

Ignacy Bojanek, Wojciech J. Klimasara, Marek Ludwiński
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, Warszawa
e-mail: wklimasara@sg.PIAP.waw.pl
tel.: (+22)8740-446
fax.: (+22)8637-648

PROJEKT MECHANIKI GĄSIENICOWYCH ROBOTÓW MOBILNYCH DO ZADAŃ SPECJALNYCH

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki zrealizowanego w PIAP projekcie mechaniki czterech gąsienicowych robotów mobilnych typu INSPECTOR SR-10 dla służb pirotechnicznych Policji Państwowej. Projekt obejmował: adaptację dokumentacji technicznej prototypu platformy mobilnej i manipulatora do wymagań przyszłego użytkownika, opracowanie nowej konstrukcji chwytaka oraz manipulatora kamery pokładowej, wykonanie części i zespołów, montaż oraz testowanie robotów. Projekt został zakończony dostawą czterech robotów wraz z wyposażeniem. Przedstawiono opisy konstrukcji mechanicznych poszczególnych części składowych robota jak również podano opis jego właściwości techniczno-eksploatacyjnych. Niniejsza praca koncentruje się na zagadnieniach związanych z projektem konstrukcji mechaniki robotów i ich układów napędowych oraz innych części składowych. Zagadnienia dotyczące konstrukcji specjalnego wyposażenia robota jak również projektu jego systemu sterowania, a w tym wyposażenia elektrycznego, elektroniki oraz oprogramowania nie są przedmiotem niniejszej pracy.

MECHANICAL DESIGN AND CONSTRUCTION PROJECT OF MOBILE TRACKED ROBOTS FOR SPECIAL TASK

The conclusions from the mechanical design and construction of four tracked mobile robots at PIAP, the INSPECTOR SR-10, for pyrotechnical teams of the Polish State Police, are presented here. The construction project included: the adaptation of technical documentation of the prototype Model INSPECTOR SR-10 – platform and manipulator- to the requirements of clients, writing mechanical documentation of the new gripper and manipulator of the onboard camera, fabricating the mechanical parts of the robot, assembling and testing of the whole system mechanics. This project resulted in the delivery of four robots with necessary equipment to the Polish State Police. A description of construction of components and technical specifications has been presented.

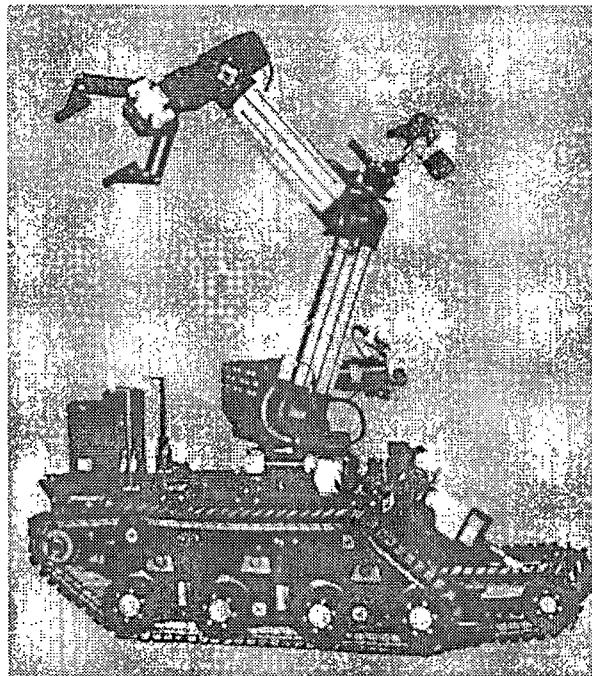
The problems dealing with the design of special mechanical equipment and the problems dealing with the system control including electrical, electronical and software aspect of it are not covered in this paper.

1. WSTĘP

Zdalnie sterowane roboty mobilne używane przez służby pirotechniczne policji są mobilnymi urządzeniami telemanipulacyjnymi służącymi do zdalnej neutralizacji ładunków niebezpiecznych. Zadanie neutralizacji polega na zdalnym rozpoznaniu ładunku, a następnie jego usunięciu lub zdetonowaniu na miejscu. Czynności manipulacyjne z tym związane są bardzo niebezpieczne, stąd wynika potrzeba wykonywania ich za pomocą zdalnie sterowanych robotów. W czasie tych czynności znajdujący w strefie zagrożenia robot mobilny jest zdalnie sterowany ze stanowiska sterowania przez znajdującego się w bezpiecznej odległości pirotechnika. To stanowisko jest wyposażone w pulpit z elementami manipulacyjnymi (przyciskami i dźwigniami sterującymi) oraz monitor, który umożliwia operatorowi zdalną obserwację miejsca akcji oraz efektów swojego działania.

