

Wojciech J. Klimasara  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów  
02-486 Warszawa, al. Jerozolimskie 202  
E-mail: wklimasara@sg.piap.waw.pl  
tel.: (+48 22) 8740446  
fax.: (+48 22) 8637648

## PROJEKT ORAZ REALIZACJA KONSTRUKCJI INTERWENCYJNO-INSPEKCYJNEGO ROBOTA MOBILNEGO SR-10 INSPECTOR

*Przedstawiono wyniki realizacji projektu konstrukcji mechaniki mobilnego, gąsienicowego robota interwencyjno-inspekcyjnego SR-10 INSPECTOR przeznaczonego głównie dla służb pirotechnicznych policji; wykonane przez Grupę Projektową/ OBN kierowaną przez autora niniejszej pracy. Prace projektowe obejmowały między innymi: projekt koncepcyjny mechaniki robota oraz jego układów napędowych, opracowanie dokumentacji technicznej, nadzór nad wykonawstwem elementów i podzespołów, montaż mechaniki robota oraz testy funkcjonalne jego zespołów. Podano krótki opis konstrukcji robota.*

### DESIGNING AND MECHANICAL BUILDING OF THE MOBILE SURVEILLANCE ROBOT SR-10 INSPECTOR

*This paper describes the works performed in creation of mechanics of the mobile tracked surveillance robot SR-10 INSPECTOR mainly intended for police work e.g. for anti-terrorist and IEDD applications. Project of mechanics includes: the conceptual design of mechanical structure and driving system of the whole robot, design of mechanical systems and parts including mobile tracked platform, manipulator, gripper, and control console. The short description of the robot is quoted.*

*Project of mechanics and driving systems of the robot was performed by Designing & Constructing Group /OBN that is run by author of presented paper.*

#### 1. WSTĘP

Przedmiotem niniejszej pracy jest opis wyników prac projektowych dotyczących mechaniki interwencyjno-inspekcyjnego robota mobilnego, przeznaczonego głównie dla potrzeb służb pirotechnicznych policji.

Prace wykonywane przez służby pirotechniczne policji i wojska, polegające na rozbrajaniu, usuwaniu i unieszkodliwianiu ładunków wybuchowych z oczywistych względów należą do bardzo niebezpiecznych dla życia i zdrowia. Dlatego dąży się do ograniczenia bezpośredniej obecności człowieka w miejscu akcji przez stosowanie zdalnie sterowanych urządzeń manipulacyjnych mogących przemieszczać się w terenie. Urządzenia te nazywane mobilnymi robotami interwencyjno-inspekcyjnymi są wyposażone w manipulator, który może

wykonywać czynności zgodne z poleceniami wydawanymi zdalnie (drogą radiową lub kablową) przez znajdującego się w bezpiecznej odległości operatora. Urządzenia te są wyposażone również w kamery wizyjne umożliwiające operatorowi zdalną obserwację miejsca akcji. Zależnie od przeznaczenia roboty te mogą być również wyposażone w czujniki (np. dymu, temperatury, odległości), które są niezbędne do rozpoznania miejsca akcji i sprawnego wykonania zadania.

Systemy sterowania robotów interwencyjno-inspekcyjnych mogą być bardzo złożone i umożliwiać również wykonywanie pewnych funkcji autonomicznie. Ze względu na specyficzne wymagania stawiane tego typu robotom, są one produkowane przez nieliczne wyspecjalizowane firmy na świecie.

Prace nad konstrukcją pierwszego polskiego robota interwencyjno-inspekcyjnego dla policji rozpoczęto w PIAP w 1998 roku w ramach projektu celowego KBN nr 8T11A00996C/3033 pt.: "Mobilny Robot Interwencyjno-Inspekcyjny".

Wyodrębniono wówczas dwa główne obszary zadań projektowych, których realizację podjęły równocześnie w PIAP dwa zespoły badawcze:

- Grupa Projektowa/ OBN (GP/OBN) w obszarze opracowania koncepcji budowy mechanicznej robota mobilnego jak również wykonania projektu technicznego jego konstrukcji oraz systemów napędowych.
- Zespół Inteligentnych Systemów Mobilnych (ZSM) w obszarze opracowania i realizacji projektu elektroniki, okablowania, sterowania i oprogramowania robota.

