

074

DOKUMENT WZORCOWY

ZESPÓŁ INTELIGENTNYCH SYSTEMÓW MOBILNYCH
OŚRODEK BADAŃ NIEZAWODNOŚCI I JAKOŚCI / GRUPA PROJEKTOWA
Nazwa ONB/ZNB

Główny wykonawca

Prof. Andrzej Masłowski
Mgr inż. Wojciech Klimasara

A

Wykonawcy:

Mgr inż. Adam Andrzejuk, Mgr inż. Piotr Szykarczyk,
Mgr inż. Mariusz Kozak, Edmund Król, Zenon Leszczyński

MOBILNY ROBOT INTERWENCYJNO-INSPEKCYJNY**ETAP IX****BADANIA PROTOTYPU ROBOTA***(Tytuł pracy, numer i tytuł etapu)*

Zleceniodawca

KBN

KIEROWNIK ZESPOŁU
Inteligentnych Systemów Mobilnych

prof. dr hab. inż. Andrzej Masłowski

Pracę zakończono dnia 31.05.1999

Nr arch. 7671

Nr zlecenia

1719C, 9651C, 1752C, 9653C

1

Analiza deskryptorowa

Roboty interwencyjne, roboty inspekcyjne, roboty mobilne.

Abstrakt

Sprawozdanie zawiera opis prac wykonanych w niniejszym etapie.

Tytuły poprzednich sprawozdań

- I. Opracowanie szczegółowych założeń.
- II. Przeprowadzenie analizy oferty rynkowej producentów elementów i podzespołów robota.
- III. Opracowanie dokumentacji wstępnej prototypu robota interwencyjno-inspekcyjnego.
- IV. Zakupy dostępnych w ofercie handlowej elementów i podsystemów robota interwencyjno-inspekcyjnego
- V. Opracowanie oprogramowania podsystemów robota
- VI. Wykonanie prototypów podsystemów robota
- VII. Badania prototypów podsystemów robota oraz weryfikacja dokumentacji
- VIII. Montaż i uruchomienie prototypu robota interwencyjno-inspekcyjnego

Rozdzielnik

Egz. 1

Egz. 2

Egz. 3

Spis Treści

1 CEL BADAŃ	1
2 PRZEDMIOT BADAŃ	1
2.1 BAZA MOBILNA	1
2.2 MANIPULATOR ROBOTA	2
2.2.1 <i>Obrotowa podstawa</i>	2
2.2.2 <i>Ramiona manipulatora</i>	2
2.3 CHWYTAK.....	3
2.4 PRZEWOŻNE STANOWISKO OPERATORA.....	3
2.4.1 <i>Pulpit sterujący</i>	3
2.4.2 <i>Układ wizualizacji</i>	3
2.4.3 <i>Układ sterowania i kontroli</i>	4
3 BADANIA	4
3.1 BADANIE MAKSYMALNEJ PRĘDKOŚCI JAZDY ROBOTA PO PŁASKIM PODŁOŻU.	4
3.2 BADANIE MAKSYMALNYCH PRĘDKOŚCI POSZCZEGÓLNYCH STOPNI SWOBODY MANIPULATORA ORAZ PRĘDKOŚCI REALIZOWANYCH PRZEZ CHWYTAK	4
3.2.1 <i>Badanie prędkości obrotowej podstawy</i>	4
3.2.2 <i>Badanie prędkości obrotowej dolnego ramienia</i>	5
3.2.3 <i>Badanie prędkości obrotowej górnego ramienia</i>	5
3.2.4 <i>Badanie prędkości obrotowej nadgarstka (oś 4)</i>	5
3.2.5 <i>Badanie prędkości obrotowej przegubu (oś 5)</i>	5
3.2.6 <i>Badanie prędkości obrotowej szczęk chwytaka (ruch względem osi 6)</i>	6
3.2.7 <i>Pomiar czasu zwarcia oraz rozwarcia szczęk</i>	6
3.3 POMIAR CZASU WYMAGANEGO NA ZMIANĘ KĄTA POCHYLENIA GAŚIENIC PRZEDNICH Z +30 STOPNI DO -30 STOPNI.	6
3.4 BADANIE ZDOLNOŚCI SKRĘTU ROBOTA W MIEJSCU PRZY PRZECIWBIEŻNYM WYSTEROWANIU PRĘDKOŚCI GAŚIENIC.	6
3.5 BADANIE ZDOLNOŚCI POKONYWANIA PRYZMY WYKONANEJ Z TRZECH KLÓD DREWNIANYCH O ŚREDNICY 120MM KAŻDA, UŁOŻONEJ NA POZIOMYM PODŁOŻU.	6
3.6 BADANIE ZDOLNOŚCI WJAZDU NA SCHODY ORAZ ZJAZDU ZE SCHODÓW.....	7
3.7 BADANIE KĄTÓW ZAKRESU RUCHU.....	7
3.8 BADANIE NOŚNOŚCI.....	7
3.9 BADANIE GŁÓWNYCH WYMIARÓW ROBOTA.....	8
3.10 BADANIE MASY ROBOTA.	8
3.11 BADANIE STEROWANIA BAZĄ MOBILNĄ - DOBÓR PARAMETRÓW STEROWANIA.....	8
3.11.1 <i>Określenie optymalnej strefy nieczułości joysticka</i>	8
3.11.2 <i>Ustawienie optymalnych wartości przyspieszeń</i>	9
3.11.3 <i>Ustawienie wartości sterujących odpowiadających prędkości maksymalnej</i>	9
3.11.4 <i>Kalibracja sterowników</i>	9
3.11.5 <i>Badanie poprawności sterowania</i>	9
3.11.6 <i>Badanie programowej funkcji ograniczającej prędkość maksymalną robota mobilnego odpowiadającą maksymalnemu wychyleniu joysticka</i>	10
3.12 BADANIE STEROWANIA MANIPULATORA – DOBÓR PARAMETRÓW STEROWNIKÓW	10
3.12.1 <i>Badanie poprawności działania sterowania silników manipulatora</i>	11
3.12.2 <i>Badanie czasów narastania i rozpędzania – ustawienie parametrów optymalnych</i>	11
3.12.3 <i>Ustawienie maksymalnej prędkości silników manipulatora</i>	12
3.12.4 <i>Badanie działania ograniczników krańcowych</i>	12
3.13 BADANIA TORU ZASILANIA ROBOTA ORAZ STOPU AWARYJNEGO	13
3.13.1 <i>Badanie zasilania kablowego</i>	13
3.13.2 <i>Badanie czasu pracy robota przy zasilaniu z akumulatorów</i>	14
3.13.3 <i>Badanie działania wyłącznika bezpieczeństwa</i>	14
3.14 BADANIE POPRAWNOŚCI DZIAŁANIA PROCEDURY WYZWALANIA UZBROJENIA.....	15
3.15 BADANIE TRANSMISJI DANYCH ORAZ WIZJI.....	16
3.15.1 <i>Badanie niezawodności transmisji danych</i>	16

3.15.2	<i>Badanie maksymalnej prędkości komunikacji.....</i>	17
3.15.3	<i>Badanie funkcji automatycznego zatrzymania robota po zaniku transmisji radiowej.....</i>	17
3.15.4	<i>Badanie maksymalnego zasięgu transmisji radiowej.....</i>	17
3.15.5	<i>Badania dodatkowe.....</i>	18
3.15.6	<i>Zakłócanie innych urządzeń nadawczo-odbiorczych.....</i>	18
3.16	BADANIE CZUJNIKÓW ODLEGŁOŚCI I WIZUALIZACJI DANYCH O ROZMIESZCZENIU PRZESZKÓD.....	19
3.17	BADANIE MOŻLIWOŚCI WPROWADZENIA ELEMENTÓW AUTONOMII DO UKŁADÓW STEROWANIA ROBOTA.....	19
4	WYKORZYSTANE PRZYRZĄDY POMIAROWE	20
5	PODSUMOWANIE	20

RYSUNKI

ZAŁĄCZNIK 1 – KARTA PROJEKTU CELOWEGO

ZAŁĄCZNIK 2 – PROGRAM BADAŃ

1 Cel badań

Celem badań opisanych w niniejszym sprawozdaniu jest:

- a) Sprawdzenie stopnia spełnienia celów podanych w Karcie Projektu Celowego (Załącznik1) odnoszących się do parametrów technicznych robota mobilnego, wykonane zgodnie z Programem Badań (Załącznik 2).
- b) Uzyskanie informacji dotyczących parametrów robota, które nie zostały ujęte w Karcie Projektu Celowego, a które są istotne ze względów użytkowych.

2 Przedmiot badań

Przedmiotem badań jest prototyp robota interwencyjno-inspekcyjnego o nazwie SR-10 Inspector. Robot przedstawiony na Rys.1 oraz 2 składa się z:

1. Bazy mobilnej wraz z elektronicznymi układami sterowania i kontroli robota.
2. Manipulatora wraz ze sterownikami napędów, czujnikami położenia i zabezpieczenia
3. Chwybaka
4. Stanowiska operatora

2.1 Baza mobilna

Baza mobilna przedstawiona na Rys.3 jest wyposażona w napęd gąsienicowy (Poz.1 i 2) realizowany za pomocą silników prądu stałego 24V (Poz.3) oraz układu przekładni i sprzęgieł przeciążeniowych. Na wałach silników elektrycznych napędu gąsienic są osadzone tarcze impulsowe (Rys.4 Poz.10) współpracujące z bezdotykowymi czujnikami indukcyjnymi (Rys.4 Poz.11). Czujniki te w układzie sterowania bazą mobilną służą do określania odometrii robota. Gąsienice przednie (Rys.3 Poz.2) o nastawianym kącie pochylenia w zakresie +/- 30 stopni względem poziomu, ułatwiają pokonywanie przeszkód terenowych jak również umożliwiają zachowanie stabilności robota podczas wjazdu na schody przy zjeździe w dół (Rys.5). Do realizacji napędu zastosowano elektryczny siłownik liniowy (Rys.3 Poz.4) napędzany silnikiem prądu stałego 24V. Na siłowniku zainstalowano kamerę jezdnią skierowaną do przodu, dzięki czemu uzyskano ruch kamery razem z gąsienicą przednią. Korpus bazy mobilnej (Rys.3 Poz.5) zawiera komory w których umieszczone są pokładowe układy elektryczne i elektroniczne robota (Rys.17 Poz.1 i 2) oraz akumulatory (Rys.17 Poz.3), które stanowią podstawowe źródło zasilania robota. W przypadku sterowania kablowego robot zasilany jest buforowo z zasilacza pokładowego i akumulatorów, które są doładowywane w trakcie pracy. Sterowanie wszystkimi układami wykonawczymi, kamerami, napędami oraz czujnikami robota odbywa się za pośrednictwem wieloprocessorowego układu sterowania i kontroli z wykorzystaniem pokładowego komputera nadrzędnego typu VC5 (Rys.17 Poz.1). Komunikacja pomiędzy robotem, a stanowiskiem operatora realizowana jest drogą kablową lub radiową (Rys.18). Wokół bazy mobilnej rozmieszczonych jest dziesięć ultradźwiękowych czujników odległości (Rys. 19).

2.2 Manipulator robota.

Manipulator robota składa się z dwóch przegubowo połączonych ramion oraz korpusu mieszczącego przekładnie redukcyjne. Pod przekładniami znajdują się, zintegrowane we wspólnej obudowie, mikroprocesorowe sterowniki napędów wszystkich stopni swobody manipulatora oraz gąsienicy przedniej. Na zewnątrz korpusu są zamocowane silniki napędu ramion oraz nadgarstka. Ramię górne zakończone jest uniwersalnym złączem (Rys 6), które umożliwia mocowanie różnego typu wyposażenia specjalistycznego takiego jak strzelby, działka, wiertarki, urządzenia typu X-Ray itp. Manipulator umożliwia manipulowanie chwytanym przedmiotem względem 6 stopni swobody. Modułowa budowa manipulatora umożliwia zmianę jego konfiguracji. Zmiana ta realizowana jest przez operatora przed wykonaniem określonego zadania i może polegać na zmianie sposobu mocowania chwytaka oraz możliwości wyeliminowania zespołu napędowego osi 5 (przegubu) w przypadku gdy nie jest on niezbędny do realizacji zadania. Na chwytaku manipulatora zainstalowano kamerę pozwalającą na dokładne śledzenie prowadzonych operacji. Na górnym ramieniu manipulatora umieszczona jest kamera celownicza wraz z mikrofonem, natomiast na korpusie kamera jezdna skierowana do tyłu. Okablowanie manipulatora pozwala na szybką zmianę konfiguracji manipulatora oraz na dołączenie urządzeń dodatkowych.

