

Dr inż. Maciej T. Trojnacki, e-mail: [mtrojnacki@piap.pl](mailto:mtrojnacki@piap.pl)  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów (PIAP) - Warszawa  
Inż. Łukasz Wilk, e-mail: [luwilk@gmail.com](mailto:luwilk@gmail.com)  
Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa

## **SYMULACJA RUCHU MOBILNEGO ROBOTA HYBRYDOWEGO Z ZASTOSOWANIEM PROGRAMU MD ADAMS**

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono metodykę modelowania i symulacji ruchu mobilnego robota hybrydowego z zastosowaniem pakietu MD ADAMS. Konstrukcja robota została zamodelowana z uwzględnieniem geometrii oraz parametrów masowych na podstawie jego modelu CAD. Opisano środowisko badań symulacyjnych oraz przeprowadzono symulację wspinania się robota po schodach. Symulacja ta została przeprowadzona na podstawie zadanych parametrów ruchu w jego parach kinematycznych. Wygenerowano również przebiegi czasowe parametrów związanych z ruchem robota oraz animację tego ruchu.

## **SIMULATION OF A MOBILE HYBRID ROBOT MOTION USING MD ADAMS**

**Abstract:** This paper describes methodology of modeling and motion simulation of a mobile hybrid robot using MD Adams software. The construction of the robot was modeled taking into account the geometry and mass parameters, based on its CAD model. The environment for simulation tests was described and simulation of the robot climbing the stairs was conducted. This simulation was executed for desired motion in joints. As a result, parameters associated with the robot's motion were plotted and its motion animation was rendered.

### **1. WPROWADZENIE**

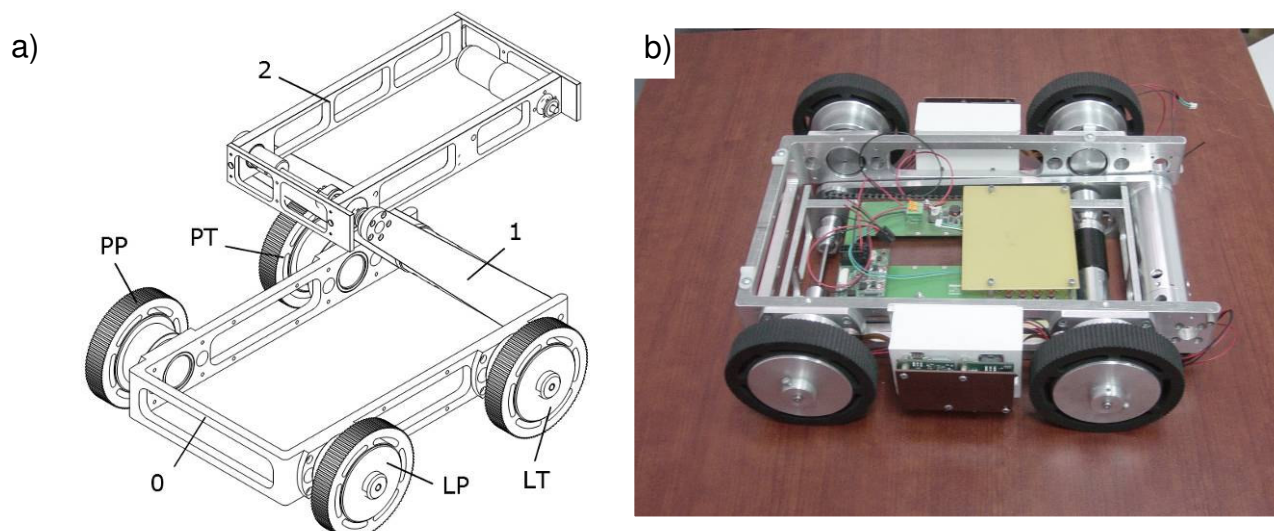
Oprogramowanie MD Adams jest jednym z kilku programów CAE wykorzystywanych w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów do symulacji ruchu robotów mobilnych [1]. Zapewnia ono możliwość analizy ruchu złożonych modeli mechanicznych, co pozwala na lepsze zrozumienie interakcji pomiędzy poszczególnymi częściami modelu. Modele w ruchu często generują obciążenia trudne do wyznaczenia sposobami analitycznymi. Znajomość sił działających na konstrukcję robota jest kluczowa w trakcie procesu projektowania. Pozwala dobrać napędy o odpowiedniej mocy w stosunku do postawionych wymagań a także zaprojektować konstrukcję w ten sposób, aby była zarówno lekka, jak i wytrzymała. Przeprowadzenie symulacji w programie MD Adams pomaga rozwiązać powyższe problemy. Przykładem takiej symulacji jest wspinanie się robota po schodach – jednej z podstawowych przeszkód w terenie zurbanizowanym. Dzięki przeprowadzonej symulacji, można było uzyskać informacje o tym jakie napędy należy zastosować w projekcie konstrukcji robota oraz jakie obciążenia działały na tę konstrukcję.

