

inż. Mariusz Zboński  
Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki  
dr inż. Maciej T. Trojnecki  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów w Warszawie

## **MODELOWANIE I SYMULACJA RUCHU MAŁEGO ROBOTA DO ROZPOZNANIA TERENU Z ZASTOSOWANIEM OPROGRAMOWANIA MD ADAMS**

*Referat dotyczy tematyki modelowania i symulacji ruchu małego robota do rozpoznawania terenu. Przedstawiono w nim konstrukcję robota i opisano jego strukturę kinematyczną. Omówiono metodykę modelowania robota z zastosowaniem programu MD Adams, w którym szczegółowo odwzorowano konstrukcję robota. Wykonano badania symulacyjne z zastosowaniem wbudowanej w programie metody układów wieloczłonowych, które umożliwiły szczegółową analizę dynamiczną robota.*

### **MOTION MODELING AND SIMULATION OF SMALL ROBOT FOR RECONNAISSANCE USING MD ADAMS SOFTWARE**

*This work is concerned on motion modeling and simulation of small robot for reconnaissance. The construction of the robot and its kinematical structure were presented. The methodology of robot modeling using MD Adams software was described. The detailed robot construction in MD Adams software was reproduced. Simulation research using build-in multibody dynamics method was executed. This allowed performing detailed analysis of robot dynamics.*

#### **1. WPROWADZENIE**

Opracowanie modelu dynamiki robota mobilnego jest trudnym i istotnym problemem badawczym, stanowiącym zazwyczaj podstawę do realizacji innych prac związanych z zaprojektowaniem jego konstrukcji i opracowaniem algorytmów ruchu. Opracowany model robota może być wykorzystany do różnych celów, np. do analizy i optymalizacji wymaganych do ruchu momentów napędowych oraz sił i momentów sił przenoszonych przez konstrukcję robota, do syntezy ruchu robota, do sterowania jego ruchem nadążnym, w zagadnieniach związanych z identyfikacją modelu itd. [2]

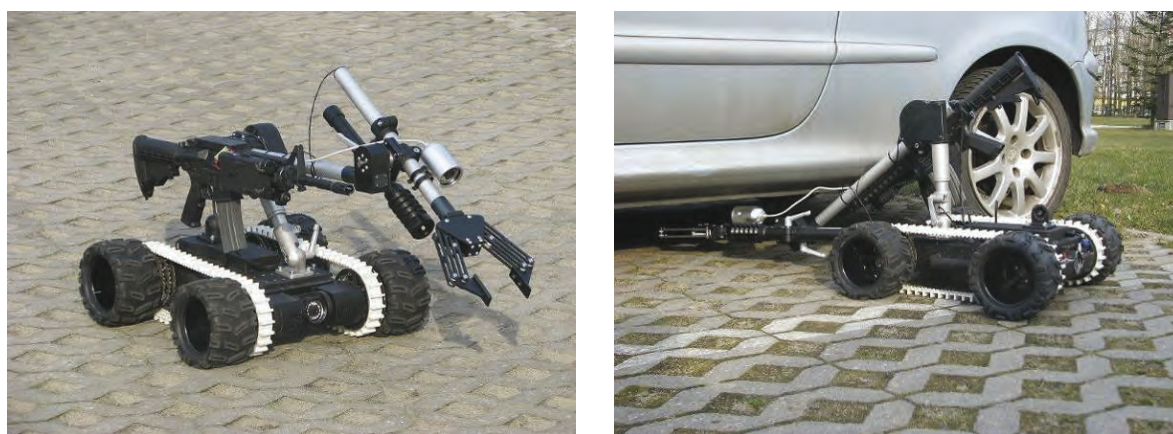
Do modelowania dynamiki robotów mobilnych wykorzystuje się coraz częściej metodę układów wieloczłonowych ze względu na możliwość łatwego jej zastosowania w automatycznym modelowaniu komputerowym kinematyki i dynamiki złożonych układów mechanicznych [4].