Manipulator robota składa się z:

1. Obrotowej podstawy (Rys.2 Poz.2)
2. Ramion dolnego i górnego (Rys.2 Poz.4 i 5)
3. Korpusu (Rys.2 Poz.3)
4. Układu kinematycznego przegubu (Rys.2 Poz.7)

2.2.1 Obrotowa podstawa

Obrotowa podstawa (Rys.2 Poz.2) umożliwia obrót robota wokół osi pionowej. Podstawa jest wyposażona w układ pomiaru kąta obrotu realizowany w oparciu o indukcyjny analogowy przetwornik kąta obrotu oraz dwa krańcowe wyłączniki bezpieczeństwa do sygnalizacji położenia skrajnych dopuszczalnych położenia katowych manipulatora robota względem osi pionowej. Zastosowano wyłączniki bezpieczeństwa o podwójnym układzie styków (Rys.7). Pomocnicze styki zwierne służą do sygnalizacji stanu położenia elementu ruchomego bliskiego położeniu granicznemu i są wykorzystywane do zatrzymywania napędu przez programowe funkcje sterujące. Styki rozwierne służą do sprzętowego wyłączenia napędu z pominięciem drogi programowej. Schemat kolejności zwierania styków przedstawiono na Rys.7c. Schemat usytuowania czujników na obrotowej podstawie przedstawiono na Rys.8. Zderzaki (Rys.8 Poz.3) służą do mechanicznego ograniczenia zakresu ruchu obrotowego tarczy i stanowią jednocześnie elementy aktywujące wyłączniki krańcowe (Poz. 4).

2.2.2 Ramiona manipulatora

Układ kinematyczny przeniesienia napędu ramion zapewnia zachowanie stałej orientacji manipulowanego przedmiotu podczas poruszania ramionami manipulatora. Ramiona manipulatora mają budowę modułową (Rys 9). Górne ramię jest zakończone mechanicznym złączem uniwersalnym umożliwiającym mocowanie różnego wyposażania robota.

W przegubach ramion manipulatora umieszczono układy sygnalizacji kąta położenia ramion. Podobnie jak w obrotowej podstawie zastosowano analogowe, indukcyjne przetworniki

kąta obrotu oraz stykowe wyłączniki krańcowe (Rys.10). Jako położenia krańcowe przyjęto położenia wyznaczające bezpieczny zakres ruchu ramion manipulatora. Zakres ten praktycznie nie ogranicza możliwości ruchowych manipulatora podczas normalnej eksploatacji natomiast uniemożliwia zniszczenie elementów wyposażenia robota na skutek niewłaściwego wysterowania ramion przez operatora.

Przetworniki umożliwiają pomiar względny kąta położenia ramion (Rys.11). Ze względów praktycznych czujnik położenia kąтового nadgarstka (Rys.11 Poz.6) został umieszczony w przegubie ramienia górnego (Rys.11 Poz.3).

2.3 Chwytek

Chwytek został przedstawiony na Rys.12 i 13. Opracowano i wykonano chwytak w którym napęd realizowany jest za pomocą silników prądu stałego o magnesach trwałych. Chwytek zapewnia równoległe przemieszczanie końcówek chwytanych. Konstrukcja chwytaka umożliwia obracanie szczęk wokół osi 6 o dowolny kąt (α_6). W układzie kinematycznym chwytaka zastosowano czujnik tensometryczny do pomiaru siły zacisku szczęk.

2.4 Przewoźne stanowisko operatora

Przewoźne stanowisko operatora zostało przedstawione na Rys.14 i 15. Składa się ono z trzech elementów:

1. Pulpitu sterującego
2. Układu wizualizacji
3. Układu sterowania i kontroli wraz z podsystemem komunikacji

2.4.1 Pulpit sterujący

Pulpit sterujący (Rys.20) stanowi interfejs między operatorem, a elektronicznymi systemami sterowania robota. Został on podzielony na 5 sekcji. W części centralnej pulpitu znajduje się synoptyka sterowania manipulatorem oraz gaśnicą przednią, wraz z przełącznikami zezwalającymi lub zabraniającymi wykonania ruchu danego stopnia swobody robota. Po prawej stronie pulpitu umieszczony został dwu-manetkowy joystick do sterowania prędkością i kierunkiem ruchu napędów gaśnic robota. Poniżej znajdują się przełączniki FAST i SLOW, pozwalające na wybór zakresu prędkości maksymalnej, odpowiadającej maksymalnemu wychyleniu joysticka. Poniżej umieszczono wyłącznik stopu awaryjnego. Po lewej stronie pulpitu sterującego znajdują się przełączniki wyboru aktywnej kamery, oświetlacza oraz nastaw parametrów optycznych danej kamery. Poniżej znajduje się sekcja sterowania uzbrojeniem robota. W skrajnym lewym położeniu umieszczono osiem przełączników funkcyjnych, których działanie jest określane na drodze programowej.

2.4.2 Układ wizualizacji

Układ wizualizacji sterowania składa się z kolorowego monitora 14 calowego, na którym obrazowane są dane otrzymywane z aktywnej kamery robota, oraz z cyfrowego monitora pomocniczego na którym przedstawiana jest aktualna konfiguracja manipulatora (graficzna interpretacja danych z czujników położenia manipulatora), rozmieszczenie przeszkód wokół robota (graficzna interpretacja danych z czujników ultradźwiękowych), stan naładowania akumulatorów, siła zacisku chwytaka, numer aktualnie wybranej kamery oraz status radiowej transmisji danych.

2.4.3 Układ sterowania i kontroli

Układ sterowania i kontroli stanowiska operatora składa się z nadrzędnego komputera typu VP5. Zadaniem komputera jest interpretacja i przetwarzanie intencji operatora odnośnie sterowania poszczególnymi układami robota, transmisja tych danych do robota (drogą radiową lub kablową), odbiór danych przesyłanych z komputera pokładowego robota i ich wizualizacja na odpowiednim monitorze lub przez podświetlenie odpowiedniego przełącznika pulpitu sterującego.

3 Badania

3.1 Badanie maksymalnej prędkości jazdy robota po płaskim podłożu.

Celem badania było sprawdzenie maksymalnej prędkości robota podczas jazdy po płaskim podłożu przy zasilaniu robota z w pełni naładowanych akumulatorów przy pełnym wychyleniu dźwigni joysticka. Badania wykonano na korytarzu budynku PIAP mierząc stoperem czas w jakim robot pokonywał kontrolny odcinek drogi o długości 30m. Próbę powtórzono trzykrotnie.

Uzyskano następujące czasy przejazdu robota:

1 próba - 65 s

2 próba - 62 s

3 próba - 66 s

Wynik badania: Maksymalna (średnia z trzech prób) prędkość robota wynosi 0,46m/s (1,66 km/h)

3.2 Badanie maksymalnych prędkości poszczególnych stopni swobody manipulatora oraz prędkości realizowanych przez chwytak

Celem badania było sprawdzenie maksymalnych prędkości obrotowych podstawy i ramion manipulatora podczas zasilania silników napędowych z w pełni naładowanych akumulatorów, a także prędkości realizowanych przez chwytak. Badanie wykonano mierząc stoperem czas w jakim poszczególne elementy manipulatora (obrotowa podstawa, ramiona i chwytak) pokonują określony kąt obrotu. Poszczególne próby powtarzano trzykrotnie.

3.2.1 Badanie prędkości obrotowej podstawy.

Przy ruchu obrotowym podstawy w zakresie 0 - 180 stopni uzyskano następujące czasy:

1 próba - 19,5 s

2 próba - 18,5 s

3 próba - 19,5 s

Wynik badania: Maksymalna (mierzona z trzech prób) prędkość obrotowej podstawy wynosi 9,1 stopni /s (0.025 obr/s , 0,158 rad/s)

3.2.2 Badanie prędkości obrotowej dolnego ramienia

Przy ruchu obrotowym dolnego ramienia w zakresie 0 - 90 stopni uzyskano następujące czasy:

- 1 próba - 20,5 s
- 2 próba - 21,5 s
- 3 próba - 20,0 s

Wynik badania: Maksymalna (wyznaczona z trzech prób) prędkość obrotowa dolnego ramienia wynosi 4,3 stopni/ s (0,0122 obr/ s , 0,077 rad/ s).

3.2.3 Badanie prędkości obrotowej górnego ramienia

Przy ruchu obrotowym górnego ramienia w zakresie 0 - 90 stopni uzyskano następujące czasy:

- 1 próba - 15,5 s
- 2 próba - 15,0 s
- 3 próba - 15,5 s

Wynik badania: Maksymalna (wyznaczona z trzech prób) prędkość obrotowa górnego ramienia wynosi 5,8 stopni/ s (0,0163 obr/ s , 0,10 rad/ s).

3.2.4 Badanie prędkości obrotowej nadgarstka (oś 4)

Przy ruchu obrotowym nadgarstka (oś 4) w zakresie 180 stopni (+/- 90 stopni) przy poziomym ustawieniu górnego ramienia w położeniu poziomym uzyskano następujące czasy:

- 1 próba - 16,5 s
- 2 próba - 16,0 s
- 3 próba - 16,0 s

Wynik badania: Maksymalna (wyznaczona z trzech prób) prędkość obrotowa górnego ramienia wynosi 17 stopni/ s (0,030 obr/ s , 0,19 rad/ s).

3.2.5 Badanie prędkości obrotowej przegubu (oś 5)

Przy ruchu obrotowym przegubu (oś 5) w zakresie 180 stopni (+/-90 stopni), przy poziomym ustawieniu górnego ramienia oraz pionowym ustawieniu osi 5, uzyskano następujące czasy:

- 1 próba - 13 s
- 2 próba - 14 s
- 3 próba - 13 s

Wynik badania: Maksymalna (wyznaczona z trzech prób) prędkość obrotowa dolnego ramienia wynosi 13,7 stopni/ s (0,038 obr/ s , 0,23 rad/ s).

3.2.6 Badanie prędkości obrotowej szczęk chwytaka (ruch względem osi 6)

Uzyskano następujące czasy realizacji ruchu obrotowego szczęk chwytaka wokół osi 6 w zakresie kąta obrotu 360 stopni:

- 1 próba - 7,5 s
- 2 próba - 8 s
- 3 próba - 7 s

Wynik badania: Maksymalna (wyznaczona z trzech prób) prędkość obrotowa dolnego ramienia wynosi 45 stopni /s (0,13 obr/ s , 0,84 rad/ s).

3.2.7 Pomiar czasu zwania oraz rozwarcia szczęk

Uzyskano następujące czasy realizacji ruchu szczęk chwytaka:

- 1 próba - 12 s
- 2 próba - 14 s
- 3 próba - 13 s

Wynik badania: Średni czas od pełnego zwania szczęk do stanu pełnego rozwarcia szczęk chwytaka wynosi 13 s.

3.3 Pomiar czasu wymaganego na zmianę kąta pochylenia gaśnic przednich z +30 stopni do -30 stopni.

- 1 próba - 75 s
- 2 próba - 70 s
- 3 próba - 72 s

Wynik badania: Średni czas wymagany do zmiany kąta pochylenia gaśnic przednich z +30 stopni na -30 stopni względem podłoża (przy zasilaniu silnika siłownika liniowego napięciem stałym 24 V) wynosi ok. 73 sekundy.

3.4 Badanie zdolności skrętu robota w miejscu przy przeciwbieżnym wysterowaniu prędkości gaśnic.

Sprawdzenie wykonano w laboratorium PIAP-OBN.

Wynik badania: Robot posiada możliwość płynnego skrętu w miejscu zarówno przy ustawieniu prędkości SLOW jak i FAST.

3.5 Badanie zdolności pokonywania przyzmy wykonanej z trzech kłód drewnianych o średnicy 120mm każda, ułożonej na poziomym podłożu.

Wynik badania: Robot jest zdolny do pokonywania przeszkód terenowych zarówno o regularnych jak i złożonych kształtach. Gaśnica przednia pozwala na balansowanie robotem w punkcie równowagi, dzięki czemu możliwe jest łagodne pokonanie przeszkody. Moc silników jest na tyle duża, że podczas omawianego manewru nie wyczuwany był

spadek prędkości robota wraz z ze wzrostem kąta natarcia na przeszkodę. Usytuowanie jezdnej kamery skierowanej do przodu, zapewniając dobre pole widzenia w kierunku jazdy (ruch kamery razem z siłownikiem gaśienicy przedniej), pozwala na zdalne wykonywanie manewrów tego typu. Sprawdzenie wykonano w laboratorium PIAP-OBN.

3.6 Badanie zdolności wjazdu na schody oraz zjazdu ze schodów.

Badanie wykonano w PIAP. Schody na klatce schodowej mają pochyłość ok. 26 stopni. Próbę powtórzono trzykrotnie za każdym razem z wynikiem pozytywnym.

Wynik badania: Robot jest zdolny do pokonywania przeszkód terenowych w postaci schodów o nachyleniu 26 stopni.

Uwaga: Pomiary wykonane w wybranych miejscach w Warszawie (między innymi w Metrze, na Dworcu Centralnym, w przejściu podziemnym na skrzyżowaniu ul. Marszałkowskiej z Al. Jerozolimskimi wykazały, że schody w miejscach publicznych są najczęściej nachylone pod kątem 25-30 stopni do podłoża. W związku z powyższym nie przeprowadzono badań zdolności robota do pokonywania chodów o nachyleniu wyższym niż 26 stopni.