### **2. MOBILNY ROBOT HYBRYDOWY**

Analizowany robot mobilny jest obiektem o niewielkich wymiarach, przeznaczonym do rozpoznania w terenie zurbanizowanym. Stanowi on rozwinięcie koncepcji prezentowanej w [2]. Robot ten jest konstrukcją hybrydową, gdyż może zarówno poruszać się na kołach, jak i pokonywać typowe dla takiego środowiska przeszkody (takie jak krawężniki, schody itd.) dzięki możliwości przenoszenia podwozia nad korpusem. Proponowana konstrukcja zapewnia zwiększoną mobilność robota w stosunku do tradycyjnych rozwiązań, pozwalając na pokonywanie przeszkód o rozmiarach znacznie większych niż sugerowałyby wymiary robota w konfiguracji złożonej.

Robot składa się z (rys. 1a): podwozia (0) z czterema niezależnie napędzanymi kołami (LP, PP, LT, PT), wspornika (1) i korpusu (2). Całkowita masa robota to niecałe 6,5 kg. Charakterystyczne jego wymiary to: szerokość 325 mm, długość w pozycji złożonej 360 mm, długość w pozycji rozłożonej 900 mm, wysokość w pozycji złożonej 110 mm. Wspornik (1) może w nieograniczony sposób obracać się względem podwozia (0), a korpus (2) względem wspornika 1.

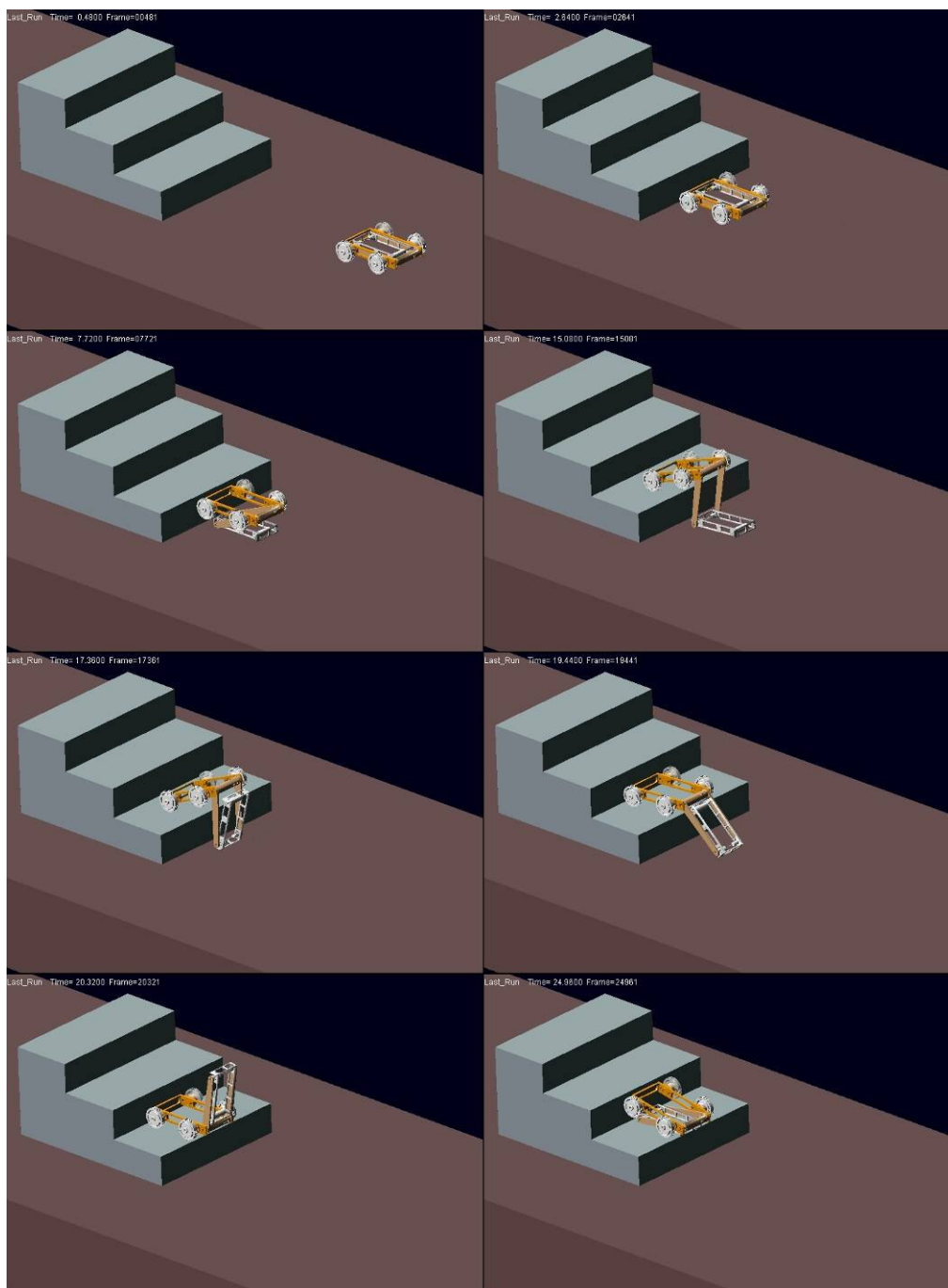
Aktualna konstrukcja robota pokazana jest na rys. 1b.



