zmiany kierunku ruchu robota. W zależności od tego, czy decydujemy się na układ kołowy czy gąsienicowy oraz czy będziemy wyposażali naszego robota w parę kół skrętnych (w przypadku robota kołowego), czy też będziemy wykorzystywali system różnicowy do sterowania zmianą kierunku ruchu, w projekcie musimy przewidzieć elementy, które muszą znaleźć się w odpowiednich miejscach konstrukcji robota. W przypadku robotów kołowych ciekawym rozwiązaniem jest wykorzystanie specjalnych kół omnidirectional, pozwalających na uzyskanie wysokiej manewrowości budowanej platformy, przy ograniczeniu oporów występujących w układzie (w stosunku do robotów gąsienicowych) oraz uproszczeniu konstrukcji (w przypadku układu zwrotnicy w konstrukcji ze skrętną parą kół). Rozwiązanie takie nie jest jednak pozbawione wad. Roboty wykorzystujące koła omnidirectional znacznie

gorzej radzą sobie w terenie oraz charakteryzują się mniejszą przyczepnością na powierzchniach płaskich. Są jednak ciekawą alternatywą, szczególnie w projektach robotów laboratoryjnych i typu indore. Wiele firm prowadzi badania nad rozwojem tego typu konstrukcji, co wynika z dużych możliwości tego typu konstrukcji w stosunku do rozwiązań tradycyjnych. Przykładem może być firma KUKA, prezentująca dwa tego typu rozwiązania.



Rys. 1. KUKA omniMove. Źródło: <http://www.kuka-omnimove.com/en/moiros/>



Rys. 2. KUKA youBot. Źródło: <http://sparc-robotics.eu/enabling-researchers-to-innovate-in-small-scale-for-the-factory-of-the-future/>

Innym przykładem są roboty firmy ROBOTNIK, umożliwiające zastosowanie kół omnidirectional w serii robotów Summit, które mogą być wyposażone w klasyczne koła gumowe lub specjalne koła omnidirectional. Jest to możliwe dzięki zabudowie w piaście kół napędów, które w zależności od założonych kół mogą być w różny sposób programowo sterowane, uzyskując różne sposoby poruszania się robota.

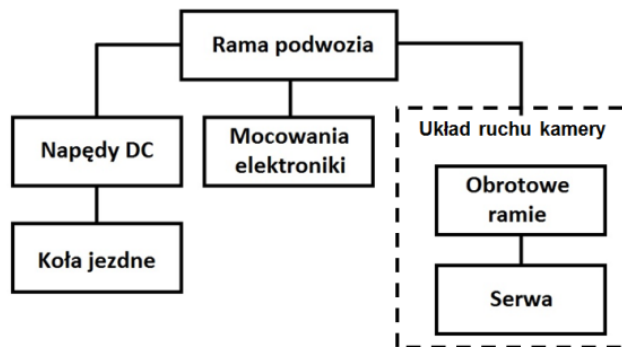


Rys. 3. Summit XL HL firmy ROBOTNIK. Źródło: <http://www.robotnik.eu/mobile-robots/summit-xl-hl/>

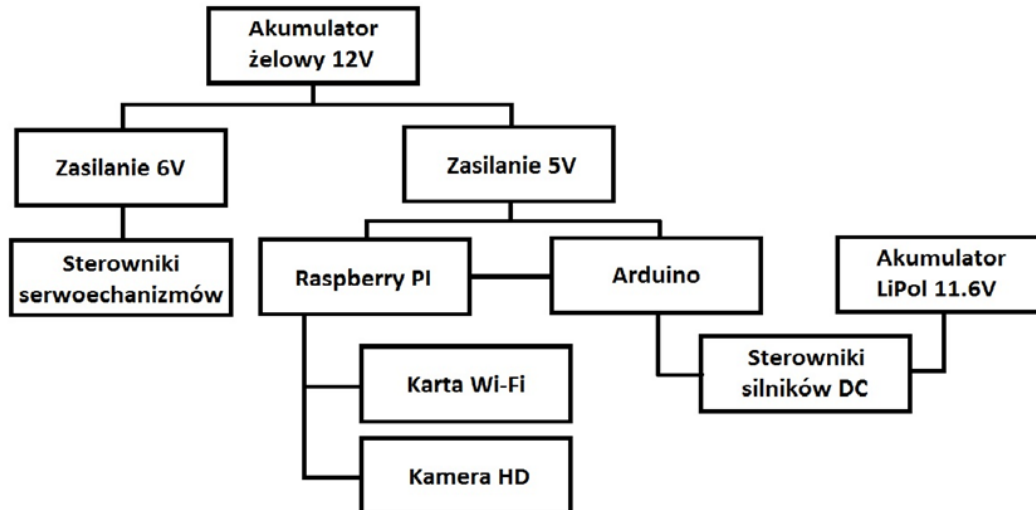
Bazując na wzorcach przedstawionych w literaturze oraz w internecie, opracowano model robota wyposażonego w koła typu omnidirectional, a następnie zbudowano i przebadano wspomniany model w celu określenia jego parametrów funkcjonalnych.