3.7 Badanie kątów zakresu ruchu

Konfiguracja układu kinematycznego manipulatora nie wprowadza żadnych ograniczeń ruchu zarówno obrotowej podstawy jak i ramion manipulatora.

Wprowadzone dodatkowo ograniczniki ruchu (wyłączniki krańcowe) mają za zadanie ograniczenie zakresu ruchu wynikające z usytuowania elementów robota w pobliżu manipulatora (silniki napędu gaśienic, kamery itp.) jak również pewnych ograniczeń (nie wpływających na cechy użytkowe robota) wynikających z okablowania. Wprowadzone ograniczenia ruchu ramion manipulatora nie wpływają na właściwości użytkowe robota.

Wynik badania: Zakresy ruchów manipulatora przedstawiono w tabeli:

Oznaczenie kąta obrotu	Oznaczenie osi	Zakres kąta obrotu
α_1	1	$+135^0, - 135^0$
α_2	2	$+100^0, - 150^0$
α_3	3	$+135^0, - 135^0$
α_4	4	$+130^0, - 130^0$
α_5	5	$+135^0, - 135^0$
α_6	6	kąt dowolny

3.8 Badanie nośności

Badanie wykonano w laboratorium PIAP-OBN. Chwytnik zamocowano bezpośrednio w przegubie ramienia górnego (w uniwersalnym złączu robota). Wykonano próbę podniesienia ciężaru o masie 20 kg. Ciężar umieszczono w odległości 0.6m od osi obrotu manipulatora (tuż przed gaśienicami przednimi).

Wynik badania: Nośność manipulatora jest nie mniejsza niż 20 kg na ramieniu 0.6 m

3.9 Badanie głównych wymiarów robota.

Pomiary wykonano w laboratorium PIAP-OBN. Do pomiarów użyto przymiaru wstęgowego stalowego.

Wynik badania: Wymiary robota przedstawiono na Rys.16. Szerokość bazy mobilnej robota wynosi 670 mm.

3.10 Badanie masy robota.

Pomiary wykonano w PIAP-OBN oraz PIAP-LAB. Dokonano pomiarów masy elementów robota.

Wynik badania: Całkowita masa robota bez wyposażenia (akumulatory, elektronika pokładowa itp.) wynosi 397 kg.

3.11 Badanie sterowania bazą mobilną - dobór parametrów sterowania

Sterowanie bazą mobilną robota odbywa się za pomocą dwu-manetkowego joysticka umieszczonego na pulpicie sterującym stanowiska operatora. Kąt wychylenia joysticka jest proporcjonalny do prędkości robota, a kierunek zmian dźwigni joysticka względem położenia środkowego decyduje o kierunku ruchu danej gaśienicy. Dane otrzymywane z joysticka analogowego są dyskretyzowane na 127 poziomów (-63 .. 0 ..+63) i w postaci cyfrowej przekazywane z pulpitu do bazy mobilnej. Komputer pokładowy i przetwornik C/A dokonuje ponownej konwersji danych sterujących na postać analogową i w takiej postaci sterowanie jest przekazywane do firmowych (dołączonych do napędów) wzmacniaczy mocy SpeedMaster firmy Leeson. Ze względu na to, że wzmacniacze te nie są przystosowane do pracy dwukierunkowej, zaistniała potrzeba zastosowania dodatkowego przekładnika kierunku ruchu robota, sterowanego dodatkowym bitem kierunku. Na drodze sterowania zmiana kierunku ruchu może zaistnieć w czasie ok. 0.2 sekundy (czas zmiany położenia joysticka ze skrajnego górnego na skrajne dolne i odwrotnie). Rozwiązanie to wymagało przeprowadzenia badań mających na celu dobór takich parametrów sterowania, aby przy uwzględnieniu dynamiki układu zmiana kierunku ruchu robota przebiegała płynnie i bez negatywnego wpływu na podsystemy mechaniczne (głównie przekładnie i gaśienice). Ponadto, sterowniki wymagały kalibracji mającej na celu ustawienie progu nasycenia, odpowiadającego maksymalnej prędkości silników przy maksymalnym wychyleniu joysticka, i zrównoważenie parametrów sterowników dla napędu lewego i prawego.

Testy zostały przeprowadzone w korytarzu głównym PIAP na podłożu typu PCV, pokrytym wykładziną dywanową.

3.11.1 Określenie optymalnej strefy nieczułości joysticka

Dokonano regulacji nastaw potencjometrów MinSpeed (Rys.21) i badano zachowanie robota w funkcji wychylenia joysticka (Rys.22) w strefie oscylującej wokół położenia zerowego. Następnie sprawdzano wpływ szybkich zmian sterowania kierunkiem ruchu napędów na wartości napięcia na zaciskach Arm+ i Arm- (Rys.21,23). Regulacji dokonywano w połączeniu ze zmianą wartości przyspieszenia (potencjometr Accel Rys.21.) Za wartości optymalne uznano takie, przy których zmiana kierunku napięcia na zaciskach Arm+ i Arm - następowała po przejściu przez wartość 0. W efekcie tych czynności uzyskano ruch robota przy wychyleniu joysticka o ± 11 stopni (Rys.23f). Takie parametry

sterowania zapewniły ponadto zabezpieczenie przed przypadkowym sterowaniem robota w wyniku niewielkich błędów pomiarowych odpowiadających położeniu zerowemu joysticka i zwiększyło komfort sterowania w związku z przeniesieniem zakresu roboczego w górną strefę położenia manetek joysticka.

Wynik badania: Strefa nieczułości joysticka równa ± 11 stopni.

3.11.2 Ustawienie optymalnych wartości przyspieszeń

Za pomocą potencjometru Accel (Rys.21) ustawiono optymalne wartości przyspieszeń robota pod względem płynności ruchu bazy mobilnej i aspektów opisanych w powyższym punkcie.

Wynik badania: Uzyskano optymalne (oceniane subiektywnie) wartości przyspieszeń bazy mobilnej robota.

3.11.3 Ustawienie wartości sterujących odpowiadających prędkości maksymalnej

Ustawiono nasycenie sterowników odpowiadające prędkości maksymalnej dla maksymalnych wychyleń manetek joysticka. Badania polegały na pomiarze napięcia sterującego silnikami (Arm+ i Arm-) i takiego ustawienia potencjometru MaxSpeed (Rys.21) aby nasycenie, czyli osiągnięcie maksymalnego napięcia sterującego, następowało przy maksymalnym wychyleniu joysticka (Rys.23f).

Wynik badania: Uzyskano maksymalne rozciągnięcie zakresu sterowania prędkością robota

3.11.4 Kalibracja sterowników

Korzystając z opisanych powyżej procedur postępowania dokonano kalibracji sterowników napędu gąsienicy lewej i prawej, tak aby napięcia otrzymywane na odpowiednich zaciskach sterowników były identyczne.

Wynik badania: Kalibracja sterowników została wykonana prawidłowo.

3.11.5 Badanie poprawności sterowania

Robot został ustawiony na długim korytarzu równoległe do ścian. Przy sterowaniu robota z maksymalną prędkością na odcinku 20 m nie stwierdzono znaczących odchyień od zamierzonego kierunku ruchu. Pomiarów odległości robota od jednej ze ścian dokonywano co 5 metrów. Testy powtórzone trzykrotnie. Na Rys.24 przedstawione są zmiany kierunku ruchu robota w funkcji przebytej odległości dla trzech testów. Uzyskane błędy nie wskazują na błędy kalibracji, ani też nie są wartościami powtarzalnymi, stąd wniosek: kalibracja sterowników została wykonana prawidłowo, a niewielkie i pomijalne błędy kierunku wynikają z nierównoległego ustawienia początkowego robota względem ściany, nie jednoczesnego zadania prędkości maksymalnej dla obydwu silników napędzających gąsienice, nierówności terenu i poślizgów gąsienic.

Kolejnym testem były wielokrotne, bardzo szybkie zmiany wychylenia joysticka z położenia maksymalnego do przodu do położenia maksymalnego do tyłu. Eksperymenty wykonano w następującej sekwencji czasowej: 5 sekund maksymalna prędkość do przodu, zmiana kierunku ruchu w czasie 0.5 sekundy, 5 sekund maksymalna prędkość do tyłu. Wykonano

20 następujących po sobie prób. W każdym przypadku robot płynnie zwalniał i zmieniał kierunek ruchu.

Wynik badania: Subiektywna ocena pracy sterowania bazy mobilnej robota wykazała prawidłowe działanie układu

3.11.6 Badanie programowej funkcji ograniczającej prędkość maksymalną robota mobilnego odpowiadającą maksymalnemu wychyleniu joysticka

Ze względu na przeznaczenie robota SR-10 Inspector zachodzi potrzeba podziału prędkości na dwa podzakresy – dojazdowy i operacyjny. Prędkość dojazdowa może być zmieniana w funkcji wychylenia joysticka od 0 do 100% prędkości maksymalnej. Jednak jak wynika z przeprowadzonych przez nas testów tylko niewielki procent czasu pracy robota odbywa się z maksymalną prędkością postępową. Podczas prac z wykorzystaniem manipulatora bardziej istotna jest precyzja ruchu robota niż jego prędkość. Z tego względu, na drodze wielokrotnych eksperymentów, wyznaczona została prędkość operacyjna która może być zmieniana od 0-45% V_{max} , co odpowiada wychyleniu joysticka od pozycji środkowej do maksymalnej, jednak parametr ten wynika z subiektywnych odczuć operatora oraz specyfiki wykonywanej czynności, dlatego może być zmieniany na drodze programowej wg potrzeb. Badania miały na celu sprawdzenie poprawności działania oprogramowania oraz oszacowania optymalnego zakresu prędkości operacyjnej.

Wynik badania: Prędkość operacyjna robota wynosi 0.75 km/h

3.12 Badanie sterowania manipulatora – dobór parametrów sterowników

Ze względu na specyfikę zastosowań robota SR-10 Inspector, sterowanie poszczególnymi stopniami swobody odbywa się na zasadzie STOP lub JEDŹ. Prędkość maksymalna danego stopnia swobody jest zdeterminowana przez zastosowany silnik i układ przeniesienia napędu. Jednak rozpędzanie i hamowanie silnika nie może odbywać się metodą 0 – 1, ponieważ doprowadziłoby to do uszkodzenia silnika. Ponadto hamowanie przez rozwarcie zasilania silnika jest bardzo mało efektywne (długi czas hamowania), natomiast hamowanie przez zwarcie styków silnika powoduje natychmiastowe zatrzymanie silnika, a przez to możliwość uszkodzenia układu przeniesienia napędu. Zastosowane mikroprocesorowych sterowników silników manipulatora pozwoliło na zastosowanie profilu rozpędzania i hamowania typu RAMP. Celem badań było dobranie optymalnych czasów narastania i hamowania silników. Ponadto sterowniki umożliwiają regulację prędkości maksymalnej każdego stopnia swobody manipulatora.

Poszczególne stopnie swobody manipulatora posiadają ograniczniki ruchu realizowane przy pomocy dwustopniowych wyłączników krańcowych. W przypadku osiągnięcia przez manipulator pierwszego stopnia wyłącznika krańcowego powoduje przesłanie informacji o tym fakcie do oprogramowania robota. W tym przypadku na drodze programowej, bez względu na wykonywane aktualnie przez operatora sterowanie, następuje wysłanie do sterowników silników komendy zatrzymania ruchu silnika w danym kierunku. Kiedy mimo tego dane ramie manipulatora osiągnie drugi stopień wyłącznika krańcowego, wówczas drogą poza programową przesyłana jest informacja do sterownika o konieczności natychmiastowego, awaryjnego, zatrzymania silnika.