Przedmiotem niniejszego opracowania jest opis realizacji prac wykonanych przez Grupę Projektową/ OBN w zakresie opracowania koncepcji konstrukcji robota oraz projektu mechaniki robota i jego systemów napędowych.

## 2. ORGANIZACJA PRAC PROJEKTOWYCH KONSTRUKCJI MECHANIKI ROBOTA MOBILNEGO

### 2.1 Założenia projektowe

Przyjęto następujące założenia dotyczące konstrukcji mechaniki robota mobilnego:

- Robot mobilny ma być wyposażony w manipulator o sześciu stopniach swobody, o wysięgu ok. 2m i udźwigu ok. 20kg na ramieniu 0.6m
- Baza mobilna ma poruszać się na gąsienicach i być zdolna do jazdy w trudnym terenie, umożliwiać pokonywanie schodów i innych przeszkód
- W robocie należy zastosować sprawdzone elementy i podsystemy spełniające normy przemysłowe, odporne na zakłócenia i czynniki atmosferyczne
- Otwarta architektura i modułowa konstrukcja urządzenia powinna umożliwić przyszłą rozbudowę robota i modernizację jego konstrukcji

### 2.2 Podstawowe zadania projektowe

Podstawowe zadania projektowe wykonane przez Grupę Projektową/OBN obejmowały:

- A/ Opracowanie koncepcji struktury mechanicznej robota oraz jego systemów napędowych

W ramach niniejszego podprojektu opracowano założenia konstrukcyjne, które określiły: budowę mechaniczną manipulatora robota, platformy jezdnej, gaśienicy oraz chwytaka.

B/ Projekt systemów mechanicznych i elementów obejmował następujące podprojekty:

- Platforma mobilna z układem niezależnego zawieszenia kół jezdnych
- Gaśienica robota,
- Manipulator,
- Chwytnak,
- Integracja czujników z konstrukcją robota.
- Projekt struktury mechanicznej stanowiska zdalnego sterowania
- Opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej mechaniki robota
- Nadzór nad wykonawstwem zespołów i elementów mechaniki.
- Montaż oraz badania elementów i systemów mechaniki robota.

Przy opracowaniu podprojektu struktury mechanicznej robota zastosowano po raz pierwszy metodę QFD (ang. Quality Function Deployment), która jest skuteczną, zalecaną i sprawdzoną metodą projektowania wyrobów. Metodą tą jest zorientowana na przyszłego użytkownika i polega na systemowym wykorzystywaniu, w procesie tworzenia koncepcji wyrobu, sygnałów pochodzących od jego potencjalnych użytkowników. Celem ostatecznym metody QFD jest efektywne wykorzystanie opinii i życzeń potencjalnych użytkowników do takiego kształtowania cech wyrobu, które zapewnią najlepsze spełnienie ich oczekiwań. W opisywanym przypadku przed rozpoczęciem prac projektowych związanych z opracowaniem konstrukcji mechaniki robota prowadzono konsultacje z pracownikami służb pirotechnicznych policji w celu poznania ich opinii i życzeń dotyczących najbardziej pożądanego cech użytkowych robota.

Elementy oraz zespoły mechaniczne robota wykonano w warsztatach PIAP. Starannie dobierano poddostawców elementów handlowych. Przy ich wyborze brano pod uwagę przede wszystkim możliwość zapewnienia przez poddostawców odpowiedniej jakości dostarczanych elementów i systemów robota.

Montaż elementów i zespołów robota wykonano w Laboratorium Grupy Projektowej/ OBN. Po operacjach montażu elementów i zespołów konstrukcyjnych przeprowadzono testy funkcjonalne w celu sprawdzenia poprawnej pracy urządzeń mechanicznych robota.

Testy wykonano zgodnie z Instrukcjami Systemu Jakości Grupy Projektowej/ OBN. Testy potwierdziły zakładane właściwości funkcjonalne i poprawność działania wykonanych elementów i systemów konstrukcyjnych.