Symulacje w programie MD Adams z zastosowaniem metody układów wieloczłonowych umożliwiają szybkie zamodelowanie i symulację rozważania konstrukcyjnego. Program MD Adams umożliwia także współpracę z pakietem MATLAB/Simulink, co pozwala na dodatkową symulację układu sterowania [1].

Z tych względów w niniejszym referacie skupiono się na opracowaniu modelu symulacyjnego małego robota do rozpoznawania terenu w programie MD Adams. Opracowany model bazował na modelu CAD konstrukcji robota opracowanej w programie ProEngineer.

## 2. MAŁY ROBOT DO ROZPOZNAWANIA TERENU

Mały robot do rozpoznawania terenu produkcji PIAP charakteryzuje się niewielkimi gabarytami i dużą prędkością. Ma także możliwość dołączania urządzeń takich jak manipulator z chwytakiem lub dodatkowe kamery, czy też różnego rodzaju czujniki lub uzbrojenie. Główną częścią robota jest baza mobilna, na którą składają się podwozie oraz umieszczone na nim dwie kamery: przednia (obrotowa) oraz tylna. Obie kamery są wyposażone we własne oświetlacze podczerwone. Przyjęte rozwiązanie zapewnia małe wymiary i niewielką masę robota, dzięki czemu może być on transportowany w typowym plecaku wojskowym. Połączenie dużej prędkości ruchu robota z możliwością przemieszczania się w ograniczonej przestrzeni pozwala na szybkie i zdalne rozpoznanie terenu akcji. Można nim sprawdzić podwozie podejrzanego samochodu, ciasne pomieszczenie lub szyb wentylacyjny. Ze stanowiska operatorskiego, za pośrednictwem światłowodu, możliwe jest sterowanie zarówno robotem jak i małym manipulatorem. Na robocie możliwe jest zamontowanie silnych halogenów, kamery termowizyjnej i na podczerwień. Robot przystosowany jest do rwania linek od min pułapek oraz podkładania ładunków pośrednich. Za pomocą manipulatora robot może transportować małe pakunki [3].



Rys. 1. Mały robot do rozpoznawania terenu produkcji PIAP [6]