2. PROJEKT ROBOTA

Sformułowanie wymagań dla konstrukcji robota jest pierwszym etapem procesu projektowania. Pozwala na podejmowanie słusznych decyzji w późniejszych fazach projektu i przyspiesza zadania inżynierskie. Strukturę projektowanego robota przedstawiają dwa schematy blokowe. Rysunek 4 przedstawia część mechaniczną, zaś rysunek 5 część elektryczną i sterowanie. Pierwszym krokiem ku realizacji projektu było wybranie elementów które będą wkomponowane w ramę podwozia oraz najbliższej współpracujących z ramą. Elementami tymi są koła jezdne oraz ich napędy.

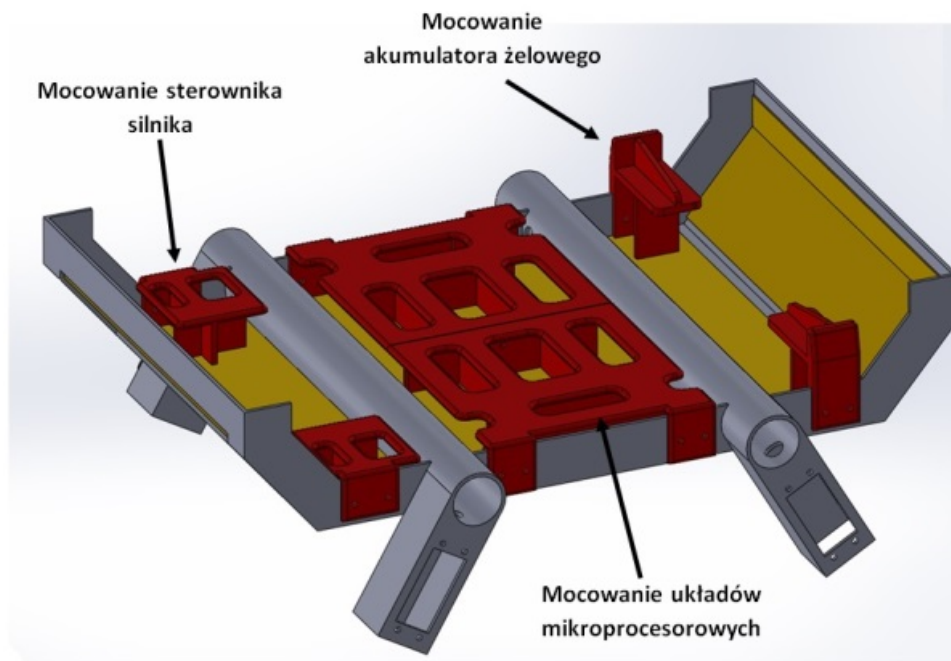


Rys. 4. Schemat blokowy mechaniki. Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Schemat blokowy elektroniki i sterowania. Źródło: opracowanie własne

W celu zapewnienia pełnej funkcjonalności układu omnidirectional wymagane było, aby każde koło było napędzane niezależnym silnikiem. Ze względu na fakt, że silniki DC z przekładnią są drogim i często trudno dostępnym towarem, na potrzeby projektu zdecydowano się użyć serwoecharnizmów, których budowa pozwoliła na estetyczny oraz prosty montaż w ramie podwozia. Na potrzeby projektu serwoecharnizmy przerobiono na silniki DC z przekładnią.