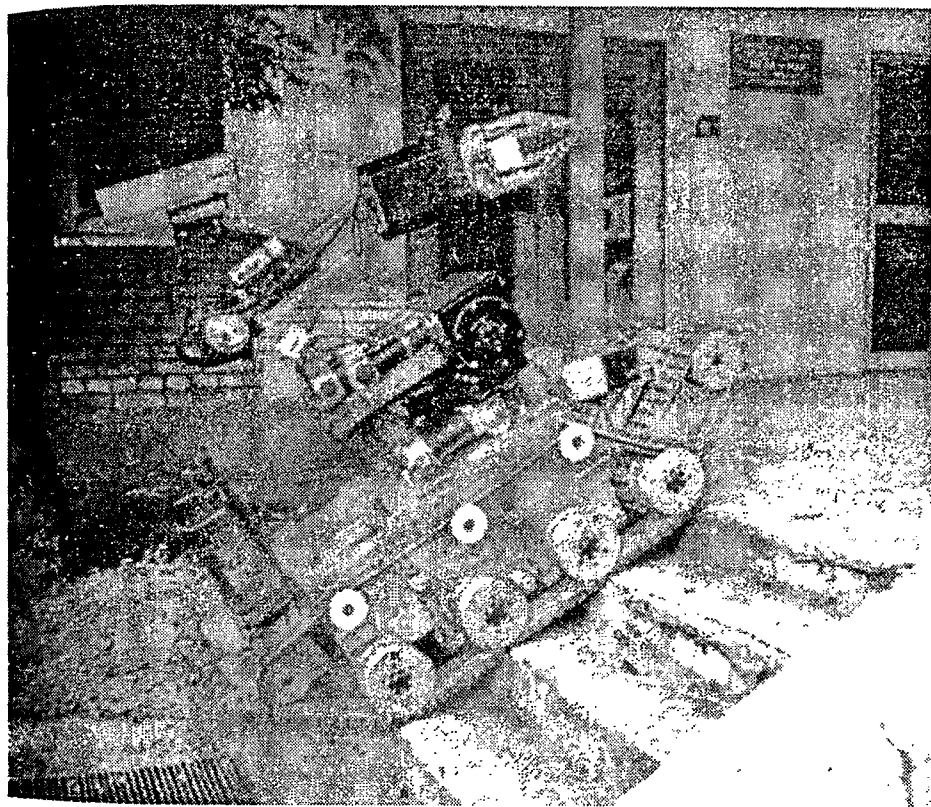
### **3. KONSTRUKCJA ROBOTA**

#### **3.1 Ogólna budowa**

Robot składa się z następujących głównych części składowych:

- gaśienicowej platformy mobilnej wyposażonej w układ gaśienic o zmiennej geometrii.
- manipulatora o sześciu stopniach swobody
- zespołu 5-tej osi manipulatora
- chwytaka
- ruchomego stanowiska zdalnego sterowania robota

Robot SR-10 INSPECTOR został przedstawiony na rys 1.



Rys 1. Interwencyjno-inspekcyjny robot mobilny SR-10 INSPECTOR

### 3.2 Gašienicowa platforma mobilna

Cechą charakterystyczną platformy mobilnej są gašienice przednie, których kąt pochylenia w stosunku do podłóža może być zdalnie ustawiany przez operatora robota w zakresie  $\pm 30^\circ$ . Do zmiany kąta ustawienia gašienic zastosowano elektryczny siłownik liniowy. Kąt nachylenia gašienic jest mierzony z pomocą czujnika. Sygnał z czujnika jest przesyłany do stanowiska operatora robota. Celem gašienic przednich jest zapewnienie stabilności robota podczas pokonywania przeszkód terenowych, a w tym również przy jeździe schodach. Przez odpowiednie kątowne ustawienie gašienic przednich jest możliwe wykonanie ww. manewrów bez uderzeń i wstrząsów.

Manewry skrętu są wykonywane przez odpowiednie wysterowanie prędkości każdej z gašienic.