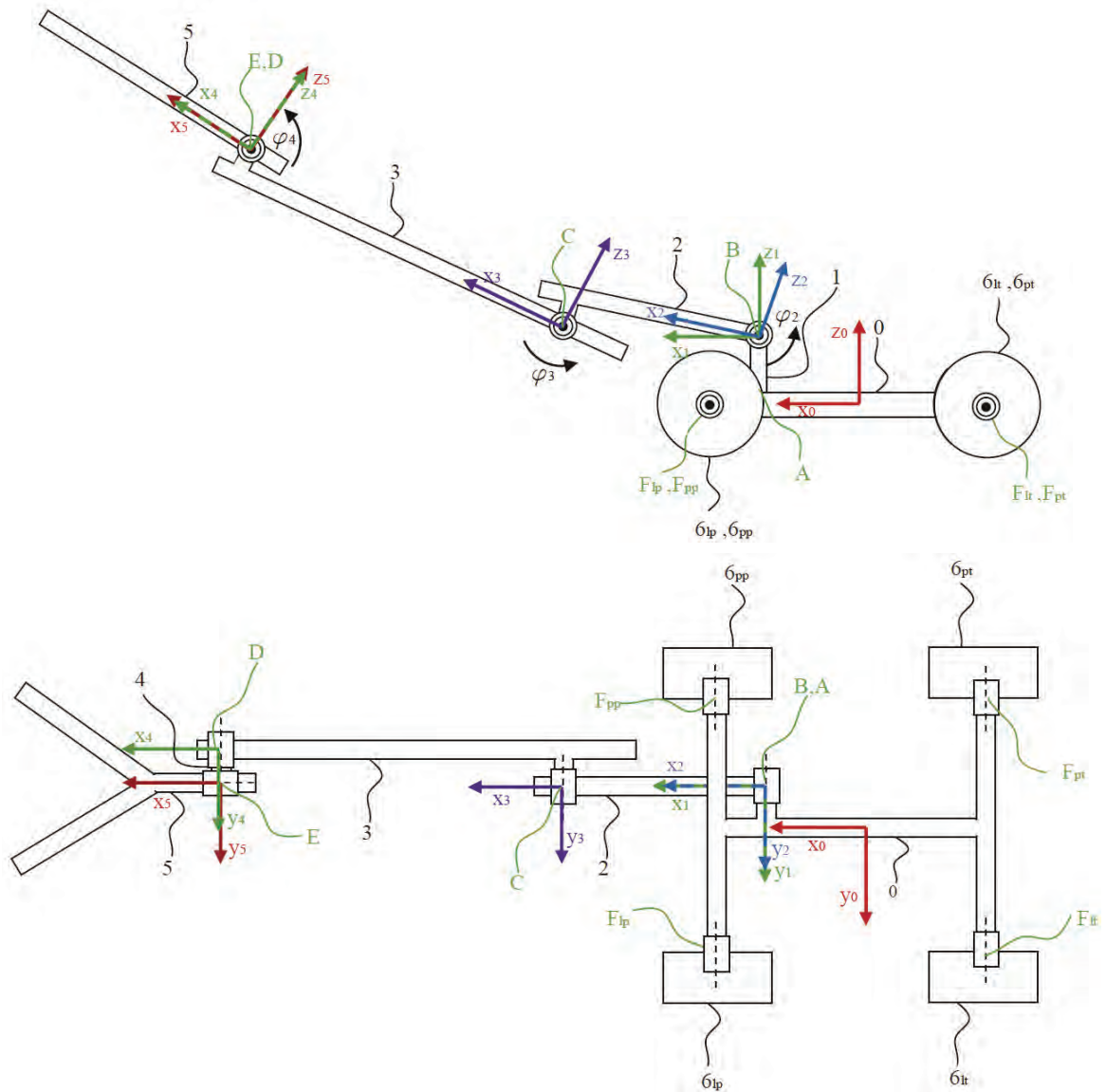
## 3. STRUKTURA KINEMATYCZNA ROBOTA

Struktura kinematyczna robota (rys. 2) składa się z ośmiu par kinematycznych obrotowych (z wyłączeniem chwytaka). Na rysunku wprowadzono oznaczenia układów współrzędnych, członów robota, charakterystycznych punktów i zmiennych przegubowych dla manipulatora.

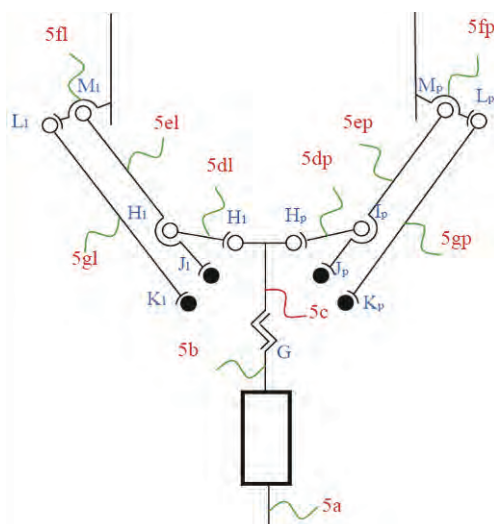
Koła robota – oznaczone jako LP (lewe przednie), PP (prawe przednie), LT (lewe tylne) i PT (prawe tylne) – są sterowane parami, tj. takie samo sterowanie jest dla kół przednich i tylnych danej strony robota. Ponieważ koła robota nie są kierowane, więc w trakcie zakręcania robot z założenia będzie poruszał się w warunkach poślizgu kół.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że ze względu na prostotę konstrukcji manipulator robota nie ma możliwości obrotu wokół osi pionowej, dlatego jego skręcenie w lewo lub prawo jest realizowane przez odpowiedni obrót platformy mobilnej.

Chwytnik manipulatora robota (rys. 3) ma dwanaście par kinematycznych obrotowych oraz jedną parę obrotowo-przesuwną.