3.12.1 Badanie poprawności działania sterowania silników manipulatora

Sterowniki silników zostały rozmieszczone na 4 obwodach drukowanych, po dwa kanały sterowania na jednym obwodzie (Rys.25). Sterowanie silników odbywa się dwubitowo poprzez zmianę stanu wejść GO_R (ruch w prawo) i GO_L (ruch w lewo). Stanem pracy jest stan zwarcia danego wejścia do masy, natomiast stan wysokiej impedancji ustawia sterownik w stanie spoczynku. Wystawienie silnika w obydwu kierunkach jest chronionym stanem zabronionym, w efekcie czego sterowanie jest odcinane. Badania sterowników polegały na subiektywnym sprawdzeniu poprawności interpretacji danych sterujących oraz prądu płynącego w kanałach sterownika przy maksymalnym obciążeniu chwytaka. Testy poprawności interpretacji danych polegały na wielokrotnym wysyłaniu do robota poleceń ruchu danego stopnia swobody w danym kierunku. Następnie uruchamiano kilka stopni swobody manipulatora jednocześnie. We wszystkich tych przypadkach sterowanie przebiegało w sposób zgodny z oczekiwaniami operatora. Kolejnym krokiem badań było wydanie sterownikowi poleceń sprzecznych czyli jednoczesnego ruchu silnika w obydwu kierunkach. W tym przypadku sterowanie było odrzucane przez sterownik, co jest prawidłowym działaniem układu. Ponieważ przy maksymalnym obciążeniu manipulatora prąd płynący w sterowniku wynosił 8,2 A, podczas gdy wartość nominalna obciążenia poszczególnych kanałów sterownika wynosi 12 A (maksymalnie w szczycie 25 A), nie zaistniała potrzeba dokładniejszego badania obciążalności prądowej sterowników. Ze względu na okablowanie robota zasilające sterowniki silników, wprowadzono programowe zabezpieczenie pozwalające na jednoczesne sterowanie maksymalnie trzema stopniami swobody (Przewód zasilający sterownik powinien mieć obciążalność większą niż suma obciążalności każdego kanału sterownika w szczycie ($8 \times 25A = 200A$), a to znacznie zwiększyłyby jego przekrój i zmniejszyły elastyczność). Nie powoduje to ograniczeń funkcjonalnych manipulatora, ponieważ w praktyce operatora rzadko prowadzona jest jednoczesna operacja więcej niż dwoma stopniami swobody.

Wynik badania: Subiektywna ocena pracy sterowników wykazała prawidłowe ich działanie. Obciążalność nominalna poszczególnych kanałów sterownika wynosi 12 A (25 w szczycie).

3.12.2 Badanie czasów narastania i rozpędzania – ustawienie parametrów optymalnych

Parametry rozpędzania i hamowania mogą być zmieniane poprzez zmianę ustawień przełączników typu dip-switch (Rys.25) (S2 profil rozpędzania i hamowania dla kanału A, S4 profil rozpędzania i hamowania dla kanału B) w zakresie od 0.3sek (wszystkie przełączniki w pozycji OFF) do 3 sekund (wszystkie przełączniki w pozycji ON) z rozdzielczością 8 bitów (256 poziomów). Urządzenia pozwalają również na zadawanie maksymalnego napięcia sterowania czyli w efekcie prędkości maksymalnej w przedziale od 0 do V_{max} z rozdzielczością 8 bitów (256 poziomów). Do tego celu służą przełączniki S3 – zadawanie prędkości maksymalnej dla kanału A oraz S5 - zadawanie prędkości maksymalnej dla kanału B. Badania rozpoczęto dla maksymalnych czasów (3 sekundy). Dla tak skonfigurowanych sterowników wykonywano czynności manipulacyjne. O ile zbyt długi czas rozpędzania silnika nie odgrywał dużej roli podczas teleoperacji, to zbyt długi czas hamowania powodował wyraźne błędy pozycjonowania względem zamierzonego. Postępując analogicznie dla zmniejszanych wartości czasu uzyskano zadowalający efekt przy wartościach czasu rozpędzania i czasu opadania równego 0.4 sekundy.

Przemieszczenia ramion odpowiadające drodze hamowania i rozpędzania są jednak trudne do jednoznacznego zdefiniowania, ponieważ wynikają z aktualnej konfiguracji manipulatora, kierunku ruchu danego stopnia swobody oraz obciążenia. Ze względu na to, że wartości maksymalne tych przemieszczeń wynoszą 2 stopnie, a specyfika zastosowań robota pozwala twierdzić że są to wartości nieznaczące, nie było konieczności prowadzenia bardziej wnikliwych badań.

Wynik badania: Czas narastania i opadania profilu prędkości napędów wszystkich stopni swobody wynoszą 0.4 sekundy.

3.12.3 Ustawienie maksymalnej prędkości silników manipulatora

Sterowniki silników manipulatora pozwalają na zadawanie maksymalnego napięcia sterowania czyli w efekcie prędkości maksymalnej w przedziale od 0 do V_{max} z rozdzielczością 8 bitów (256 poziomów). Do tego celu służą przełączniki S3 – zadawanie prędkości maksymalnej dla kanału A oraz S5 - zadawanie prędkości maksymalnej dla kanału B. W trakcie prób teleoperacji zaobserwowano, że prędkość obrotu podstawy manipulatora ze względu na bardzo duży wysięg, powinna być nieco mniejsza. W związku z tym, za pomocą przełączników S3 i S5 dokonano redukcji prędkości maksymalnej 1 stopnia swobody do wartości równej 90% V_{max} w efekcie czego prędkość obrotowa tego stopnia swobody została zmniejszona z 9.1 stopnia/s na 8.2 stopnia na sekundę.

Wynik badania: Zmniejszono prędkość maksymalną obrotu podstawy manipulatora do 8.2 stopnia na sekundę. Prędkości pozostałych stopni swobody nie zostały zmienione i są zgodne z danymi otrzymanymi w punkcie 3.2

3.12.4 Badanie działania ograniczników krańcowych

Badania wyłączników krańcowych polegało na sprawdzeniu poprawności działania obydwu stopni zabezpieczających. Pierwszy stopień został zbadany poprzez wielokrotne osiągnięcie położenia krańcowego przez każde z ramion manipulatora. W każdym przypadku program reagował właściwie, nakazując zatrzymanie manipulatora w położeniu krańcowym z czasem hamowania określonym w punkcie 3.12.2.

Sterowniki silników manipulatora posiadają (Rys.25) wejścia dla wyłączników krańcowych (oznaczonych przez BMP_R – kierunek obrotu silnika w prawo, oraz BMP_L – kierunek obrotu silnika w lewo), które w stanie normalnym (zezwoleń na prace silnika w danym kierunku) stanowią zwarcie do masy. Stan gdy na skutek zadziałania drugiego stopnia wyłącznika krańcowego stan wejścia zmienia się na stan wysokiej impedancji, następuje natychmiastowe zatrzymanie danego silnika z czasem hamowania równym 0.2 sekundy, bez względu na zadany profil hamowania zadany przełącznikami S2 i S4. Ponieważ wyłączniki krańcowe w manipulatorze zostały tak rozmieszczone, że drugi stopień zabezpieczenia nie powinien w normalnych warunkach pracy być włączany (i nie jest), badania poprawności działania tego układu wykonano po wyłączeniu programowej obsługi wyłączników krańcowych pierwszego stopnia. Zgodnie z założeniami osiągnięcie danego położenia krańcowego powodowało zadziałanie drugiego stopnia wyłącznika i niezawodne zatrzymywanie ruchu danego stopnia swobody w danym kierunku.

Wynik badania: Drugi stopień ograniczników krańcowych powoduje zatrzymanie ruchu napędu w danym kierunku w czasie 0.2 sekundy.

3.13 Badania toru zasilania robota oraz stopu awaryjnego

Podsystem zasilania robota SR-10 składa się z zasilacza 220V/24V o mocy 750W, połączonego w układzie buforowym z dwoma, szeregowo połączonymi akumulatorami 12V o pojemności 100 Ah każdy. W przypadku zasilania kablowego, przy nominalnym obciążeniu silników robota, moc zasilacza jest wystarczająca na pokrycie bilansu elektrycznego, a nadwyżki przeznaczone są na doładowywanie akumulatorów. W przypadku zwiększenia poboru prądu, dodatkowe zapotrzebowanie energetyczne pokrywane jest z akumulatorów. Układ zasilania wszystkich obwodów elektrycznych robota włączany za pomocą stycznika głównego zabezpieczonego dwoma oddzielnymi układami: stacyjką z kluczykiem oraz wyłącznikiem bezpieczeństwa. Układ jest tak zaprojektowany, aby włączenie wyłącznika bezpieczeństwa powodowało bezwzględne odcięcie zasilania wszystkich obwodów. Wyłączenie wyłącznika bezpieczeństwa powoduje uruchomienie zasilania robota z zatrzymanymi silnikami, całkowity powrót wszystkich elektronicznych układów sterowania i kontroli do ustawień domyślnych oraz powrót oprogramowania sterującego do procedur startowych.

Przy zasilaniu robota z akumulatorów bardzo trudnym zadaniem jest jednoznaczne określenie czasu pracy. Czas ten zależy od wielu czynników takich jak: prędkość ruchu robota, rodzaj podłoża, pokonywanie wzniesień, obciążenie, a także pierwotny stan naładowania akumulatorów, efekt pamięci akumulatorów (ograniczający pojemność nominalną), temperatura otoczenia i wiele innych czynników.

3.13.1 Badanie zasilania kablowego

Ze względu na to, że zasilacze zostały przebadane przez producenta przeprowadzono jedynie testy mające na celu sprawdzenie spadku napięcia w kablu zasilającym o długości 100m oraz wpływu spadku napięcia na stabilność pracy zasilacza. Panel sterowniczy zasilany był z napięcia sieci Uz1. Mierzono napięcie na wejściu zasilacza w bazie mobilnej Uz2, oraz napięcie stabilizowane, zasilające wszystkie układy elektroniczne robota Uwy. Pomiarów dokonano dla 5 wartości obciążenia napięcia zasilającego 220V. Spadki napięć dU po stronie napięcia wysokiego wzrosły z 2.5 V przy pracy robota typu „czuwanie”, do 37 V przy maksymalnym obciążeniu silników (niespotykanym w normalnej eksploatacji robota). Zastosowany zasilacz jest jednak całkowicie odporny na spadki napięcia wejściowego i w związku z tym napięcie zasilające układy robota zmieniło się zaledwie o 0.02V. Przebieg doświadczenia został zobrazowany na Rys.26, a wyniki pomiarów zestawione w poniższej tabeli.

L/p.	Uz1 [V]	Uz2 [V]	Uwy [V]	DU [V]
1	229,5	227	24,18	2,5
2	223	210	24,19	13
3	218	196,5	24,19	21,5
4	213,5	184	24,20	29,5
5	210	173	24,20	37

Tabl.1. Pomiary spadków napięcia na kablu dla zmiennego obciążenia 1
Badanie układu ładowania akumulatorów

Akumulatory robota o pojemności 100 Ah powinny być ładowane prądem o wartości maksymalnej równej 10A. Z tego względu podstawowe ładowanie akumulatorów przebiega w czasie postoju, z zewnętrznego urządzenia ładującego firmy Bosh typ KL1208. Aby jednak wydłużyć czas pracy z akumulatorów zostało zastosowane zasilanie buforowe, co pozwoliło na doładowywanie akumulatorów w czasie sterowania robota drogą kablową. Celem badań było dobranie potencjometrem regulacyjnym modułów zasilacza prądu doładowującego równego 20% prądu maksymalnego dla akumulatorów rozładowanych do poziomu 18V. W tym celu, przy zdjętej pokrywie akumulatorów, dokonano pomiaru prądu ładowania akumulatorów o napięciu 18V i na tej podstawie wykonano niezbędnych regulacji. Maksymalny prąd doładowujący wynosi 2 A i wraz ze wzrostem naładowania akumulatorów maleje aż do wartości 0A przy pełnym naładowaniu akumulatorów.

Wynik badania: Spadek napięcia na kablu zasilającym nie ma wpływu na funkcjonowanie układów elektrycznych i elektronicznych robota. Prąd doładowywania akumulatorów jest zależny od stopnia ich naładowania i wynosi maksymalnie 2A.

3.13.2 Badanie czasu pracy robota przy zasilaniu z akumulatorów

Jak napisano powyżej, jednoznaczne określenie maksymalnego czasu pracy robota z akumulatorów jest bardzo trudne do określenia. W związku z tym przeprowadzono badania w warunkach laboratoryjnych i terenowych przy stałej temperaturze równej ok. 21 stopni Celsjusza, dla pięciu trybów pracy robota: gotowość, praca manipulatora bez obciążenia, praca manipulatora z obciążeniem, jazda robota w trybie SLOW po prostej nawierzchni, jazda robota z pełną prędkością. Stanem gotowości robota jest tryb w którym robot ma włączone wszystkie obwody elektryczne, ale nie otrzymuje żadnych komend sterujących utrzymując łączność radiową ze stanowiskiem operatora, przesyła dane z czujników oraz obrazy z kamer. W badaniach założono bardzo surowy warunek mówiący, że spadek napięcia akumulatorów poniżej 21 V powoduje zatrzymanie robota. W rzeczywistości napięcie 18V zapewnia jeszcze prawidłową pracę układów robota. W czasie testów prowadzony był pomiar prądu pobieranego z akumulatorów, napięcie na akumulatorach oraz czas pracy robota od stanu pełnego naładowania akumulatorów do chwili spadku napięcia na akumulatorach do 21V. Wyniki zestawiono w poniższej tabeli.

Tryb pracy	Maksymalny prąd (A)	Czas pracy (godziny)
Gotowość do pracy	4.6	15
Praca manipulatora bez obc.	7	11
Praca manipulatora z obc.	9	8
Jazda robota w trybie SLOW	19	4
Szybka jazda w terenie	35	2

Wynik badania: Minimalny czas pracy robota w temperaturze 21 stopni Celsjusza z akumulatorów jest nie krótszy niż 2 godziny, a w typowych warunkach pracy nie powinien być krótszy niż 4 godziny.