Do napędu gašienic zastosowano układy napędowe, które są złożone z: silników prądu stałego o napięciu znamionowym 24V, samohamownych przekładni ślimakowych oraz ciernych sprzęgieł przeciążeniowych wyposażonych w zębate koła łańcuchowe, współpracujących z gašienicami. System niezależnego zawieszenia środkowych kół jezdnych (koła te są zamocowane na wahaczach podpartych sprężynami śrubowymi) umożliwia korzystne rozłożenie nacisków gašienic na nierówne podłóże, jak również

zapewnia stabilną jazdę przy pokonywaniu większych nierówności podłoża. Czujniki odometrii są osadzone kołnierzach osłaniających wały wyjściowe silników i napędzających łańcuch. We wnętrzu platformy mobilnej znajdują się wydzielone przestrzenie wyposażenia elektronicznego (w tym komputer pokładowy) oraz przestrzenie, w których są umieszczone dwa akumulatory zasilania robota. Do detekcji przeszkód znajdujących się wokół robota (w zakresie do 10 m) na korpusie platformy mobilnej są zamocowane czujniki ultradźwiękowe odległości. Zamocowane są również dwie kolorowe kamery wizyjne, z których jedna jest skierowana w przód, a druga w tył platformy mobilnej.

### 3.3 Budowa łańcuchów oraz kół jezdnych

Konstrukcję łańcuchów robota SR-10 INSPECTOR opracowano w ramach projektu mechaniki robota.

Przy realizacji podprojektu konstrukcji łańcuchów przyjęto następujące założenia:

- łańcuch powinien umożliwiać poruszanie się robota po schodach
- opór toczenia się robota powinien być możliwie niewielki
- budowa łańcuchów powinna umożliwiać łatwą wymianę nakładek gumowych
- łańcuch powinien umożliwiać realizację manewrów skrętu robota na nierównym podłożu.
- łańcuch powinien być odporna na czynniki atmosferyczne oraz na zanieczyszczenia, a w tym również śnieg i błoto.

Odrzucono pomysł zastosowania łańcuchów gumowych stosowanych w minikoparkach. Stosowane tam łańcuchy są wykonywane w typoszeregach, które uniemożliwiają ich zastosowanie w robocie SR-10 INSPECTOR ze względu na ich wymiary. Opór toczenia tych łańcuchów jest znaczny co ma to niewielkie znaczenie w koparce, poruszanej silnikiem wysokoprężnym zaś w robocie zasilanym z akumulatorów jest bardzo znaczący.

Zadanie projektowe zostało skutecznie rozwiązane przez zastosowanie do budowy łańcuchów firmy Rexnord.

Cechą charakterystyczną opracowanych łańcuchów robota jest możliwość łatwej wymiany zarówno całej łańcuchów jak również jej poszczególnych elementów składowych, a w tym nakładek gumowych. Realizację manewrów skrętu i zawracania zapewnia odpowiednia budowa kół jezdnych dostosowanych do konstrukcji łańcuchów. Koła jezdne są wyposażone w obrzeża, które umożliwiają przenoszenie znacznych sił bocznych działających od podłoża na łańcuch łańcuchów przy manewrach skrętu i zawracania robota. Przednie koła jezdne są wyposażone w wieńce zębate służące do przeniesienia napędu z łańcuchów głównych na łańcuch przednie. Opracowana konstrukcja napędu łańcuchowego układu jezdnych dobrze zdaje egzamin również na grząskim i trawiastym podłożu.

### 3.4 Manipulator

Manipulator robota jest mocowany do przedniej (odchylanej na bok w celach serwisu elektronicznego) pokrywy platformy mobilnej. W połączeniu z chwytakiem oraz z przegubem 5-tej osi stanowi strukturę kinematyczną o sześciu stopniach swobody.

Manipulator składa się z:

- Obrotowej podstawy (pierwszy stopień swobody manipulatora)
- Korpusu napędów osi 2, 3 oraz 4
- Dwóch połączonych przegubowo ramion manipulatora
- Przegubu 5-tej osi, który może zostać w razie potrzeby zdemontowany.

Korpus przekładni napędów zawiera trzy niezależne systemy napędowe służące do przemieszania kątownego dolnego i górnego ramienia jak również obracania nadgarstkiem.

Nadgarstek robota realizujący ruch czwartej osi manipulatora ma postać gniazda przystosowanego do łatwego zamocowania chwytaka lub innego narzędzia. Korpus przekładni napędów jest mocowany do ruchomej tarczy podstawy obrotowej. Wszystkie systemy napędowe robota są wyposażone w cierne, regulowane sprzęgła przeciążeniowe specjalnej budowy umieszczone bezpośrednio na wyjściach zespołów napędowych. Celem takiej struktury napędów jest ochrona elementów kinematyki manipulatora przed uszkodzeniem lub zniszczeniem podczas odrzutu broni, podczas wystrzału lub też podczas niewielkiej eksplozji rozbrajanego bądź przenoszonego ładunku wybuchowego. Sprzęgła przeciążeniowe przejmują wówczas rolę elementów rozpraszających energię odrzutu. W robocie SR-10 INSPECTOR broń może być mocowana w chwytaku lub uchwycie na ramieniu robota.