Rys. 2. Struktura kinematyczna robota SCOUT (widok z lewej i z góry)



Rys. 3. Struktura kinematyczna chwytaka robota SCOUT

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

Wykonanie pełnego modelu robota do celów symulacyjnych jest złożonym procesem. Budując tego rodzaju model, należy przyjąć szereg uproszczeń i założeń. Podstawowym przyjętym założeniem jest zgrubne odwzorowanie przez model rzeczywistego robota oraz środowiska w jakim on działa. Założono że model robota będzie w sposób dokładny odwzorowywał geometrię i parametry masowe robota. Przyjęto, że wszystkie połączenia ruchowe w modelu robota są idealne, tzn. zostały pominięte zjawiska tarciove w łożyskach oraz typowe problemy połączeń smarowanych. W przypadku kontaktu opony z podłożem powyższe uproszczenia nie mogą być przyjęte gdyż prowadziłyby do znacznych błędów. Z tego powodu kontakt tego rodzaju został opisany w dokładniejszy sposób z zastosowaniem dodatkowego modułu MD Adams/Tire. W rzeczywistym robocie występują paski zębate przenoszące napęd z przedniej osi na tylną. W tym przypadku założono, że dla opracowywanego modelu przeniesienie napędu zostanie wykonane za pomocą algorytmu zamiast symulowania całego układu przeniesienia napędu, który byłby trudny i pracochłonny do zamodelowania bez zastosowania dodatkowego modułu programu MD Adams.

Po przyjęciu założeń i uproszczeń przystąpiono do budowania modelu robota w programie MD Adams. W pierwszej kolejności podczas tworzenia modelu symulacyjnego robota wykonano jego model kinematyczny bazujący na opisanej w rozdz. 3 strukturze kinematycznej. Model ten był wykonywany na podstawie istniejącego już projektu konstrukcji, dlatego można było zaimportować model CAD z programu ProEngineer do środowiska MD Adams/View. W następnej kolejności na model konstrukcyjny nałożono strukturę kinematyczną. Odbyło się to przez nakładanie wiązań na występujące połączenia w konstrukcji. Dodatkowo w przypadku chwytaka dodano kilka stopni swobody, tzn. zastąpiono niektóre pary kinematyczne obrotowe parami kinematycznymi sferycznymi. Działanie takie byłoby uzasadnione błędami wynikającymi z przenoszenia modelu pomiędzy programami. Eksportując model konstrukcyjny do programu MD Adams używa się formatu niebędącego podstawowym formatem programu ProEngineer. Model konstrukcyjny podlegał kompresji, co powodowało błędy wymiarów w mikroskali. Błędy te były na tyle istotne dla programu MD Adams, że nie był on w stanie poradzić sobie z takim modelem przy założeniu idealnych par kinematycznych obrotowych. Ponadto model ten jest układem przesztywnionym.

Aby model rzetelnie odzwierciedlał rzeczywistego robota, należało nadać stworzonej strukturze parametry masowe rzeczywistego robota. Program ProEngineer przy zachowaniu odpowiedniej metodyki konstruowania mechanizmów umożliwia wyznaczenie dokładnego modelu masowego. W związku z tym, za pomocą programu ProEngineer wyznaczono parametry masowe kolejnych członów struktury, a następnie naniesiono parametry masowe do modelu w programie MD Adams/View. W pakiecie MD Adams przeznaczono specjalny moduł do modelowania układów jezdnych zawierających koła pneumatyczne z oponami gumowymi o nazwie MD Adams/Tire. Korzystając z bazy opon dostarczonych z tym modułem dokonano ich modyfikacji, co doprowadziło do stworzenia modelu opony odpowiadającego rzeczywistemu rozwinięciu konstrukcyjnemu. Moduł MD Adams/Tire prócz zdefiniowania modelu opony wymaga również zdefiniowania podłoża. W wykonywanym modelu skorzystano z najprostszego modelu piaszczystego podłoża. Następnie przygotowane modele opony i podłoża z modułu MD Adams/Tire zostały zaimportowane do modułu MD Adams/View. Wykonanie tych czynności doprowadziło do stworzenia podstawowego modelu robota w programie MD Adams/View. Do celów symulacyjnych model ten został uzupełniony o obiekt manipulacji. Obiekt ten odpowiada niewielkiemu pakunkowi, który mógłby podejmować robot wykonując standardowe misje pirotechniczno-rozpoznawcze. Obiekt ten zdefiniowano jako sześcienną bryłę o masie 0,5 kg. Żeby robot w czasie symulacji mógł podjąć pakunek, zdefiniowano również charakter kontaktu między pakunkiem a końcówkami chwytymi chwytaka. Umożliwiło to realizację oddziaływań sprężystych między końcówkami chwytymi chwytaka i pakunkiem w kierunku normalnym oraz oddziaływań tarciowych w kierunku stycznym.