3.13.3 Badanie działania wyłącznika bezpieczeństwa

Badanie miało na celu sprawdzenie niezawodności działania awaryjnego wyłącznika układów zasilania robota i polegało na wielokrotnym jego użyciu w trakcie trwania sterowania oraz czynności manipulacyjnych. Sprawdzano stan obwodów sterujących oraz

obserwowano reakcje robota na gwałtowne odcięcie zasilania. We wszystkich przypadkach po załączeniu wyłącznika bezpieczeństwa wszystkie czynności ruchowe robota były zatrzymywane, a układy sterowania przechodziły w stan ustawień domyślnych. Dzięki temu wyłączenie wyłącznika bezpieczeństwa nie powodowało stanów nieustalonych, niekontrolowanych ruchów robota ani też błędów lub problemów z komunikacją.

Wynik badania: Wyłącznik bezpieczeństwa powoduje natychmiastowe, poza programowe wyłączenie układów zasilających napędy i uzbrojenie, a także powoduje przejście procedur programowych do stanu ustawień domyślnych.

3.14 Badanie poprawności działania procedury wyzwalania uzbrojenia

Sterowanie uzbrojeniem odbywa się z panelu sterowniczego za pomocą pięciu włączników oraz przełącznika z kluczykiem zabezpieczającym, których stan kontrolowany jest z poziomu oprogramowania. Aby zminimalizować możliwość przypadkowego użycia broni, została narzucona specjalna procedura postępowania. Pierwszym etapem jest odbezpieczenie systemu uzbrojenia za pomocą przełącznika z kluczykiem, następnie należy wybrać jeden z czterech rodzajów broni. Towarzyszy temu zapalenie się lampki kontrolnej podświetlającej wybrany przełącznik. Trzymając wciśnięty przełącznik wyboru broni, należy przycisnąć wyłącznik spustowy. Jeżeli procedura postępowania nie zostanie zachowana (również pod względem kolejności wykonywanych czynności) wówczas nie nastąpi odpalenie broni. Jeżeli wyzwalenie broni zakończy się sukcesem, wówczas gaśnie lampka podświetlająca przełącznik wyboru broni. Program sterujący zawiera cztery etapy sprawdzania poprawności procedury:

- kontrola klawiatury pulpitu,
- analiza poprawności danych wysyłanych do robota,
- kontrola poprawności danych otrzymanych z pulpitu,
- analiza wyjść cyfrowych sterujących układami wykonawczymi wyzwalania uzbrojenia.

Pod pojęciem uzbrojenia rozumiane jest zarówno wyposażenie robota w strzelbę, działko typu TeleMach, jak i narzędzia typu wiertarka, nawijarka przewodów i inne. Robot posiada zaciski na manipulatorze (dla strzelby), chwytaku (działko, wiertarka i inne), oraz dwa zaciski z przodu korpusu bazy mobilnej. Ponieważ dla każdego z tych urządzeń wymagany jest inny rodzaj sterowania (różne napięcia, pobór prądu), a niniejszy projekt celowy nie obejmuje wyposażenia robota w uzbrojenie, w systemie wykonano odpowiednią liczbę sterowanych programowo wyjść cyfrowych, które należy odpowiednio dostosować do parametrów danego urządzenia.

Czynności badawcze obejmowały wielokrotne testy sprawdzające zarówno logikę sterowania jak i skutki potencjalnych awarii mogących nastąpić w systemie. Zarówno przerwanie kabla, zerwanie transmisji radiowej, zakłócenia, jak i próba przechwycenia sterowania przez osoby niepowołane oraz przerwanie wiązek wewnętrznego okablowania robota nie powodują odpalenia uzbrojenia. Sprawdzono również wpływ stanów nieustalonych występujących w trakcie włączania robota oraz panelu sterowniczego. Zastosowane zabezpieczenia spełniły swoje zadanie i wpływu stanów nieustalonych na działanie układu nie zarejestrowano.

Wynik badania: Procedura oraz układy elektroniczne wyzwiania uzbrojenia działają w sposób pewny, a w przypadku najbardziej prawdopodobnych awarii zawsze powodują wyłączenie uzbrojenia.

3.15 Badanie transmisji danych oraz wizji

W robocie SR-10 są dwa tory transmisji radiowej: tor transmisji danych oraz tor transmisji wizji. Wszystkie dane mogą być również przekazywane drogą kablową. Zastosowane modemy radiowe pracują w technologii Spread Spectrum, polegającej na nieustannej zmianie częstotliwości nadawania w bardzo szerokim paśmie częstotliwości, co eliminuje możliwość przechwycenia lub zakłócenia informacji. Obraz z kamer przekazywany jest do stanowiska operatora drogą kablową (kabel koncentryczny o impedancji 75 Ohm), bądź też drogą radiową w czasie rzeczywistym. Funkcja scrambling zapobiega przechwyceniu obrazu przez osoby niepowołane. Telemetria jest częścią oprogramowania robota interwencyjno-inspekcyjnego odpowiedzialną za dwukierunkową, cyfrową transmisję danych między stanowiskiem operatora, a robotem mobilnym. Istotą opracowanego algorytmu było osiągnięcie takiej szybkości wymiany informacji, aby możliwa była kontrola robota w czasie rzeczywistym oraz identyfikacja i eliminacja powstających błędów przekazu danych. Procedury obsługujące komunikację gwarantują maksymalną z możliwych do osiągnięcia (racjonalnym kosztem szybkości transmisji) wiarygodność przesyłanych informacji. Dodatkowe zabezpieczenia w które są wyposażone odpowiednie procedury oprogramowania robota, dodatkowo zmniejszają możliwość takiego zdarzenia m.in. poprzez wykluczenie błędów logicznych. Jeżeli dany fragment transmisji jest rozpoznany jako błędny, jest on pomijany i nie jest brany pod uwagę w procesie sterowania. W związku z korekcją błędów i odrzucaniem informacji rozpoznanych jako niewiarygodne, na granicy zasięgu modemów radiowych występuje zjawisko znacznego zmniejszenia się prędkości transmisji danych. Zjawisko to zostało wykorzystane do monitorowania jakości transmisji danych. Jeżeli z pewnych powodów transmisja zostanie na chwilę przerwana (np. na skutek wystąpienia dużych zakłóceń radiowych) zostanie ona wznowiona automatycznie. Jeśli przez pewien określony czas, komunikacja nie będzie mogła być wznowiona, oprogramowanie telemetrii generuje sygnał inicjujący zatrzymanie robota i ewentualne podjęcie czynności awaryjnych (np. automatyczny powrót bazy mobilnej) jednocześnie oczekując na odzyskanie komunikacji radiowej.

3.15.1 Badanie niezawodności transmisji danych

Czynności badawcze rozpoczęto od sprawdzenia poprawności działania algorytmu transmisji danych. W tym celu na okres 24 godzin został uruchomiony program testujący, którego zadaniem było przesyłanie między komputerem stanowiska operatora, a komputerem robota, komunikatu zawierającego określony wzorzec danych. Komputer rejestrował odebrany ciąg bajtów i porównywał go ze znanym wzorcem informując operatora o wyniku porównania. Podczas testu 24 godzinnego przesłano 3 456 000 komplety danych. Opracowany algorytm gwarantuje średnie prawdopodobieństwo błędu transmisji danych rzędu $p \leq 2,33 \times 10^{-10}$ jednak w trakcie omawianego testu błąd transmisji nigdy nie wystąpił.

Wynik badania: Teoretyczne prawdopodobieństwo wystąpienia błędu transmisji jest mniejsze niż $2,33 \times 10^{-10}$, lecz zastosowane algorytmy sprawdzania poprawności i logiki a także korekcji otrzymanych danych wykluczają możliwość przesłania błędnej informacji.

3.15.2 Badanie maksymalnej prędkości komunikacji

Czynności przeprowadzono zgodnie z opisanym powyżej testem z tą różnicą, że mierzono czas i liczbę wymienionych informacji do chwili pojawienia się zakłóceń. Maksymalna (tj. bez zakłóceń) prędkość transmisji bez obsługi urządzeń pomiarowych robota (wynika z szeregowej struktury sterowania) wyniosła dla komunikacji kablowej 40 komunikatów na sekundę (każdy komunikat zawiera komplet informacji), natomiast dla komunikacji radiowej 15 komunikatów na sekundę. Maksymalna prędkość transmisji radiowej w całkowitej pętli sterowania podsystemów robota wynosi 12 komunikatów na sekundę. Pojawianie się zakłóceń powoduje eliminację otrzymanych danych, a przez to zmniejszenie prędkości transmisji. Empirycznie określono, że sterowanie robotem jest możliwe gdy wymiana informacji zachodzi co najmniej 2 razy na sekundę.

Wynik badania: Maksymalna prędkość transmisji danych przez modemy radiowe w trybie czuwania wynosi 15 komunikatów na sekundę. Maksymalna prędkość transmisji w trakcie pracy wynosi 12 komunikatów na sekundę. Minimalna prędkość transmisji przy której sterowanie uważane jest za prawidłowe wynosi 2 komunikaty na sekundę.

3.15.3 Badanie funkcji automatycznego zatrzymania robota po zaniku transmisji radiowej.

W tym celu na korytarzu głównym PIAP przeprowadzono test podczas którego robot sterowany był z maksymalną prędkością do przodu. Aby zasymulować utratę łączności radiowej, wielokrotnie wyłączano modem radiowy, zainstalowany w stanowisku operatora, na czas 20 sekund. Za każdym razem robot zatrzymywał się po czasie 1 sekundy od utraty łączności ze stanowiskiem operatora i niezawodnie ruszał z chwilą odzyskania komunikacji. W chwili utraty komunikacji blokowane były w robocie wszelkie funkcje sterujące napędami oraz uzbrojeniem, natomiast funkcje pomiarowe oraz związane z podtrzymywaniem łączności działały w sposób niezakłócony.

Wynik badania: Prawidłowa realizacja funkcji automatycznego zatrzymania po zerwaniu komunikacji, polegająca na zatrzymaniu wszystkich napędów i wyznaczonych obwodów sterowania.

3.15.4 Badanie maksymalnego zasięgu transmisji radiowej

Badania obejmowały sprawdzenie zasięgu obu torów transmisji zarówno w terenie zabudowanym jak i w otwartej przestrzeni. Badania przeprowadzono w terenie na zewnątrz budynku PIAP oraz wewnątrz budynku PIAP. Otrzymane wyniki zarówno dla toru danych jak i wideo są bardzo zbliżone i wynoszą w terenie otwartym ok. 1 km, a w terenie zamkniętym ok. 80 m. Należy jednak zwrócić uwagę na bardzo duży wpływ materiałów z jakich jest wykonany budynek (przeszkody) oraz rodzaj zabudowy. W wykonanym przez nas doświadczeniu w terenie zamkniętym sygnał wizji stawał się zbyt słaby aby można było prawidłowo sterować robotem po przejściu 7 ścian działowych, różnicy poziomów równej dwóm piętróm i odległości w linii prostej ok. 80m. W tych samych warunkach prędkość transmisji danych sterujących wynosiła 3 komunikaty na sekundę, co świadczy o zbliżaniu się do krańca zakresu (Rys.27). Wyniki doświadczenia zostały zaprezentowane przyszłym użytkownikom systemu i zostały ocenione jako bardzo dobre. Przeprowadzono dodatkowe badania z zastosowaniem anteny do transmisji danych o zysku 3dB. Zwiększyło to zasięg o 10m w terenie zamkniętym, przy dwóch dodatkowych ściankach działowych. Ze względu

na brak możliwości przeprowadzenia testów w terenie otwartym na odległość większą niż 1 km, nie została określona odległość maksymalna dla anteny o większym zysku.

Wynik badania: Odległość przy której zachodzi prawidłowa transmisja radiowa wynosi w terenie otwartym 1km, a w terenie zamkniętym 80 m (zależnie od panujących warunków).

3.15.5 Badania dodatkowe

Wykonano badania potwierdzające skuteczność kodowania przesyłanej informacji. Zastosowane modemy do transmisji danych pracują w technologii Spread Spectrum co oznacza, że sygnał nadawany jest w szerokim paśmie częstotliwości. Powoduje to praktycznie uniemożliwienie przechwycenia informacji przy zastosowaniu modemów innego typu, w których to natężenie odbieranego sygnału jest poniżej poziomu szumów. Przechwycenie informacji wymaga znajomości pasma częstotliwości nadawania, częstotliwości kodowania informacji i sekwencji kodowania. Transmisja jest całkowicie odporna na wąskopasmowe zakłócenia, czyli gdy sygnał zakłócający nie obejmuje całego pasma nadawania sygnału. Zastosowanie modemów tego samego typu o tych samych parametrach, wymaga dobranie takich samych kanałów nadawczo – odbiorczych jak w robocie SR-10. W tym przypadku (w rzeczywistości bardzo trudnym do realizacji) może nastąpić jedynie odbiór informacji przez osobę niepowołaną. Ze względu na unikalny protokół transmisji danych oraz ich kodowanie informacja ta jest zupełnie bezużyteczna. Wszelkie próby zakłócenia tej informacji lub zmiany jej treści mogą jedynie w najgorszym stopniu spowodować chwilowy spadek prędkości transmisji danych. Ponadto przeprowadzono badania potwierdzające brak wpływu działania telefonów komórkowych na jakość i zakłócenia transmisji.