Zastosowana struktura kinematyczna przeniesienia napędów ramion i nadgarstka zapewnia zachowanie stałej orientacji przestrzennej przenoszonego w chwytaku przedmiotu podczas poruszania zarówno dolnym jak i górnym ramieniem manipulatora. Cecha ta wyróżnia manipulator robota SR-10 INSPECTOR spośród innych urządzeń podobnego typu. Stanowi znacznie ułatwienie dla operatora podczas telemanipulacji przenoszonym w chwytaku przedmiotem zwłaszcza w warunkach stresu.

Struktura kinematyczna manipulatora umożliwia wykonywanie ruchów ramion w szerokim zakresie.

Zakres ruchów kątowych ramion manipulatora jest praktycznie ograniczony jedynie stosowanym okablowaniem oraz innymi elementami robota znajdującymi się w zasięgu jego ramion. Ruchy ramion manipulatora są zdalnie monitorowane za pomocą wbudowanych czujników kąta obrotu oraz czujników krańcowych pełniących funkcje czujników bezpieczeństwa. Sygnały z czujników są przesyłane do stanowiska operatora robota. Każdy ruchomy element manipulatora jest zdalnie monitorowany za pomocą tego typu czujników.

Na górnym ramieniu manipulatora jest zamocowana zdalnie sterowana kamera o zmiennej ogniskowej.

### 3.5 Chwytek

Mechanizmy chwytaka są napędzane dwoma silnikami prądu stałego. Struktura kinematyczna Chwytaka umożliwia równoległy ruch końcówek chwytanych oraz ich obrót wokół osi chwytaka bez ograniczeń mechanicznych. Oś obrotu szczęk chwytaka stanowi szósty stopień swobody struktury kinematycznej manipulatora robota. Czujnik siły zintegrowany z układem kinematycznym chwytaka umożliwia pomiar siły zacisku szczęk.

## 4. PODSUMOWANIE

1. Robot mobilny SR-10 INSECTOR jest pierwszą polską konstrukcją interwencyjno-inspekcyjnego robota mobilnego dla służb pirotechnicznych policji. Ze względu na specyficzne wymagania stawiane tego typu robotom, które odnoszą się zarówno do budowy mechanicznej jak i sterowania, roboty tego rodzaju są produkowane tylko przez nieliczne wyspecjalizowane firmy na świecie.

2. Zastosowano nową metodę projektowania mechaniki robota mobilnego. Przy projektowaniu zastosowano z powodzeniem po raz pierwszy elementy metody QFD. Metoda QFD umożliwiła systemowe uwzględnienie opinii i sugestii przyszłych użytkowników robota w kształtowaniu jego cech użytkowych.

3. Wieloletnie doświadczenie specjalistów PIAP biorących udział w niniejszym projekcie w dziedzinie projektowania i wdrażania robotów i manipulatorów przemysłowych oraz innych urządzeń robotyki było dobrą przesłanką powodzenia prac projektowych dotyczących

mechaniki robota mobilnego.

4. Testy polowe robota w chwili pisania niniejszej pracy trwają. Uwagi i sugestie wynikające z badań robota są i będą szczegółowo i wnikliwie analizowane przez Grupę Projektową /OBN w celu doskonalenia jego konstrukcji.

5. Konstrukcja robota została wyróżniona przez NASA Space Telerobotics Program. Robot SR-10 INSPECTOR został umieszczony na honorowej liście jako „Cool Robot of The Week” z dnia 15 listopada 1999r (<http://www.piap.waw.pl/iinspector/>). Organizatorzy konkursu zwrócili uwagę na projekt rozwiązania układu gąsienic przednich poprawiających stabilność robota przy jeździe po schodach.