W wyniku opisanych prac otrzymano w programie MD Adams model symulacyjny małego robota do rozpoznania terenu, który pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Model symulacyjny małego robota do rozpoznania terenu w programie MD Adams

## 5. BADANIA SYMULACYJNE I ANIMACJA RUCHU ROBOTA

W ramach niniejszej pracy wykonano badania symulacyjne i animację ruchu robota z zastosowaniem programu MD Adams. W ramach symulacji robot wykonuje proste zadanie manipulacyjne oraz lokomocyjne.

Przez pierwsze dwie sekundy model ustawia położenia początkowe manipulatora oraz stabilizuje się. Szybkie ustawienie manipulatora w fazie początkowej powoduje reakcję całego układu. Po wygaśnięciu drgań robot jest gotowy do rozpoczęcia właściwej symulacji.

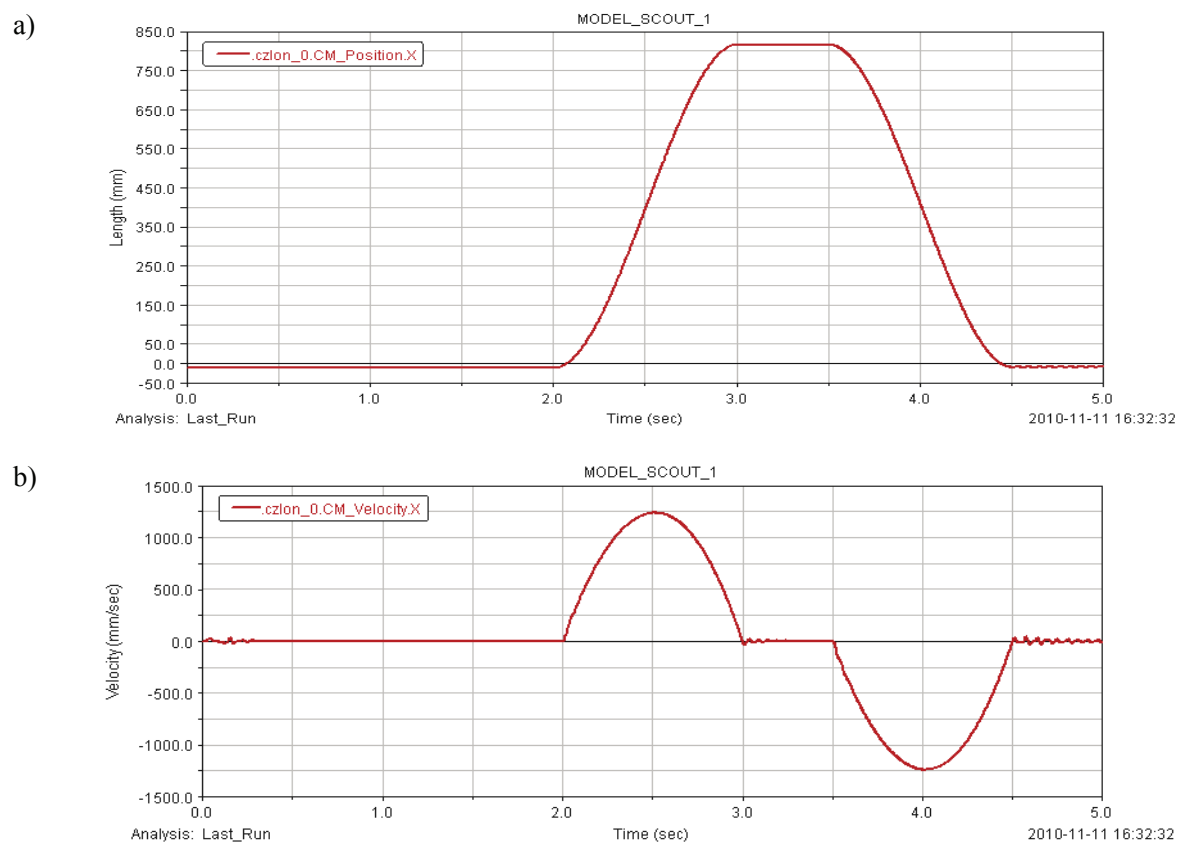
Początkowo robot podejmuje pakunek poruszając się do przodu ze zmniejszającą prędkością. Najpierw rozpędza się do prędkości ok. 1,25 m/s, a następnie hamuje. Później robot za pomocą manipulatora z chwytakiem podejmuje pakunek o masie 0,5 kg. Wreszcie robot przemieszcza się do tyłu z podniesionym pakunkiem wracając do położenia początkowego.