Rys. 6. Model ramy podwozia. Źródło: opracowanie własne

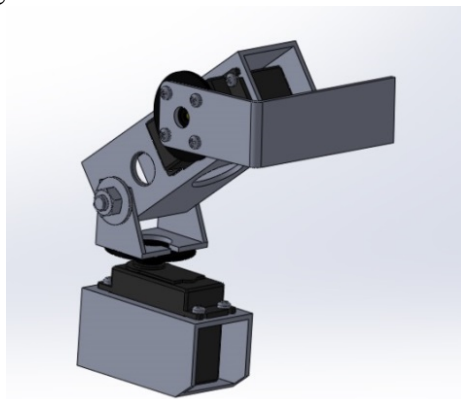
Konstrukcję ramy zaprojektowano jako możliwie lekką, aby możliwe było użycie silników o niezbyt dużym momencie obrotowym i powiązanego z tym zasilania, czyli akumulatorów o niezbyt dużej masie. Korzystając z programu SolidWorks 2012, wykonano model 3D ramy podwozia przedstawiony na rysunku 6. Analizując model, dobrano optymalne gabaryty robota oraz grubości i przekroje elementów konstrukcyjnych. Jako materiał, z którego wykonano ramę podwozia, wybrano stop aluminium PA38, charakteryzujący się średnią wytrzymałością, lecz dużą podatnością na spawanie. Bazując na modelu ramy, zaprojektowano specjalne mocowania podzespołów elektronicznych do ramy, które wydrukowano na drukarce 3D.



Rys. 7. Rama podwozia. Źródło: opracowanie własne

Układ ruchu kamery zaprojektowano w taki sposób, aby zapewnił on ruch kamery wokół dwóch osi: pionowej o 180° oraz poziomej o 180° . Takie rozwiązanie umożliwia ustawienie kamery prostopadle do boków robota oraz obserwację przestrzeni w bliskiej odległości przed robotem oraz nad robotem.

Model układu ruchu kamery był ostatnim elementem wchodzącym w skład części mechanicznej projektowanego robota.



Rys. 8. Model 3D układu ruchu kamery. Źródło: opracowanie własne

Zaprojektowanie układu sterującego napędami sprowadzało się do doboru akumulatorów pokrywających zapotrzebowanie energetyczne robota, wyboru odpowiednich sterowników dla silników DC oraz układu z mikrokontrolerem generującym sygnały sterujące i napisania kodu na wybrany mikrokontroler. W celu wyeliminowania zakłóceń związanych ze skokiem prądowym podczas rozruchu silników postanowiono zastosować dwa rozdzielone układy zasilania. Napędy zasilane są akumulatorem litowo-polimerowym firmy Redox o napięciu

11.1 V i pojemności 2.2 Ah. Układy logiczne, które realizują sterowanie, jednak nie mogą być podłączone bezpośrednio do akumulatora żelowego. W tym celu zaprojektowano i wykonano specjalny układ przygotowania i rozdzielania zasilania robota. Zadaniem układu jest filtracja i rozdzielenie na kilka wyjść napięcia zasilania silników, filtracja wstępna i stabilizacja napięcia 6 V zasilania układu ruchu kamery oraz filtracja wstępna i stabilizacja napięcia 5 V do zasilania sterowników i układów logicznych. Układ sterujący silnikiem DC powinien składać się z mostka tranzystorowego, który umożliwia sterowanie kierunkiem obrotu silnika. Układ, który wykorzystano w projekcie, jest uniwersalnym sterownikiem silników DC oferowanym przez firmę AVT. Sterownik zbudowany jest na podstawie układu scalonego L298, który zawiera dwa mostki H, pracuje w przedziale napięć zasilania do 46 V, a maksymalny ciągły prąd obciążenia wyjścia wynosi 2A na kanał.

Jako układ obsługujący sterowniki napędów zastosowano Arduino Mega 2560 R3 oparty o mikrokontroler ATmega2560. Układ wybrano ze względu na jego popularność i prostotę programowania. Składnia języka, w którym programuje się ten mikrokontroler, jest bardzo podobna do języka C.

Sercem układu sterowania robotem jest układ Raspbery Pi w wersji B. Jest on alternatywą dla dużych i drogich komputerów, gdy nie wymaga się dużej mocy obliczeniowej, a najważniejsze są niewielkie wymiary oraz energooszczędność. Jako system operacyjny wybrano Raspbian z rodziny Linuxów dedykowany dla układy Raspbery. Zastosowanie tego komputera ułatwiło wybór kamery oraz standardu transmisji danych. W projekcie wybrano moduł z kamerą HD oraz bezprzewodową kartę Wi-Fi dedykowane dla układu Raspbery. Pozwoliło to na łatwą i szybką implementację w systemie robota.