Wynik badania: Wysoka trudność przechwycenia transmitowanych danych. Próby zakłócenia lub przechwycenia i modyfikacji sygnału są niezauważalne dla systemu, a przy dużej skuteczności działań sabotażowych powoduje zatrzymanie robota.

3.15.6 Zakłócanie innych urządzeń nadawczo-odbiorczych

Zgodnie z tym co napisano powyżej, dla innych urządzeń nadawczo odbiorczych natężenie odbieranego sygnału jest poniżej poziomu szumów. Zastosowana tu technologia pozwala również na nie zakłócaną pracę wielu modemów tego samego typu w tym samym zakresie częstotliwości lecz z inną częstotliwością kodowania. Przeprowadzono badania z użyciem robota mobilnego NOMAD 200, sterowanego przy pomocy modemów radiowych o częstotliwości pracy mieszczącej się w zakresie działania modemów robota SR-10. Nie stwierdzono wpływu badanych modemów na pracę modemów robota Nomad 200. Podobne badania wykonano z użyciem 2 rodzajów radiowych nadajników sygnałów wizyjnych a także telefonów komórkowych. Również w tym przypadku nie stwierdzono obecności zakłóceń powodowanych przez badany obiekt.

Wynik badania: Nie stwierdzono zakłóceń innych urządzeń radiowych w tym modemów i telefonów komórkowych typu NMT, DCS i GSM.

3.16 Badanie czujników odległości i wizualizacji danych o rozmieszczeniu przeszkód

Wokół robota rozmieszczono dziesięć ultradźwiękowych czujników odległości, których zadaniem jest zobrazowanie rozmieszczenia przeszkód wokół robota. Jest to szczególnie istotna informacja w czasie teleoperacji poza wzrokiem operatora, podczas sterowania robotem w wąskich korytarzach oraz w czasie autonomicznych czynności wykonywanych przez robota. Dane otrzymywane z czujników przekazywane są do stanowiska operatora i interpretowane graficznie (Rys.28) na pomocniczym monitorze cyfrowym. Domyślnie wizualizacja obejmuje obszar 2.5 metra wokół robota, natomiast po naciśnięciu klawisza F1 na panelu sterującym istnieje możliwość zwiększenia tego obszaru do 10 m. Celem badania było sprawdzenie ustawienia czujników oraz ich kalibracja. Wyniki pomiarów zobrazowane są na Rys.29. Czujnik 9 w trakcie montażu na robocie uległ rozkalibrowaniu. W tym celu rozkręcono czujnik i za pomocą przełącznika S6 = OFF ustawiono tryb kalibracji. Potencjometrem P2 ustawiono napięcie wyjściowe równe 0V, a następnie przełącznikiem S6 = ON powrócono do stanu pracy czujnika i powtórzono testy. Otrzymane wyniki były prawidłowe. Ocenę wizualizacji otrzymywanych danych przeprowadzono podczas teleoperacji robotem w korytarzach PIAP, poza wzrokiem operatora.

Wynik badania: Wskazania wszystkich czujników odległości są prawidłowe, a wizualizacja graficzna ich odczytów znacznie ułatwia sterowanie robotem poza wzrokiem operatora.

3.17 Badanie możliwości wprowadzenia elementów autonomii do układów sterowania robota

Dane dotyczące sterowania i kontroli wszystkich układów robota znajdują się w uaktualnianym w czasie rzeczywistym wektorze State. Deklaracja tego wektora znajduje się w pliku nagłówkowym global.h. Oprogramowanie składa się z szeregu bibliotek obsługujących układy zbierania danych (get_in.c), sterowania układami wykonawczymi (set_out.c), konfiguracji i obsługi przetworników A/C (VADC26.c), Wejść i Wyjść cyfrowych (VMIO10.c) oraz obsługi magistrali VME (vme.c). Dostęp do wektora State i bibliotek programowych robota odbywa się z poziomu oprogramowania Phenix napisanego w języku C. Badanie miało na celu sprawdzenie dostępności wymienionych bibliotek, a co za tym idzie możliwości wprowadzenia układów autonomii do układów sterowania robota. W tym celu napisano program który powoduje zatrzymanie robota w przypadku gdy znajduje się zbyt blisko przeszkody. Działanie programu sprawdzono w korytarzu PIAP i stwierdzono jego prawidłowe działanie. Złożoność funkcji autonomicznych zależy tylko od specyfiki zastosowania robota oraz inwencji programisty.

Wynik badania: System sterowania robotem posiada wszelkie niezbędne dane dotyczące położenia bazy mobilnej, konfiguracji manipulatora i rozmieszczenia przeszkód, a także pełne możliwości samodzielnego sterowania wszystkimi układami wykonawczymi robota, aby możliwa była implementacja dowolnych autonomicznych funkcji wspomagających operatora oraz dostosowanie oprogramowania do indywidualnych potrzeb użytkownika.

4 Wykorzystane przyrządy pomiarowe

- Do pomiaru odległości oraz gabarytów robota wykorzystano wstępowy przymiar stalowy o długości 10 m i podziałce 1 mm.
- Do pomiaru czasu wykorzystano stoper cyfrowy marki Citizen Sapphire o dokładności 0,01 s.
- Do pomiaru napięć zastosowano cyfrowy profesjonalny miernik automatyczny CHY 29 o dokładności pomiaru napięcia stałego równej $\pm 0.25\%$ +1 cyfra.
- Badania wymagające oceny jakościowej przeprowadzono bez użycia przyrządów pomiarowych, w oparciu o obserwacje i doświadczenie operatora.

5 Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań można stwierdzić, że robot spełnia wszystkie wymagania postawione w Karcie Projektu Celowego. Przeprowadzone w niniejszym etapie badania nie wyczerpują wszystkich niezbędnych prac do określenia pełnych możliwości robota, gdyż próby te często są działaniami niszczącymi, wymagają stosowania zaawansowanego sprzętu pomiarowego oraz działań poligonowych z użyciem uzbrojenia, którego zakup nie był przedmiotem niniejszego projektu celowego. Tak więc określone parametry nośności, zdolności pokonywania przeszkód i schodów są jedynie parametrami gwarantowanymi, a nie maksymalnymi.

Wszystkie elektroniczne urządzenia sterowania i kontroli mogą pracować w temperaturach -20 do +80 stopni Celsjusza, a urządzenia znajdujące się na zewnątrz robota zostały wyposażone w specjalne obudowy dodatkowe spełniające normę IP-66. Okablowanie robota i manipulatora spełnia normę militarną MIL-C26482 oraz UTE 93422 - HE 301. Aktualnie prowadzone są prace badawcze mające na celu określenie możliwości aplikacyjnych robota, wynikiem czego będzie rozszerzenie i uszczegółwienie parametrów spełnianych przez robota interwencyjno-inspekcyjnego SR-10 Inspector.

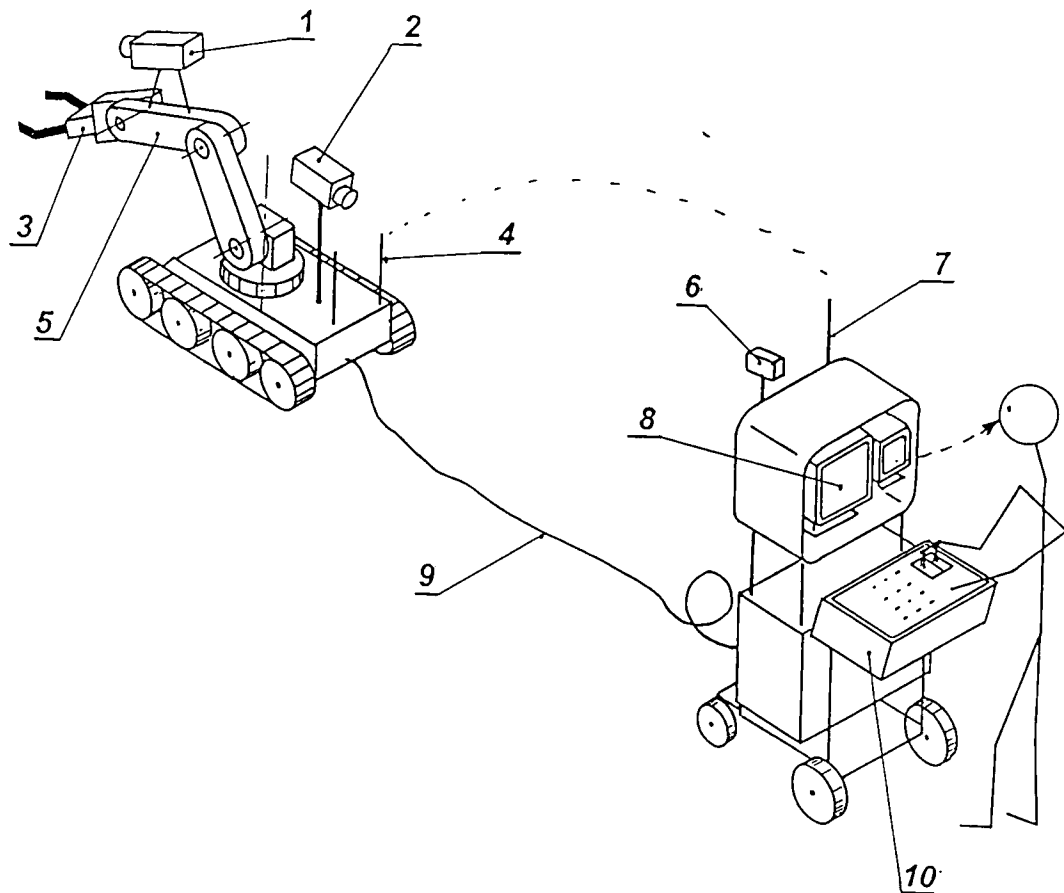
Załącznik 1 – Karta projektu celowego

1. Przedmiot wdrożenia	Mobilny robot interwencyjno-inspekcyjny	
2. Zakład wdrażający (nazwa i adres, fax)	Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP Pion Produkcji Doświadczalnej i Małoseryjnej Al. Jerozolimskie 202; 02-486 Warszawa tel 23-70-81, fax. 23-88-64	
3. Planowana zdolność produkcyjna	8 sztuk rocznie	
4. Planowany termin wdrożenia	Rozpoczęcia	01.06.1999
	Zakończenia	31.05.2000
5. Przewidywane nakłady na wdrożenie (zł)	Ogółem	1360000
	w tym na inwestycje	201000
6. Podstawowe parametry przedmiotu wdrożenia		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Robot mobilny wyposażony w manipulator. 2. Baza mobilna zdolna do poruszania się w trudnym terenie. 3. Układy wizyjne pozwalające na kierowanie robotem oraz teleoperację. 4. Możliwość zdalnego sterowania robota drogą radiową oraz z użyciem kabla. 5. Odporność na zakłócenia i warunki atmosferyczne. 6. Wizualizacja informacji o rozkładzie przeszkód wokół robota. 7. Możliwość wprowadzenia elementów autonomii do operacyjnego działania robota. 8. Otwarta architektura urządzenia pozwalająca na przyszłą rozbudowę. 		
6.1. Poziom aktualny		
W kraju nie są produkowane roboty interwencyjno-inspekcyjne.		
6.2. Poziom zamierzony		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Robot mobilny wyposażony w manipulator o 6 stopniach swobody, o wysięgu ok. 2m i udźwigu ok. 20 kg na ramieniu 0.6m. 2. Baza mobilna poruszająca się na gąsienicach, zdolna do jazdy w trudnym terenie, pokonywania schodów i innych przeszkód. 3. Robot mobilny będzie wyposażony w cztery kamery, pozwalające na obserwację zarówno terenu z przodu jak i z tyłu robota oraz przestrzeni roboczej manipulatora. 4. Możliwość sterowania robota drogą radiową na odległość 500m oraz przy użyciu kabla z możliwością doładowywania akumulatorów. Drogą radiową będzie się również odbywać transmisja danych z kamer oraz innych czujników. 5. Zastosowane zostaną sprawdzone elementy i podsystemy robota spełniające normy przemysłowe, odporne na zakłócenia oraz czynniki atmosferyczne, co zapewni odporność robota na w/w czynniki. 6. Aktualny rozkład przeszkód znajdujących się wokół robota będzie zobrazowany na ekranie pulpitu sterowniczego w postaci graficznej mapki otoczenia. 7. Zastosowanie wieloprocesorowego sterowania robota interwencyjno-inspekcyjnego pozwoli na wprowadzenie elementów autonomii oraz na przystosowanie danej jednostki do indywidualnych potrzeb użytkownika. 8. Modułowa budowa robota pozwoli na rozbudowę i modernizację zarówno jego konstrukcji jak i oprogramowania. 		
7. Określenie formy zakończenia prac badawczo-rozwojowych niezbędnych do wykonania projektu celowego – dokumentacja techniczna technologii – instalacja doświadczalna – prototyp nowo zaprojektowanego wyrobu - inna _____ forma		
8. Wykaz podmiotów zainteresowanych wynikami projektu		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Policja: Jednostki Antyterrorystyczne oraz Służby Prewencyjne 2. Wojsko: Straż Graniczna, Zespoły Sapersko-Minerskie 3. Straż Pożarna 4. Inne instytucje w których istnieje potrzeba zastąpienia człowieka przez robota interwencyjno-inspekcyjnego, w związku z niebezpiecznym lub szkodliwym dla człowieka charakterem wykonywanej pracy. 		