Wybrane wyniki symulacji ruchu robota pokazane są na rys. 6–8. Są nimi przebiegi czasowe związane z ruchem platformy mobilnej, podejmowanego pakunku i manipulatora.

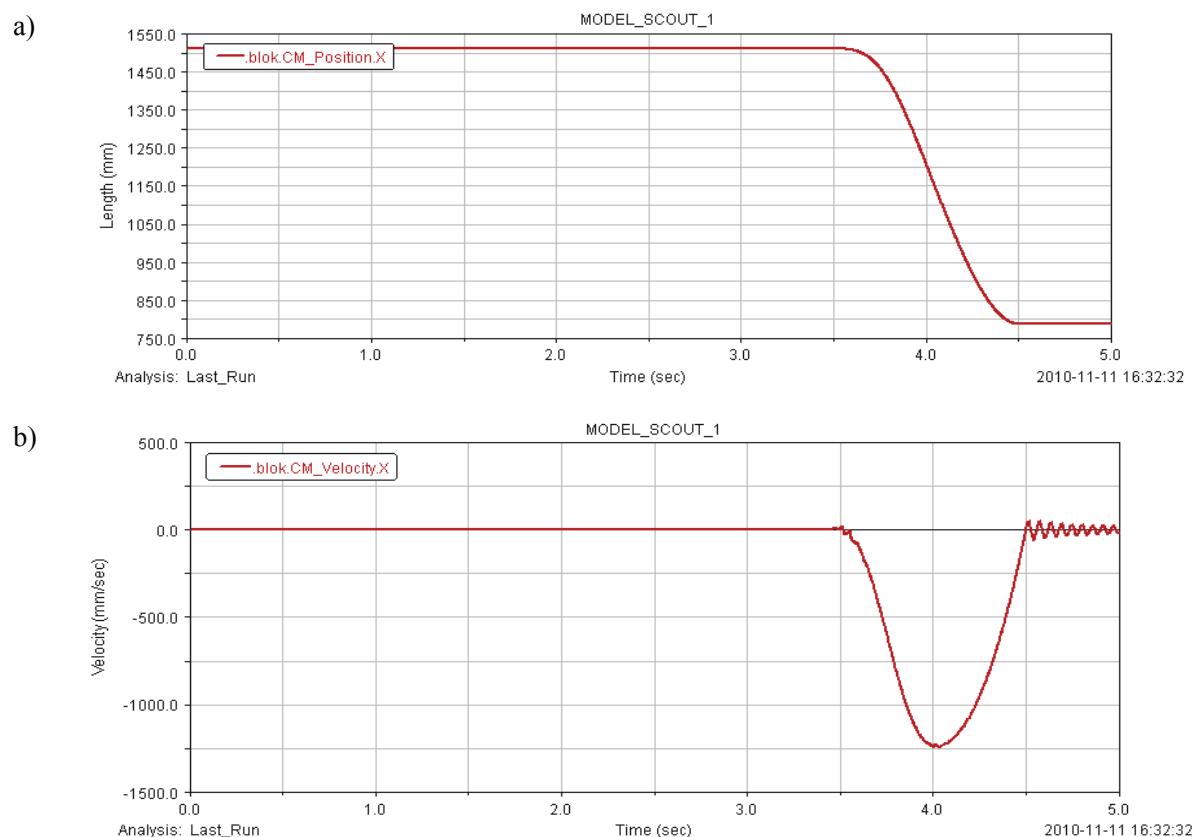
W wyniku symulacji w programie MD Adams uzyskano także film prezentujący animację ruchu modelu małego robota do rozpoznania terenu (rys. 5). Film ten (zatytułowany „Symulacja ruchu małego robota do rozpoznania terenu z zastosowaniem programu MD Adams”) można znaleźć pod adresem [5].