Rys. 1. Model robota z oznaczeniem jego członów (a), aktualna konstrukcja robota (b)

### 3. KONCEPCJA WSPINANIA SIĘ ROBOTA PO SCHODACH

Algorytm wspinania się robota po schodach zilustrowany został na rys. 2. Ruch robota składa się z kilku faz. W momencie jego dojechania do schodów następuje zainicjowanie procedury wspinania. Korpus zostaje powoli opuszczony równoległe do podłoża. Kiedy korpus spoczywa płasko na ziemi, podwozie zostaje uniesione w górę za pomocą wspornika. Podwozie unieszone jest na taką wysokość, aby koła znalazły się nad stopniem. Następnie podwozie zostaje przemieszczone nad stopniem aż do zetknięcia się z nim. Wówczas proces wspinania się robota może być wspomógłony przy pomocy przednich kół jezdnych, które w momencie zetknięcia się ze schodami mogą ciągnąć robota do przodu. W momencie gdy podwozie znajdzie się w całości na stopniu następuje złożenie konstrukcji do pozycji wyjściowej.

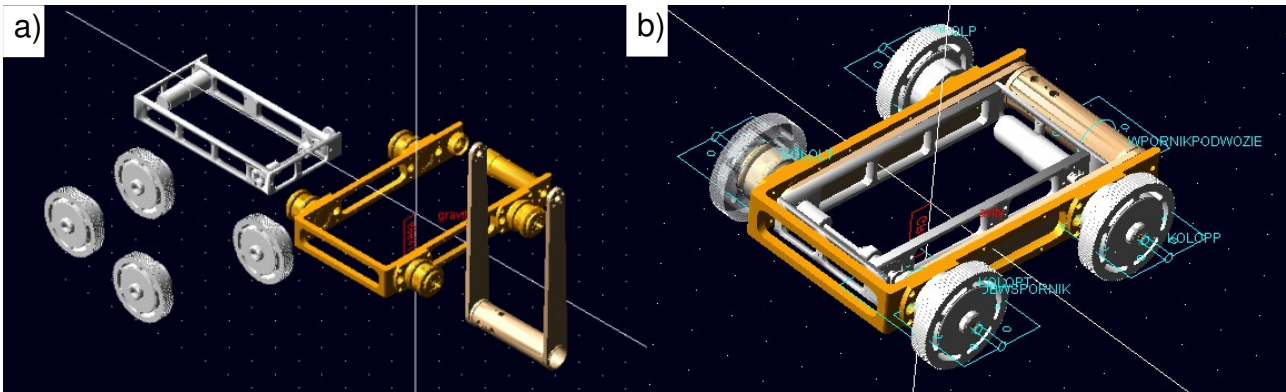


Rys. 2. Sekwencja wspinania się robota po schodach

#### 4. MODELOWANIE ROBOTA W PROGRAMIE MD ADAMS

Komputerowy model konstrukcji robota został zaprojektowany w programie ProEngineer. Jako podstawa do wyznaczenia mas poszczególnych części posłużyły elementy prototypu robota, które zostały zważone. Tensory momentu bezwładności poszczególnych części robota zostały określone na podstawie geometrii CAD w programie ProEngineer oraz znanych ich mas.

Modele poszczególnych części robota zostały wyeksportowane z programu ProEngineer, w postaci plików w formacie parasolid, a następnie zaimportowane do środowiska MD Adams (rys. 3a). W pierwszym kroku tworzenia modelu konstrukcji robota, zdefiniowano jego parametry masowe. W kolejnym etapie przystąpiono do definiowania relacji pomiędzy poszczególnymi częściami konstrukcji. Stworzono odpowiednie pary kinematyczne, zaś pomiędzy poszczególnymi częściami robota a podłożem, oraz częściami, które mogą w trakcie ruchu kolidować ze sobą, utworzono funkcje kontaktów. Podczas tworzenia modelu konstrukcji robota, na bieżąco sprawdzana była poprawność modelu. Seria krótkich testów, pozwoliła pozytywnie zweryfikować poprawność opracowanego modelu (rys. 3b).



Rys. 3. Zaimportowany model CAD robota do programu MD Adams (a), gotowy model robota (b)