## 5. PODZIĘKOWANIA

Wyrażam szczerze podziękowanie dyrekcji PIAP za życzliwość i wsparcie podczas realizacji niniejszego projektu. Dziękuję Komitetowi Badań Naukowych (KBN) za wydatne wsparcie finansowe. Pami mgr inż. Kazimierzowi Majdanowi, kierownikowi Ośrodka Badań Niezawodności i Jakości OBN PIAP i mojemu szefowi, dziękuję bardzo za pomoc organizacyjną oraz techniczną podczas realizacji niniejszego projektu. Dziękuję moim współpracownikom z Grupy Projektowej: panom Edmundowi Królowi i Zenonowi Leszczyńskiemu za pomoc w projektowaniu oraz montaż konstrukcji robota.

Szczególne podziękowanie składam Zespołowi Inteligentnych Systemów Mobilnych (ZSM) PIAP, kierowanemu przez pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Masłowskiego za trud włożony w sprawne opracowanie złożonego projektu elektroniki, oprogramowania i sterowania robota oraz za jego pełną realizację. Dziękuję również za prowadzenie testów terenowych robota oraz za wielki zapał i zaangażowanie całego zespołu ZSM w prezentowaniu konstrukcji robota w mediach publicznych (prasie, radiu i telewizji).

## LITERATURA

- [1] Barczyk J. *Wybrane problemy budowy chwytaków z napędem elektrycznym*; V Krajowa Konferencja Robotyki, Wrocław 1996r Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Nr 96, s. 307-314
- [2] Bors, M.: *Ergänzung der Konstruktionsmethodik um QFD - ein Beitrag zum qualitätsorientierten Konstruieren*; München-Wien 1995
- [3] Everett H.R.: *Sensors for Mobile Robots, Theory and Applications*; AK Peters, Ltd. Wellesley, Massachusetts.
- [4] Kitano, M. and Joyzaki, H.: *A theoretical analysis of steerability of tracked vehicles*; J. of Terramechanics, Vol. 13, No.4, pp.241-258. 1976
- [5] Kitano, M. and Kuma, M.: *An analysis of horizontal plane motion of tracked vehicles*; J. of Terramechanics, Vol. 14, No.4 pp. 211-225, 1977
- [6] Klimasara W.: *Designing Considerations, Building and Implementing the Mobile Tracked Surveillance Robot*; Referat przyjęty na 31<sup>th</sup> International Symposium on Robotics (ISR 2000) 14-17 maja 2000, Montreal, Canada
- [7] Klimasara W.: *The Project of Mechanics of Mobile Tracked Surveillance Robot*; Referat przyjęty na konferencję Unmanned Vehicles for Aerial, Ground, and Naval Military Operations, 9-13 listopada 2000r Ankara, Turcja.
- [8] Kwang-jae Kim: *Design Decomposition in Quality Function Deployment*; Decision Making. Berlin 1997. S. 215-236
- [9] Olszewski M.: *Manipulatory i roboty przemysłowe. Automatyczne maszyny manipulacyjne*; WNT wyd. II 1992
- [10] Saatweber J.: *Kundenorientierung durch Quality Function Deployment*; Carl Hanser

Verlag München-Wien, 1997

- [11] Schraft R.D.: *Mechatronics and Robotics for Service Applications*. IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 1, No.4, pp.31-36, Dec.1994
- [12] Ullman David G.: *The Mechanical Design Process*, 2nd Edition, McGraw-Hill, 1997
- [13] Wong, J.Y.: *Theory of Ground Vehicles* (2nd Ed.); John Wiley & Sons, 1993
- [14] Zimmermann V.: *QFD im Entwicklungsprozeß. Konzepte, Modelle, Methoden und Hilfsmittel*; Produktionstechnische Berichte, Band 20. Kaiserslautern 1995

#### **PATENTY I WZORY UŻYTKOWE ZGŁOSZONE W URZĘDZIE PATENTOWYM RP:**

- [1] Klimasara W.: Manipulator robota P-329709
- [2] Klimasara W.: Chwytnik robota P-335064
- [3] Klimasara W.: Układ jezdny, zwłaszcza robota mobilnego P-337566
- [4] Klimasara W.: Gąsienicowy układ jezdny, zwłaszcza robota mobilnego P-337601
- [5] Leszczyński Z., Król E.: Naprężacz łańcucha ramienia manipulatora robota W-110442