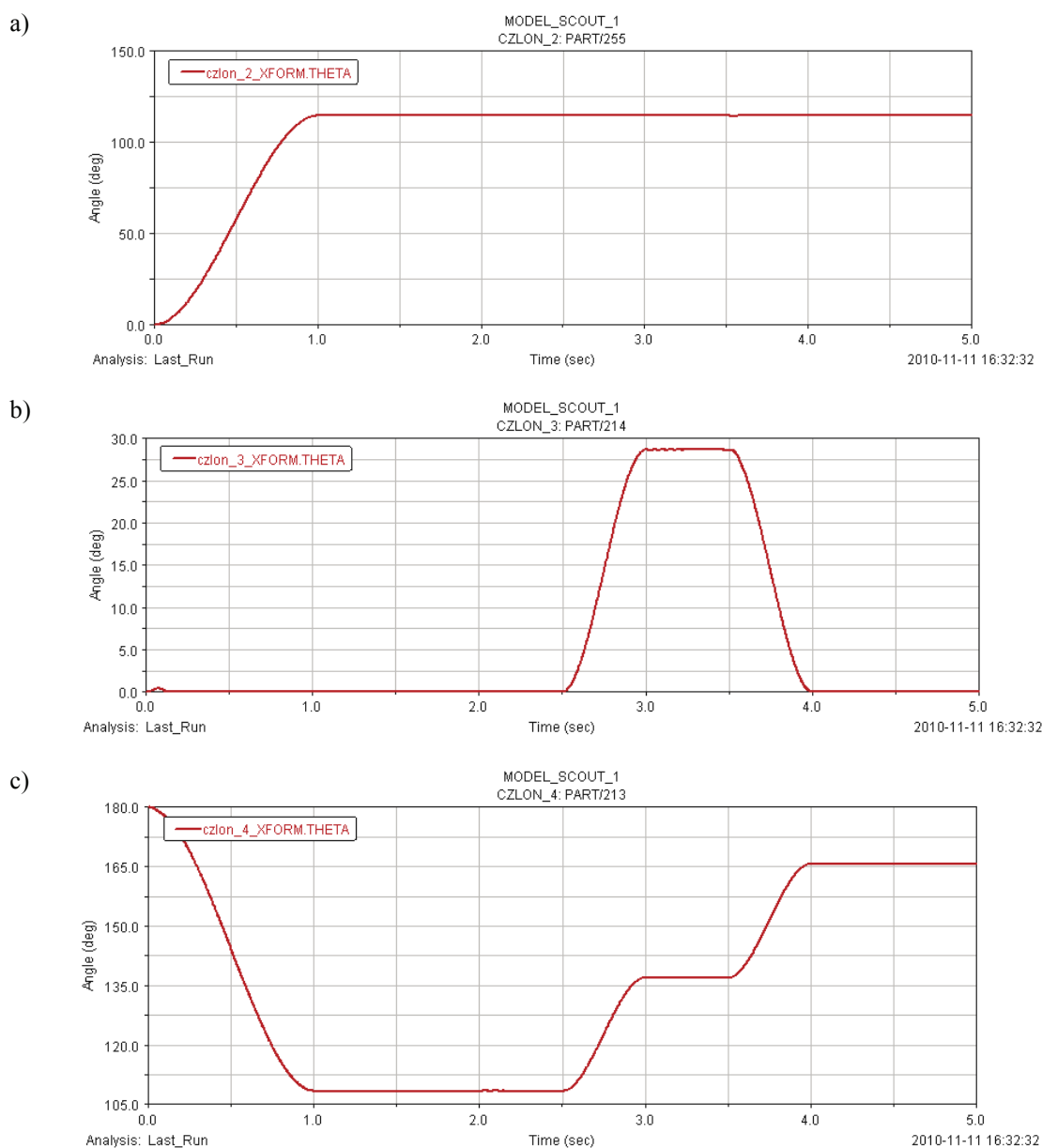
Rys. 5. Zdjęcia poklatkowe z animacji ruchu robota w programie MD Adams