## 5. BADANIA SYMULACYJNE I ANIMACJA RUCHU ROBOTA

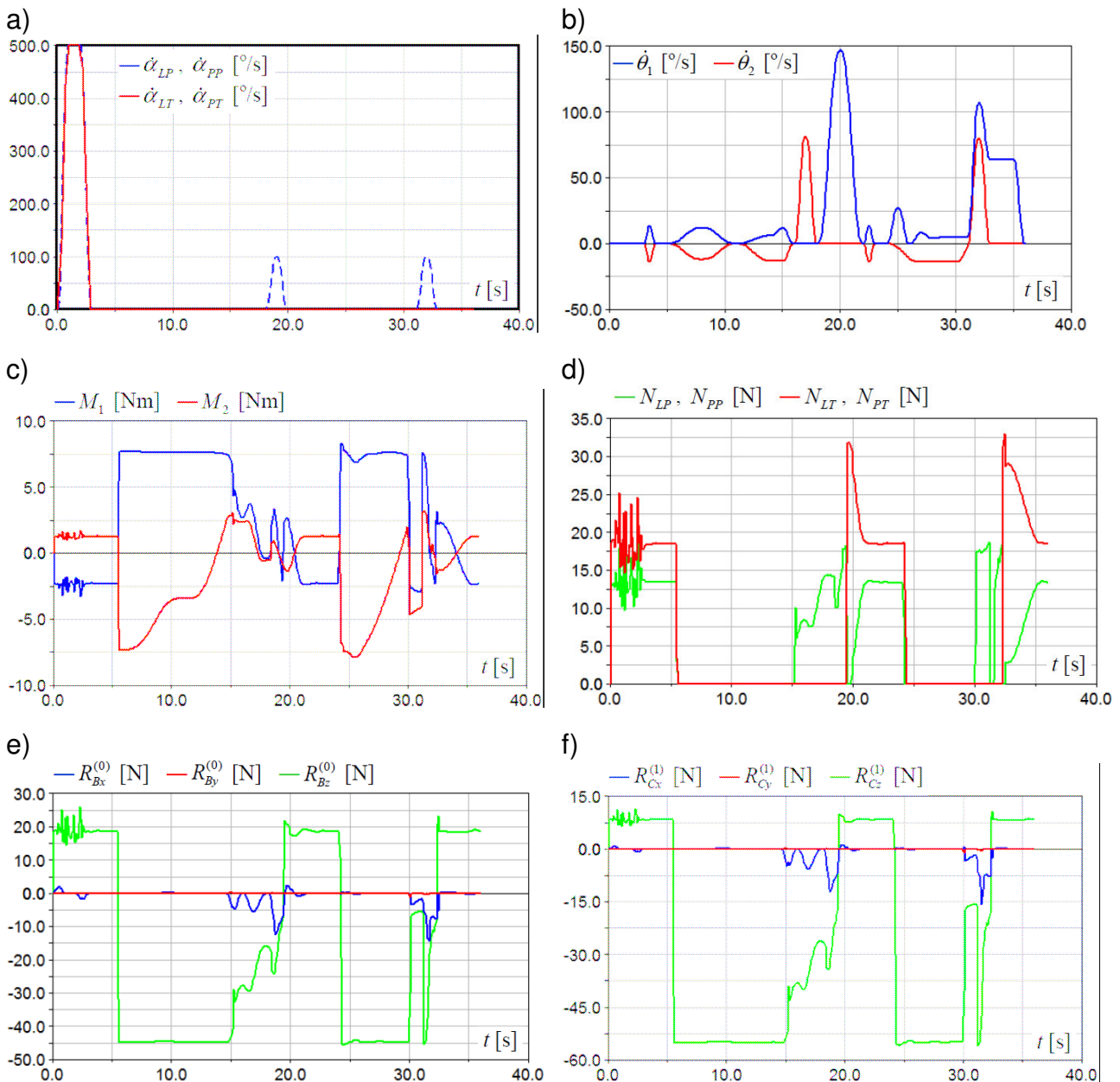
Badania symulacyjne ruchu robota zostały przeprowadzone w programie MD Adams. Symulacja ruchu oparta jest na metodzie układów wieloczłonowych. Podczas symulacji MD Adams może równocześnie rozwiązywać równania kinematyki, statyki oraz dynamiki. Dzięki użyciu metody układów wieloczłonowych możliwe jest projektowanie systemów mechanicznych a następnie ich testowanie w krótszym czasie w stosunku do tego jaki jest potrzebny na stworzenie rzeczywistego prototypu. Przykłady jego możliwości są zaprezentowane m.in. w publikacjach [1] i [4].

W badaniach symulacyjnych prezentowanych w niniejszej pracy ruch robota zadawany był w postaci prędkości kątowych w napędzanych parach kinematycznych. W efekcie tego uzyskano pożądany ruch całej konstrukcji robota oraz zrealizowano sekwencję ruchu mającą na celu wspinanie się robota po schodach. Wartym podkreślenia jest fakt, że możliwa jest modyfikacja modelu robota w programie MD Adams umożliwiająca zadawanie momentów napędowych w parach kinematycznych z poziomu oprogramowania Matlab/Simulink oraz tworzenie i testowanie zaawansowanych systemów sterowania z uwzględnieniem autonomii robota.