3. BUDOWA MODELU

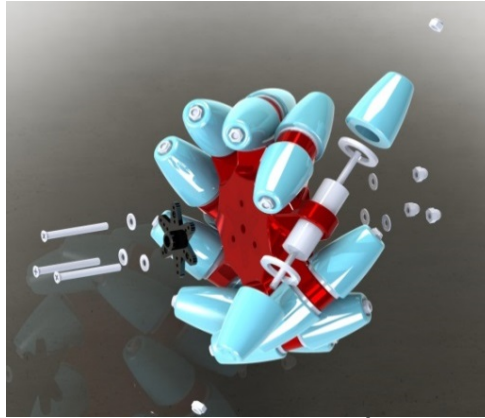
Budowę modelu rozpoczęto od wykonania ramy podwozia. Powstała ona na podstawie rysunków wykonawczych wykonanych w programie SolidWorks 2012. Wszystkie czynności związane z kształtowaniem elementów ramy zostały wykonane własnoręcznie w warunkach domowych.

Wybrane jako elementy napędowe serwomechanizmy należało przerobić na silniki DC. Sprowadzało się to do wykonania kilku czynności związanych z usunięciem blokady mechanicznej ograniczającej zakres obrotu oraz blokady elektronicznej, która kształtowała sygnały sterujące silnikiem odpowiednie do działania jako serwomechanizm.

Ze względu na fakt, że dostępne w sprzedaży koła omnidirectional o wymaganej średnicy są produktem drogim i raczej trudno dostępnym na rynku polskim, postanowiono je zaprojektować a następnie wykonać własnoręcznie metodą odlewania z żywicy w formach silikonowych.

Na podstawie istniejących konstrukcji narysowano model CAD kół w programie SolidWorks 2012 i dostosowano do własnych potrzeb.

Jako materiał na silikonowe formy do odlewania wybrano miękki silikon formierski MM922 firmy acc silicones wraz z długo utwardzalnym katalizatorem. Wybrany produkt jest łatwy w użyciu, czas życia po wymieszaniu z katalizatorem jest długi i pozwala na dokładne przygotowanie formy odlewanej przedmiotu.



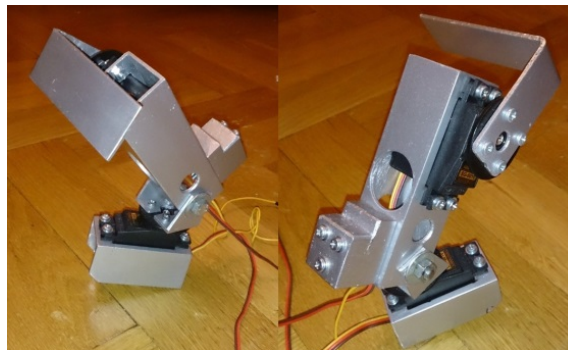
Rys. 9. Elementy składowe koła Meccanum. Źródło: opracowanie własne

Dodatkowo charakteryzuje się dużą odpornością na rozrywanie. Jako materiał na rolki wybrano twardy silikon odlewniczy MM940 firmy acc silicones wraz z katalizatorem długo utwardzalnym. Produkt charakteryzuje się wysoką odpornością na ścieranie i uszkodzenia mechaniczne. Jako materiał na korpusy kół wybrano dwuskładnikową żywicę odlewniczą RenCast FC55. Odlewy wykonane z tego produktu charakteryzują się wysoką wytrzymałością i podatnością na obróbkę mechaniczną.



Rys. 10. Model koła Meccanum. Źródło: opracowanie własne

Układ ruchu kamery zbudowano na podstawie rysunków wykonawczych i złożeniowych przygotowanych w programie SolidWorks 2012.