Przedstawiony na Rys 1 Robot INSPECTOR SR-10, który jest przedmiotem opisywanego projektu można zaliczyć do robotów dużych. Jego masa z wyposażeniem pokładowym wynosi ok. 470 kg, zaś jego udźwig netto (tzn. udźwig w szczękach chwytaka) na wyprostowanym, poziomo zorientowanym ramieniu wynosi 30 kg.

Robot INSPECTOR SR-10 jest oryginalnym polskim opracowaniem zarówno od strony konstrukcji mechanicznej jak i sterowania i oprogramowania. Prototyp robota opracowano w PIAP w ramach projektu celowego KBN. Opis prototypu mechaniki robota INSPECTOR SR-10 podano w pracy [3].



Rys.1. INSPECTOR SR-10, mobilny robot interwencyjno-inspekcyjny, zaprojektowany i wykonany w PIAP na zamówienie Policji Państwowej.

2. PROJEKT MECHANIKI ROBOTA

2.1. Procesowa organizacja realizacji projektu

Projekt mechaniki czterech robotów mobilnych typu INSPECTOR SR-10 został zrealizowany w PIAP na zamówienie Policji Państwowej w bardzo krótkim czasie. Niezwykle krótki bo niespełna cztery i pół miesięczny okres realizacji zamówienia był możliwy dzięki zastosowaniu sprawnej, ukierunkowanej na proces organizacji prac. Zastosowana procesowa organizacja pracy [7] jest uznawana za bardziej efektywną niż powszechnie stosowana organizacja "pionowa". W procesowej organizacji projekt jest dzielony na procesy częściowe. W każdym procesie częściowym zostają wyraźnie określone kompetencje osób odpowiedzialnych za ich sprawny przebieg i realizację.

2.2. Projekt bazy mobilnej

W projekcie bazy mobilnej wykorzystano doświadczenia uzyskane podczas konstruowania i badań prototypu robota INSPECTOR SR-10. Przyjęto strukturę kinematyczną bazy mobilnej zastosowaną w prototypie robota [9],[10],[11]. Wprowadzono jako tańsze elementy odlewane ze stopu aluminium w miejsce złożonych elementów kształtowanych metodą obróbki skrawaniem. Zmodyfikowano konstrukcję bazy mobilnej robotów wprowadzając do niej szereg zmian i ulepszeń, wpływających na jej funkcjonalność takich jak:

2.2.1. Zastosowanie technologii spawania konstrukcji korpusu bazy mobilnej

W projekcie zastosowano konstrukcję spawaną wykonaną z blach ze stopu aluminiowego. W prototypie robota wykonana z blach aluminiowych konstrukcja korpusu jest skręcana śrubami. Rozwiązanie takie utrudnia uzyskanie szczelności korpusu. Szczelność korpusu jest wymagana ze względu na obecność w jego wnętrzu delikatnych elementów wyposażenia elektrycznego i elektroniki oraz eksploatację robota w trudnych warunkach atmosferycznych takich jak: deszcz, błoto, kałuże wody itp. W nowym wykonaniu spawany korpus bazy mobilnej jest szczelny.

2.2.2. Nowy system uszczelnień odchylanych pokryw bazy mobilnej

Zastosowano uszczelnienie kształtowe pokryw za pomocą uszczeliek gumowych zapewniających szczelność pokryw korpusu bazy mobilnej po jego zamknięciu.

2.2.3. Systemu mocowań wewnętrznych dla elementów wyposażenia elektrycznego i elektroniki.

Korpus bazy mobilnej został wyposażony w szereg wewnętrznych uchwytów i mocowań umożliwiających pewne i szybkie mocowanie elementów i zespołów wyposażenia elektrycznego i elektroniki. Zastosowane rozwiązania są bardzo wygodne w przypadku diagnostyki i ewentualnej wymiany elementów i zespołów.

2.2.4. System osłon oraz prowadzeń sprężyn elementów niezależnego zawieszenia kół

Zastosowano osłony oraz nowy system prowadzenia sprężyn systemu niezależnego zawieszenia kół uzyskując dobry efekt estetyczny, jak również bardziej korzystne warunki pracy sprężyn.

2.2.5. Nowy system napinania gąsienic

W nowym systemie gaśienice są napinane przez odsuwanie do tyłu bazy mobilnej zespołów napędowych gaśienic i ich mocowanie śrubami w położeniach, który zapewniają właściwy naciąg. Zespół napędowy gaśienicy składa się z silnika elektrycznego, oraz przekładni ślimakowej ze sprzęgłem ciernym oraz kołem łańcuchowym. Zastosowany system ustalania napinania gaśienic jest bardzo prosty i efektywny. Umożliwia szybką regulację naprężenia gaśienicy.