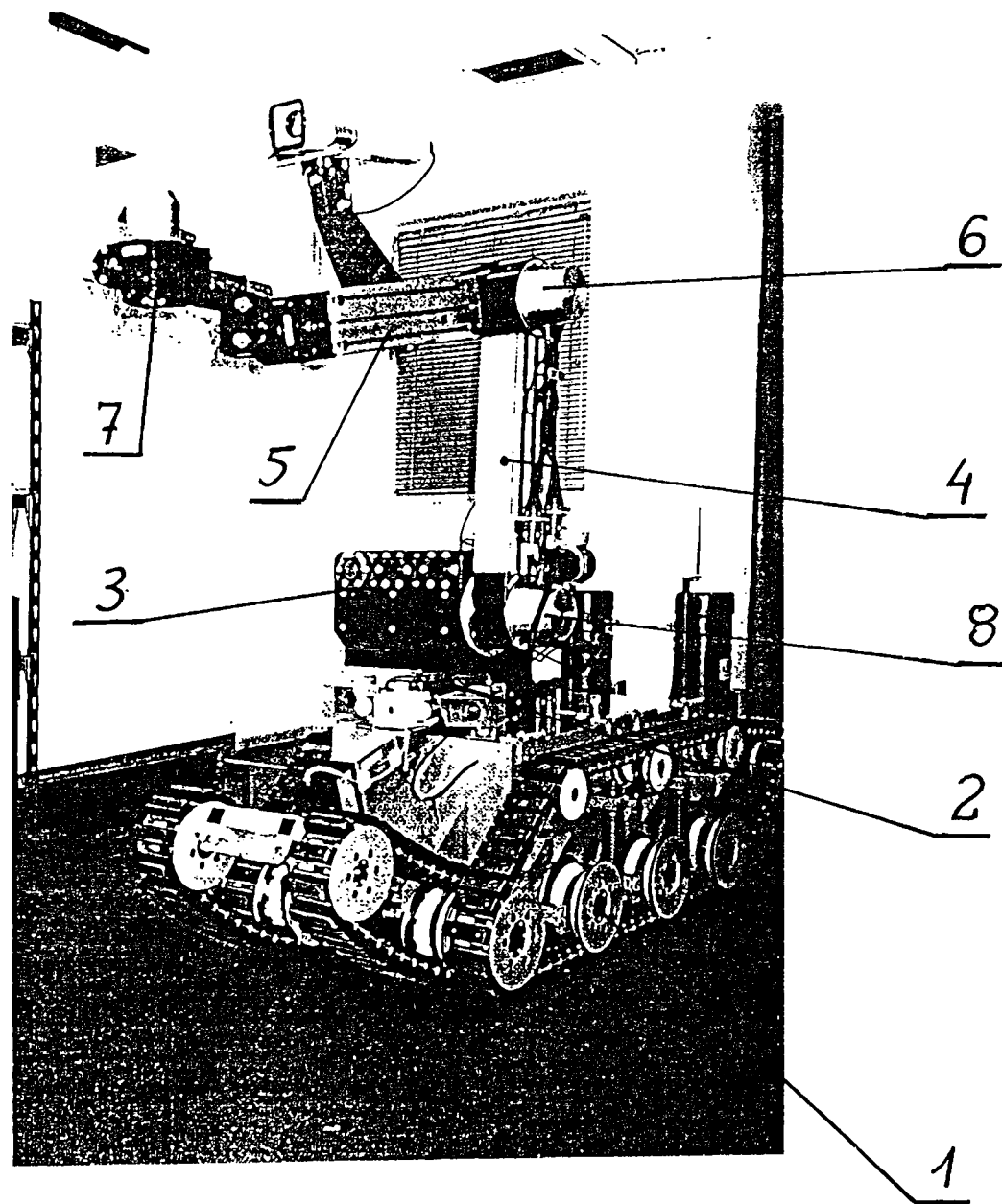
Załącznik 2 – Program badań

1. Badanie maksymalnej prędkości jazdy robota po płaskim podłożu
2. Badanie maksymalnych prędkości poszczególnych stopni swobody manipulatora oraz prędkości realizowanych przez chwytak
3. Pomiar prędkości ruchu gąsienic przednich
4. Badanie zdolności robota do wykonania skrętu w miejscu przy przeciwbieżnym wysterowaniu prędkości gąsienic
5. Badanie zdolności pokonywania przeszkód terenowych
6. Badanie zdolności pokonywania schodów
7. Badanie zakresu ruchu manipulatora
8. Badanie nośności
9. Badanie głównych wymiarów robota
10. Badanie masy robota
11. Badanie sterowania bazą mobilną
12. Badanie sterowania manipulatora
13. Badanie działania ograniczników krańcowych
14. Badania zasilania robota oraz stopu awaryjnego
15. Badanie procedury wyzwiania uzbrojenia
16. Badanie transmisji danych oraz wizji
17. Badanie czujników odległości i wizualizacji danych o rozmieszczeniu przeszkód
18. Badanie możliwości wprowadzenia elementów autonomii do układów sterowania robota



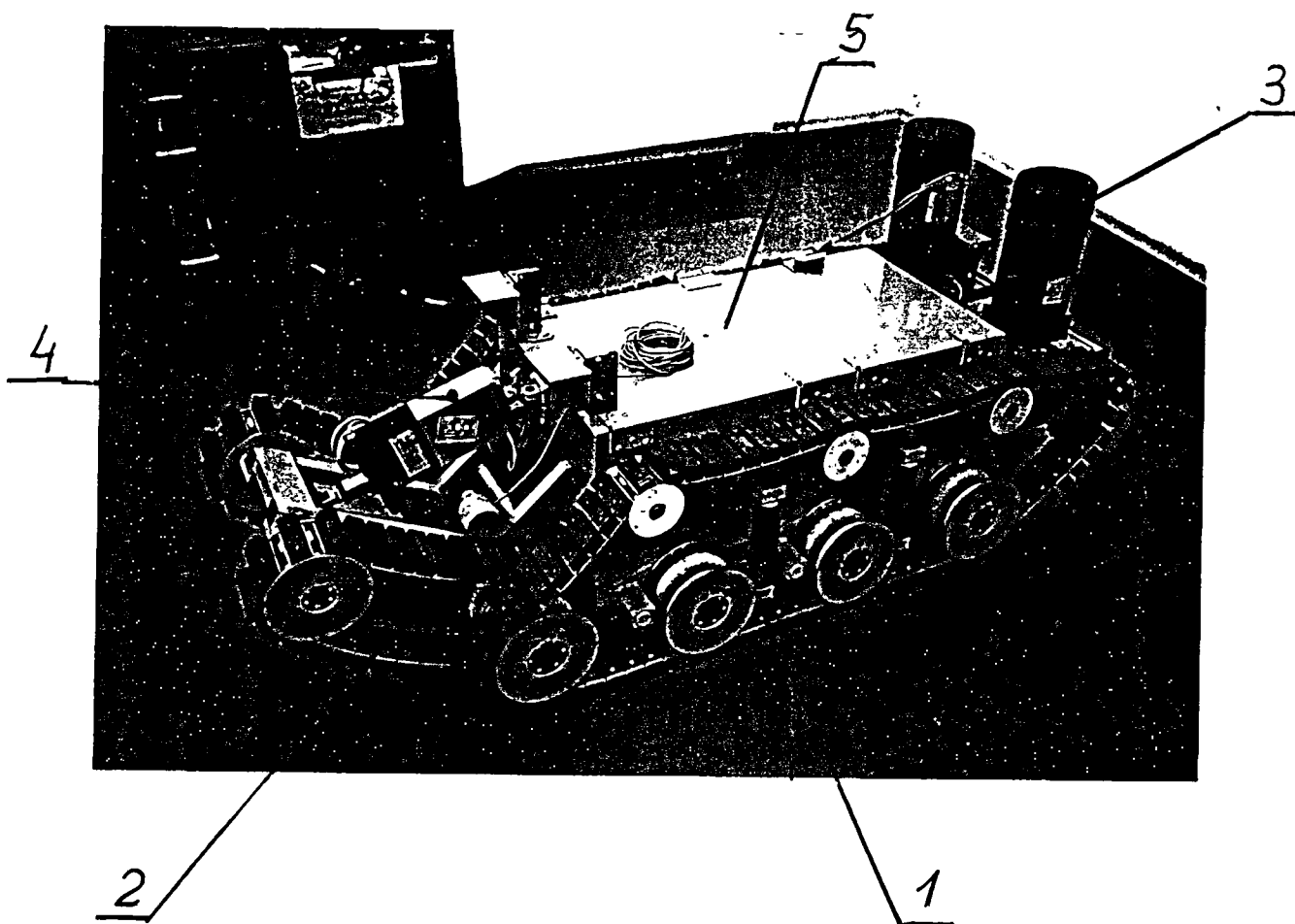
Rys.1. Robot interwencyjno inspekcyjny

1-kamera, 2-kamera, 3-chwytnik, 4-antena, 5-ramię górne,
6-antena, 7-antena, 8-monitor, 9-kabel (opcja), 10-pulpit operatora .



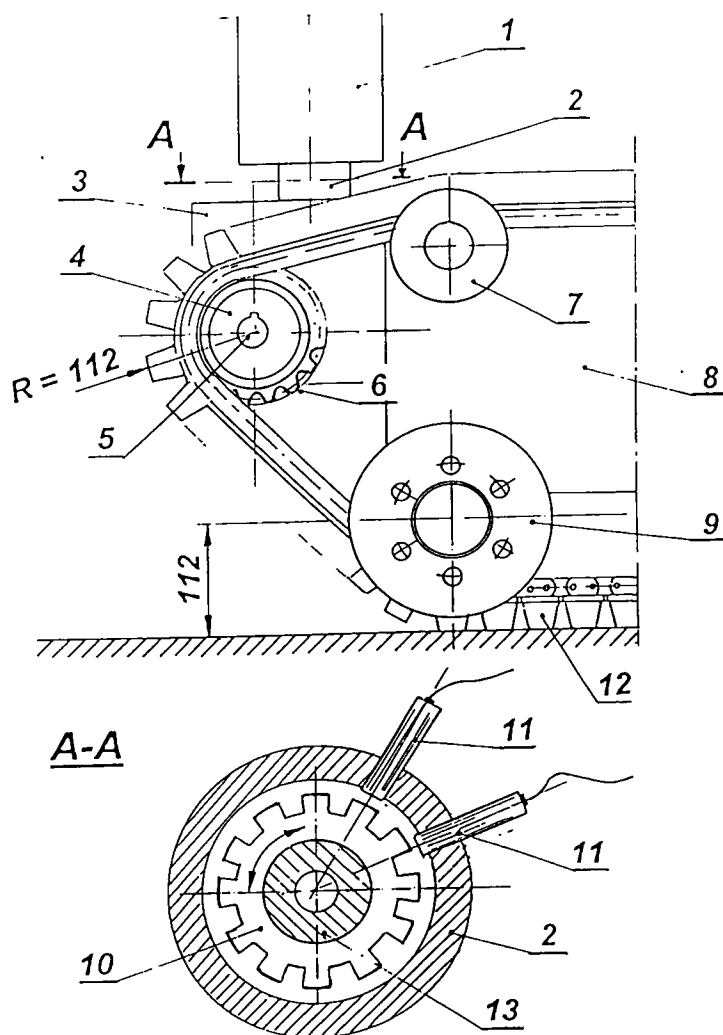
Rys. 2 .Robot interwencyjno inspekcyjny

*1-baza mobilna,2-obrotowa podstawa manipulatora,3-korpus,
4-ramię dolne,5-ramię górne,6-osłona czujników,
7-przegub osi,8-osłona czujników.*