Podczas badań symulacyjnych testowano procedurę wspinania się robota po schodach. Jednym z celów tych badań było wyznaczenie przebiegów czasowych momentów napędowych oraz sił i momentów sił reakcji działających na konstrukcję robota. Dane te miały posłużyć do dobrania napędów o odpowiedniej mocy oraz jako warunki brzegowe do dalszej analizy wytrzymałościowej, przeprowadzonej metodą elementów skończonych.



W wyniku symulacji uzyskano przebiegi czasowe pokazane na rys. 4. Prędkości kątowne obrotu własnego kół (rys. 4a) zmieniają się od 0 [°/s] do 500 [°/s] w czasie dojazdu do przeszkody oraz od 0 [°/s] do 100 [°/s] w czasie wspinania się po schodach. Prędkość kątowna w przegubie podwozie-wspornik ( $\dot{\theta}_1$ ) (rys 4b.) zmienia od 0 [°/s] do 145 [°/s], zaś w przegubie wspornik-korpus ( $\dot{\theta}_2$ ) w zakresie od -14 [°/s] do 82 [°/s]. Momenty napędowe w przegubie podwozie-wspornik ( $M_1$ ) (rys. 4c) zawierają się w zakresie od -3,2 [Nm] do 8,3 [Nm], zaś w przegubie wspornik-korpus ( $M_2$ ) od -7,9 [Nm] do 3,1 [Nm]. Składowe normalne sił reakcji podłoża dla kół przednich (rys. 4d) wynoszą maksymalnie 19,8 [N], zaś dla kół tylnych 33 [N].