2.2.6. Nowe nakładki gumowych gaśienic oraz sposób ich mocowania

Zastosowano nowe wulkanizowane nakładki gumowe oraz nowy system ich mocowania. Początkowo w prototypie robota były stosowane nakładki gumowe wykrawane i mocowane do stalowych elementów konstrukcyjnych gaśienicy za pomocą nakrętek i wkrętów. W nowym rozwiązaniu zastosowano nakładki gumowe wulkanizowane z wtopionymi, stalowymi elementami mocowania. Nowe rozwiązanie nakładek zostało sprawdzone w prototypie. Testy wykazały, że nakładki wykonane z nowej mieszanki gumowej są bardzo odporne na ścieranie, zaś ich system mocowania jest niezawodny.

2.3. Projekt manipulatora robota

W projekcie manipulatora wykorzystano doświadczenia uzyskano podczas badań prototypu. Zachowano strukturę kinematyczną manipulatora, taką jaka istnieje w prototypie. Zastosowane rozwiązanie konstrukcyjne manipulatora zostało zgłoszone do Urzędu Patentowego RP [8]. Umożliwia ono przemieszczenia kątowne ramion w szerokim zakresie jak również zapewnia, podczas telemanipulacji, stałą orientację przestrzenną przedmiotu znajdującego się w chwytaku.

Zmieniono system mocowania wyłączników krańcowych poszczególnych osi układu kinematycznego. Zastosowano również inny rodzaj wyłączników. Zmieniono mocowanie przetworników kątów obrotu ramion manipulatora.

Ponieważ jednym z wymagań użytkownika było, aby manipulator mógł obracać się wokół podstawy o kąt ± 200 stopni, zastosowano w podstawie manipulatora dodatkową przekładnię zębatą redukcyjną współpracującą z indukcyjnym przetwornikiem kąta obrotu 0-300 stopni.

2.4 Projekt manipulatora kamery pokładowej

Doświadczenia uzyskane podczas testów prototypu robota wykazały, że umiejscowienie głównej wizyjnej kamery pokładowej na sztywnym wsporniku na górnym ramieniu manipulatora jest rozwiązaniem niewygodnym dla operatora. Dlatego też opracowano i wykonano konstrukcję manipulatora kamery pokładowej.

Sztywny wspornik zastosowany w prototypie zastąpiono manipulatorem kamery o dwóch stopniach swobody. Manipulator kamery zamocowany na ramieniu górnym robota służy do zdalnego poruszania kamery wizyjnej wraz z reflektorami. Manipulator ma dwa niezależne układy napędowe: napęd obrotu kamery wokół osi pionowej i napęd obrotu kamery wokół osi poziomej. W urządzeniu zastosowano napędy elektryczne prądu stałego z przekładniami samohamownymi. W układzie sterowania zastosowano ograniczenia prądowe zabezpieczające układ kinematyczny przed przeciążeniem. Parametry techniczne manipulatora kamery podano w Tabeli 1

2.5. Projekt chwytaka

Opracowano nową konstrukcję chwytaka wyposażonego w elektryczne złącze obrotowe oraz w tensometryczny czujnik zacisku szczęk. Elektryczne ślizgowe złącze obrotowe eliminuje konieczność stosowania złożonego okablowania zasilającego i sygnałowego kamery wideo i oświetlaczy halogenowych mocowanych na ruchomej obracającej się części chwytaka w pobliżu szczęk. Szczęki chwytaka mogą obracać się w obu kierunkach o dowolny kąt obrotu. Chwytnak jest istotnym zespołem mobilnego robota interwencyjno-inspekcyjnego, ze względu na jego bezpośrednie narażenie na działanie sił statycznych i dynamicznych występujących przy manipulowaniu materiałami pirotechnicznymi. Wymaga się od niego także uniwersalności umożliwiającej zarówno manipulowanie niewielkimi, delikatnymi jak i dużymi, ciężkimi przedmiotami.

Chwytnak zbudowany został jako urządzenie z dwoma niezależnymi napędami elektrycznymi prądu stałego: napędem obrotu szczęk i napędem zaciskania szczęk. Napęd obrotu zrealizowany jest jako układ łożyskowanej tulei z przekładnią zębatą. Napęd zacisku zrealizowany jest jako układ przekładni zębatej, przekładni śrubowej oraz zespołu dźwigni pracujących w układzie równoległoboku. W celu zabezpieczenia układu kinematycznego przed przypadkowymi przeciążeniami zastosowano mechaniczne sprzęgła przeciążeniowe oraz tensometryczny czujnik siły umożliwiający operatorowi na bieżąco śledzenie wartości siły zacisku szczęk.