Rys. 6. Przebiegi czasowe położenia i prędkości środka platformy mobilnej (początek układu  $x_0y_0z_0$ ) w układzie nieruchomym XYZ, otrzymane w wyniku symulacji



Rys. 7. Przebiegi czasowe położenia i prędkości podejmowanego pakunku w układzie nieruchomym XYZ, otrzymane w wyniku symulacji



Rys. 8. Przebiegi czasowe kątów przegubowych  $\varphi_2 - \varphi_4$  manipulatora (wg rys. 2)

## 6. PODSUMOWANIE I KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

W pracy opisano przebieg prac związanych z modelowaniem i symulacją ruchu mąlego robota do rozpoznania terenu z zastosowaniem programu MD Adams. Zamieszczono wybrane wyniki badań symulacyjnych poparte animacją ruchu robota.

Zastosowanie programu MD Adams pozwoliło na szybkie zamodelowanie złożonego układu dynamicznego jakim jest prezentowany robot mobilny.

W ramach dalszych prac planuje się:

1. opracowanie modelu układu sterowania mąlego robota do rozpoznania terenu z zastosowaniem pakietu MATLAB/Simulink i połączenie jego symulacji z symulacją modelu dynamiki robota w programie MD Adams,

2. opracowanie modelu analitycznego robota obejmującego uproszczony model dynamiki, jego symulację i porównanie uzyskanych wyników z otrzymanymi z modelu robota w programie MD Adams.

## BIBLIOGRAFIA

1. Cader M., Trojnecki M., Błaszczakiewicz K.: Modelowanie i symulacja ruchu robota czteroosowego z zastosowaniem oprogramowania Matlab/Simulink i MD Adams, *Mechanik* 2/2010, 131,136 (wersja autorska: [www.mechanik.media.pl](http://www.mechanik.media.pl) i [www.procax.org.pl](http://www.procax.org.pl)).
2. Giergiel M. J., Hendzel Z., Żylski W.: Modelowanie i sterowanie mobilnych robotów kołowych, PWN, Warszawa 2002.
3. Trojnecki M., Szynkarczyk P., Andrzejuk A.: Tendencje rozwoju mobilnych robotów lądowych (1). Przegląd robotów mobilnych do zastosowań specjalnych, *Pomiary Automatyka Robotyka* 6/2008, s. 11–14.
4. Wojtyra M., Frączek J.: Metoda układów wieloczłonowych w dynamice mechanizmów, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2007.
5. <http://www.youtube.com/user/osmpiap>
6. <http://www.antyterrorizm.com/>

Niniejsza praca została sfinansowana z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, 2007 –2013 w ramach Projektu pt.: "Zintegrowany Mobilny System Wspomagający Działania Antyterrorystyczne i Antykryzysowe" o akronimie PROTEUS (POIG.01.01.02-00-014/08).