Rys. 4. Wybrane wyniki badań symulacyjnych: prędkości kątowne obrotu własnego kół (a), prędkości kątowne w przegubach robota (b), momenty napędowe w przegubach robota (c), składowe normalne sił reakcji dla przednich i tylnych kół robota (d), składowe sił reakcji w parze kinematycznej podwozie – wspornik (e), składowe sił reakcji w parze kinematycznej wspornik – korpus (f)

Składowa x reakcji w parze kinematycznej podwozie-wspornik (rys. 4e) wynosi od -14,25 [N] do 2,3 [N]. Dla składowej y wartości te są pomijalnie małe, zaś dla składowej z wynoszą od -45,5 [N] do 25,6 [N]. Składowa x reakcji w parze kinematycznej wspornik-korpus (rys. 4f) wynosi od -15,6 [N] do 1,3 [N]. Składowa y tak samo jak w przypadku pary kinematycznej podwozie-wspornik jest pomijalnie mała. Składowa z przyjmuje wartości od -55,8 [N] do 10,6 [N].

Należy zwrócić uwagę, że największe wartości momentów napędowych oraz sił reakcji w przegubach robota występują w trakcie podnoszenia podwozia nad stopniem. Jest to zatem krytyczna konfiguracji ze względu na dobór napędów w tych przegubach i wytrzymałość konstrukcji robota.

Animacje wspinania się robota po schodach można znaleźć pod adresem [5].

## 6. PODSUMOWANIE I KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

W ramach pracy wykonano badania symulacyjne wspinania się mobilnego robota hybrydowego po schodach z zastosowaniem programu MD Adams uzyskując założony ruch. W efekcie symulacji utworzono przebiegi czasowe momentów napędowych oraz sił i momentów sił w parach kinematycznych. Otrzymane dane posłużą do ulepszenia istniejącego prototypu robota.

W ramach dalszych prac przeprowadzona została analiza wytrzymałościowa wybranych elementów konstrukcyjnych z zastosowaniem programu Ansys, której wyniki zaprezentowano w pracy [3]. Warunki brzegowe w analizie MES zostały zadane na podstawie otrzymanych wyników z symulacji ruchu prezentowanych w niniejszej pracy.

W dalszych pracach projektowych należy dobrać odpowiednie czujniki, które powinny umożliwić wprowadzenie trybu semi-autonomi podczas wspinania się robota po schodach. Sama zaś konstrukcja po przeprowadzeniu analizy wytrzymałościowej powinna ulec wzmocnieniu przy jednoczesnej redukcji masy. W przyszłości należy również opracować inne procedury ruchu umożliwiające na przykład zejście z wysokich stopni lub schodów czy też powrót do pozycji wyjściowej w przypadku przewrócenia się robota.

## LITERATURA

- [1] Cader M., Trojnecki M., Błaszczkiewicz K.: Modelowanie i symulacja ruchu robota czteronożnego z zastosowaniem oprogramowania Matlab/Simulink i MD Adams, *Mechanik* 2/2010, 131,136 (wersja Autorska jest dostępna pod adresem: [www.procacx.org.pl](http://www.procacx.org.pl)).
- [2] Trojnecki M., Różycki Ł.: Roboty mobilne o specyficznych układach jezdnych i hybrydowe. Synteza ruchu mobilnego robota hybrydowego, *Przegląd mechaniczny* 3/2011, 20-25.
- [3] Wilk Ł.: Symulacja ruchu mobilnego robota hybrydowego, praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Warszawska, Warszawa 2011.
- [4] Wojtyra M., Frączek J.: Metoda układów wieloczłonowych w dynamice mechanizmów, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2007.
- [5] <http://www.youtube.com/user/luwilk>