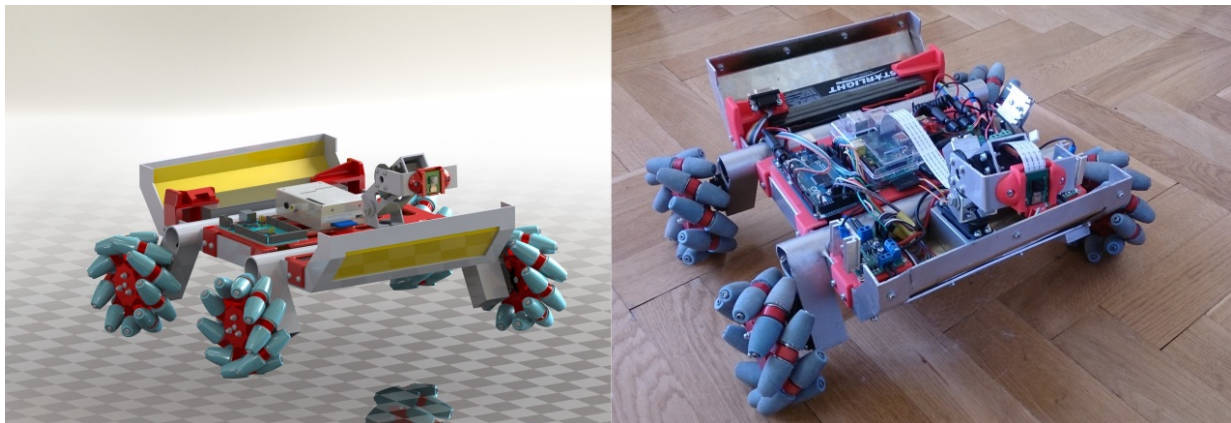
Rys. 11. Wykonany układ ruchu kamery. Źródło: opracowanie własne

Budowa układu zasilania sprowadzała się do wykonania zaprojektowanej płytki drukowanej i przyłutowania do niej podzespołów elektronicznych. Płytkę wykonano w warunkach domowych metodą termotransferu, która polega na przeniesieniu z udziałem wysokiej

temperatury (ok. 180°C) wydruku laserowego ścieżek z papieru kredowego na laminat powleczony miedzią.

Układ sterowania napędami składa się z dwóch uniwersalnych sterowników silników DC odpowiednio połączonych z układem Arduino.

Obraz z kamery przesyłany jest poprzez transmisję WiFi. Zarówno robot, jak i komputer użytkownika muszą być podłączone do tej samej sieci. Układ Raspberry Pi ma przypisany stały adres IP, a w pamięci procesora zaimplementowany jest program realizujący transmisję obrazu. Obsługa sieci realizowana jest za pomocą protokołu SSH. Dostęp do komputera Raspberry uzyskano, wykorzystując urządzenie zewnętrzne, jak np. komputer PC, wcześniej konfigurując komputer Raspberry do kontrolowania go za pomocą innych urządzeń. Komputer użytkownika podłączany jest do serwera, wykorzystując program Putty. Jest to popularne oprogramowanie spełniające rolę klienta w połączeniach sieciowych, które bardzo dobrze współpracuje z systemami operacyjnymi z rodziny Linux. Widok obrazu z kamery umieszczonej na robocie jest podstawowym źródłem informacji na temat otoczenia, w którym aktualnie znajduje się robot. W przypadku wykonanego modelu przesyłanie obrazu odbywa lokalnie przez sieć WiFi. Na komputerze Raspberry uruchomiono serwer wysyłający dane video, których podgląd można uzyskać, wpisując adres serwera w pole adresowe przeglądarki internetowej. Do wykonania tego zadania postanowiono użyć programu MJPG-Streamer, który dobrze współpracuje z systemem Linux, a format wysyłanego video jest obsługiwany przez większość urządzeń klasy PC oraz mobilnych.



Rys. 12. Modele końcowe robota. Źródło: opracowanie własne

Opracowany model robota sterowany jest za pomocą specjalnie zaprojektowanego i zbudowanego modułu kontrolnego. Jego funkcjonalność ogranicza się do sterowania kierunkiem jazdy, prędkością oraz położeniem kamery.

4. BADANIA MODELU ROBOTA

Wykonany prototyp robota poddano testom i badaniom, które dotyczyły parametrów funkcjonalnych, tj. prędkości ruchu, czasu obrotów, czasu pracy na naładowanych akumulatorach, zasięgu pracy oraz jakości przesyłanego obrazu. Wyznaczono maksymalne nachylenie podłoża i maksymalną wysokość przeszkody, którą robot jest zdolny pokonać. Wyniki badań parametrów funkcjonalnych zestawiono w tabeli. Badanie wartości prędkości podczas jazdy bokiem w warunkach terenowych wykazało, że układ omnidirectional na niestabilnym podłożu nie funkcjonuje prawidłowo.