Szczęki chwytaka zaopatrzone w gumowe, wymienne nakładki. Ponadto chwytnak jest wyposażony w dwie pary specjalnych szczęk wymiennych: szczęki przedłużone i szczęki kątowe. Podstawowe parametry techniczne chwytaka podano w Tabeli 1

3. PARAMETRY TECHNICZNE

Parametry techniczne robota zestawiono w Tabeli 1

Tabela 1

Lp.	Parametr robota	Wartość
1	Masa całkowita	470 kg
2	Długość (przy złożonym ramieniu)	1710 mm
3	Szerokość	670 mm
4	Wysokość (przy złożonym ramieniu)	1140 mm
5	Maksymalna prędkość	1,7km/ godz.
6	Zakres ruchu kąтового gąsienic przednich	+/- 30°
7	Zdolność pokonywania schodów i wzniesień	35°
9	Dopuszczalny przechył boczny	22°
10	Maksymalny czas pracy przy zasilaniu z akumulatorów pokładowych	2-8 godzin
11	Udźwig maksymalny na wyprostowanym poziomym ramieniu	30kg
12	Zakres ruchu manipulatora kamery wokół osi pionowej	350°
13	Zakres ruchu manipulatora kamery wokół osi poziomej	+/-20°
14	Czas wykonania pełnego zakresu ruchu manipulatora kamery	20 s
15	Zakres rozzwarcia szczęk chwytaka	320 mm
16	Zakres obrotu szczęk	Dowolny
17	Czas pełnego rozzwarcia szczęk	20 s
18	Czas pełnego obrotu szczęk	6 s
19	Masa chwytaka	17kg

4. PODSUMOWANIE

Realizacja kontraktu na dostawę czterech robotów dla Policji Państwowej stanowi zwińczenie prac projektowych i konstrukcyjnych w PIAP nad opracowaniem w kraju handlowej postaci robota interwencyjno-inspekcyjnego o parametrach techniczno-eksploatacyjnych porównywalnych, a nawet lepszych niż parametry podobnych robotów budowanych przez specjalistyczne firmy na świecie. Zadanie to zostało zakończone powodzeniem. Robot INSPECTOR SR-10 jest oryginalną polską konstrukcją. W chwili pisania niniejszej pracy jest jedynym na świecie gaśnicowym robotem mobilnym o masie rzędu 450 kg, w którym jest zastosowano układ zmiennej geometrii gaśnic oraz system niezależnego zawieszenia kół bazy mobilnej. W konstrukcji mechaniki robota zastosowano szereg nowych rozwiązań, które zostały zgłoszone do Urzędu Patentowego RP. Równoległe z pracami projektowymi dotyczącymi mechaniki robota były i są prowadzone w PIAP prace projektowe dotyczące systemu sterowania robotów. Opis prac dotyczących systemu sterowania prototypu robota INSPECTOR SR-10 jest zawarty w pracy [1].

LITERATURA

- [1] Andrzejuk A., Maślowski A., Szykarczyk P., Kozak M. , Krakówka T. : *SR-10 INSPECTOR, nowa generacja robotów do zadań specjalnych*. Konferencja Naukowo-Techniczna. Automation 2000, Warszawa, 12-14 maja 2000. Zbiór referatów, s. 192-199.
- [2] Barczyk J.: *Wybrane problemy budowy chwytaków z napędem elektrycznym; V Krajowa Konferencja Robotyki, Wrocław 1996. Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Nr 96, s. 307-314.*
- [3] Klimasara W.: *Projekt oraz realizacja konstrukcji interwencyjno-inspekcyjnego robota mobilnego SR-10 INSPECTOR* , Konferencja Naukowo-Techniczna. Automation 2000, Warszawa, 12-14 kwietnia 2000. Zbiór referatów, s. 200-207.
- [4] Klimasara W. : *Designing Considerations, Building, and Implementing the Mobile Tracked Surveillance Robot* : 31th International Symposium on Robotics (ISR 2000), 14 -17 maja 2000, Montreal, Canada, Zbiór referatów, s.178
- [5] Olszewski M.: *Manipulatory i roboty przemysłowe, Automatyczne maszyny manipulacyjne*, WNT wyd II 1992.
- [6] Schraft R.FD. *Mechatronics and Robotics for Service Applications*. IEEE. Robotics and Automation Magazine, Vol. 1, No. 4, pp.31-36, Dec.1994
- [7] ISO 9004: 2000 Quality management systems - Guidelines for performance improvement.

PATENTY I WZORY UŻYTKOWE ZGŁOSZONE W URZĘDZIE PATENTOWYM RP:

- [8] Klimasara W.: Manipulator robota P-329709
- [9] Klimasara W.: Układ jezdny, zwłaszcza robota mobilnego P-337566
- [10] Klimasara W.: Gaśnicowy układ jezdny, zwłaszcza robota mobilnego P-337601
- [11] Klimasara W.: Układ jezdny pojazdu gaśnicowego W-111609
- [12] Leszczyński Z., Król E. : Naprężacz łańcucha ramienia manipulatora robota W-110442