	Parkiet		Asfalt		Teren	
	Vmax [m/s]	Vmin [m/s]	Vmax [m/s]	Vmin [m/s]	Vmax [m/s]	Vmin [m/s]
Ruch do przodu	0,33	0,13	0,33	0,15	0,29	0,21
Ruch w lewo	0,24	0,12	0,21	0,15	–	–
Ruch w prawo	0,25	0,15	0,20	0,16	–	–

Drugie badanie dotyczyło pomiaru czasu obrotu robota o kąt 360° . Badanie wykonano na gładkim podłożu oraz podłożu gruntowym dla dwóch wariantów: obrotu zgodnie z ruchem wskazówek zegara oraz obrotu przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. W przypadku obrotu zgodnie z ruchem wskazówek zegara otrzymano średni czas obrotu równy 4,59 [s] dla obrotu na podłodze i 4,92 [s] dla obrotu na podłożu gruntowym. W przypadku obrotu przeciwnie do ruchu wskazówek zegara średni czas obrotu wynosił 4,67 [s] dla obrotu na podłodze i 5,01 [s] dla obrotu na podłożu gruntowym.

Własności jezdne robota, które poddano badaniu, to maksymalne nachylenie podłoża i wysokość pokonywanych przeszkód. Robota umieszczono na równi pochyłej i zwiększano kąt nachylenia do momentu, kiedy robot zaczął się zsuwać. Próbę powtórzono trzy razy, wynik końcowy jest średnią wyników trzech prób. Wyznaczone maksymalne nachylenie podłoża, przy którym robot pozostanie na zadanej pozycji, wyniosło 23° . Wyznaczony kąt wzniesienia, które robot był w stanie pokonać, wyniósł 19° . Kolejne badanie właściwości jezdnych polegało na wyznaczeniu maksymalnej wysokości pionowej przeszkody, którą robot jest w stanie swobodnie pokonać. Wyznaczona wysokość pionowej przeszkody wyniosła 50 mm. Model robota poddano również testom obciążenia. Obciążenie, jakie nałożono na robota podczas testów, wyniosło 10 kg. Jednak nie jest to wartość krytyczna. Robot poruszał się płynnie, lecz ze względu na obawy o wytrzymałość elementów mocujących koła do wałów silników dalszych testów zaprzestano.

5. WNIOSKI

Opracowany model robota mobilnego powstał przy bardzo dużym zaangażowaniu autora. W porównaniu z konstrukcjami komercyjnymi dostępnymi na rynku charakteryzuje się pewnymi ograniczeniami, jeśli chodzi o konstrukcję systemu sterowania. Konieczne wydaje się również umieszczenie elementów systemu sterowania w zamkniętej obudowie, aby uchronić je przed ewentualnym uszkodzeniem. Co do samego systemu sterowania to ciekawym rozwiązaniem jest wykorzystanie np. Robot Operating System (ROS) w celu ułatwienia konfiguracji dodawanych modułów sensorycznych, np. czujnika Kinect czy też skanera laserowego, co pozwoliłoby na rozbudowę funkcjonalności związanych z autonomicznością robota.

Tak czy inaczej przedstawiona konstrukcja stanowi doskonałą bazę do dalszych prac i badań, które mogą zaowocować powstaniem wersji 2.0 robota.

LITERATURA

- [1] Strona internetowa: <http://www.robotyka.com>
- [2] Strona internetowa: <http://www.forbot.pl>
- [3] Strona internetowa: <http://www.kuka-omnimove.com>
- [4] Strona internetowa: <http://sparc-robotics.eu>
- [5] Strona internetowa: <http://www.robotnik.eu>
- [6] Dokumentacje techniczne wykorzystanych podzespołów elektronicznych.
- [7] Podgórski P., Bartyś M., Chojecki R.: *Robotyka mobilna*, PhD thesis, Politechnika Warszawska, 2001.
- [8] Ciesielski P., Sawoniewicz J., Szmigielski A.: *Elementy robotyki mobilnej*, PJWSTK, Warszawa, 2004.