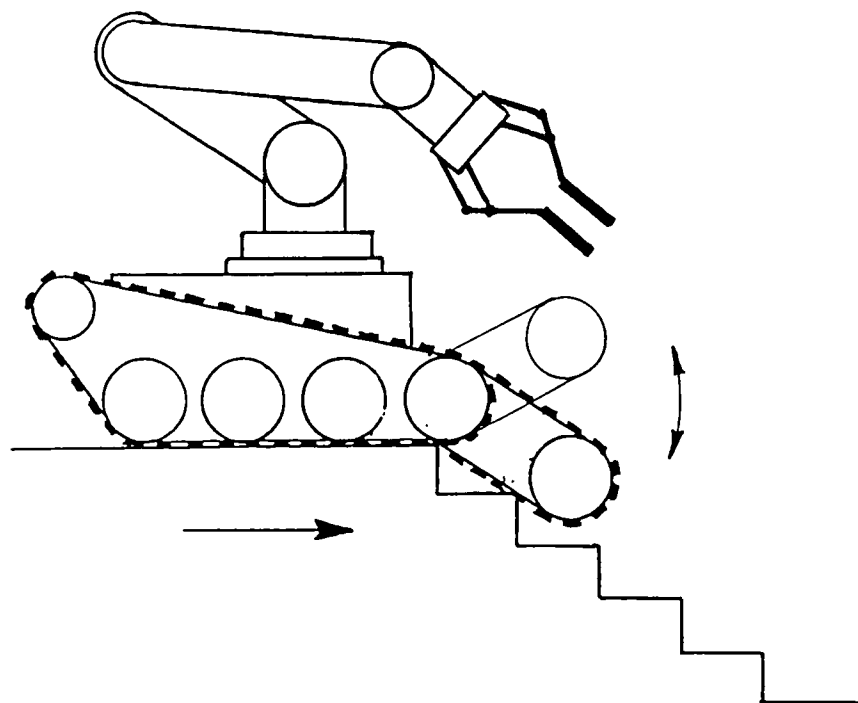
Rys. 3. Baza mobilna

1-gąsienica, 2-gąsienica przednia, 3-silnik napędu gąsienic,
4-siłownik liniowy, 5-korpus bazy mobilnej.



Rys. 4 .Układ przeniesienia napędu gaśnic, oraz czujniki odometryczne

1-silnik, 2-kołnierz mocowania silnika, 3-przekładnia redukcyjna, 4-sprzęgło, 5-wał przekładni redukcyjnej, 6-koło napędowe, 7-rolka podtrzymująca, 8-korpus bazy mobilnej, 9-koło jezdne, 10-tarcza impulsowa, 11-indukcyjny czujnik zbliżeniowy, 12-gaśienica, 13-wał silnika.

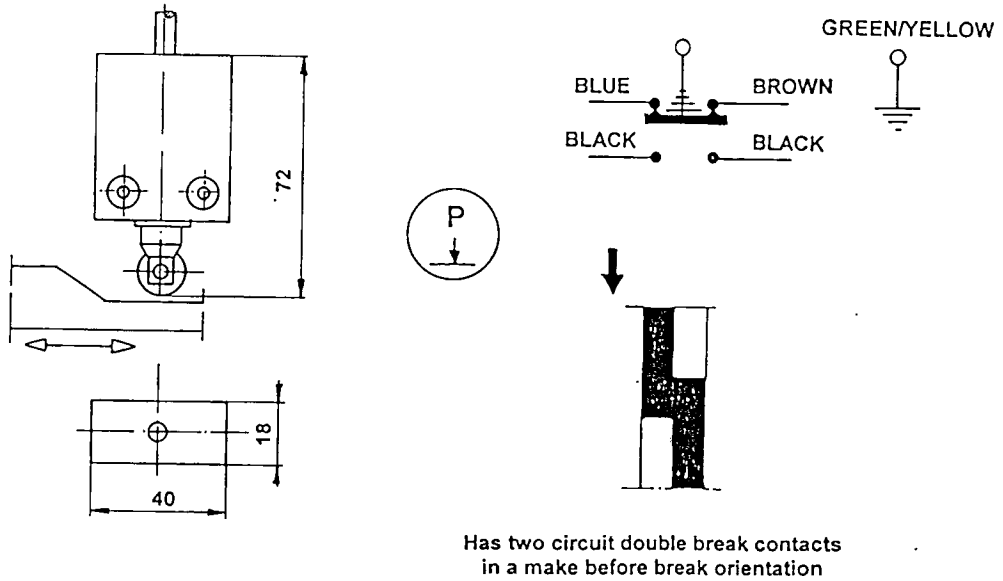


Rys. 5. Ustawienie gąsienic przednich przy zjeździe w dół.

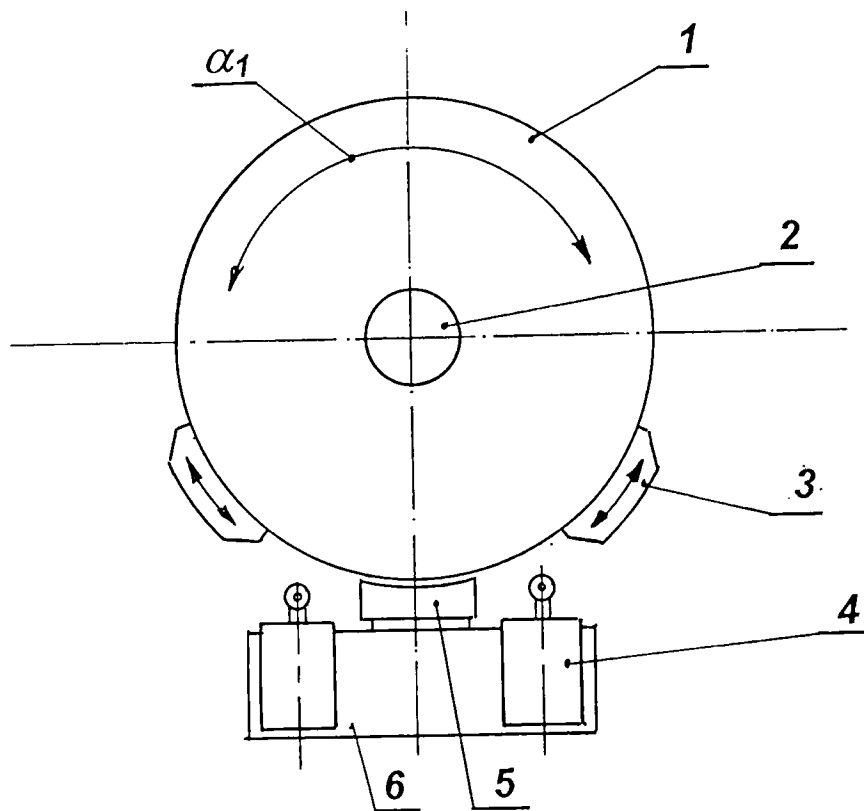


Rys. 6 .Interfejs mechaniczny robota.

MINIATURE ENCLOSED SAFETY SWITCH
WITH POSITIVE OPENING OPERATION
HONEYWELL SERIES 24CE

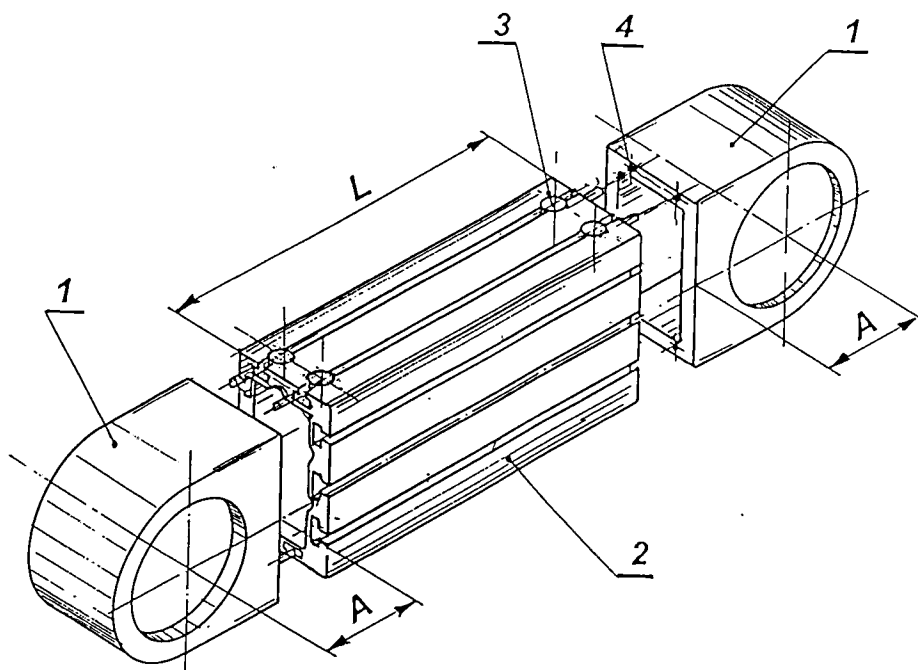


Rys. 7 .Czujnik bezpieczeństwa.



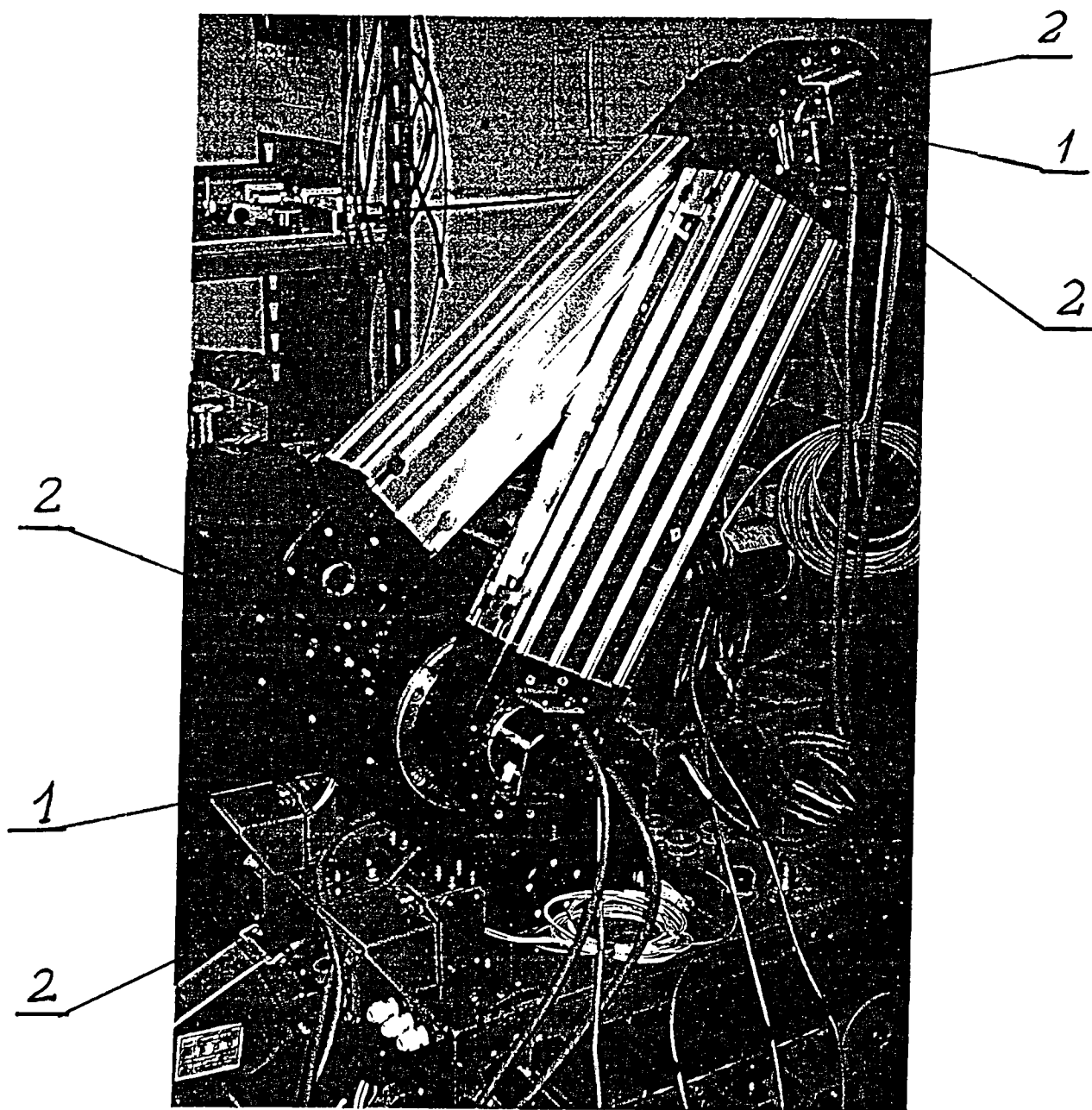
Rys. 8. Obrotowa podstawa

1-tarcza, 2-czujnik kąta obrotu (wał czujnika zamocowany nieruchomo), 3-zderzak, 4-czujnik bezpieczeństwa, 5-nieruchomy zderzak, 6-wspornik.



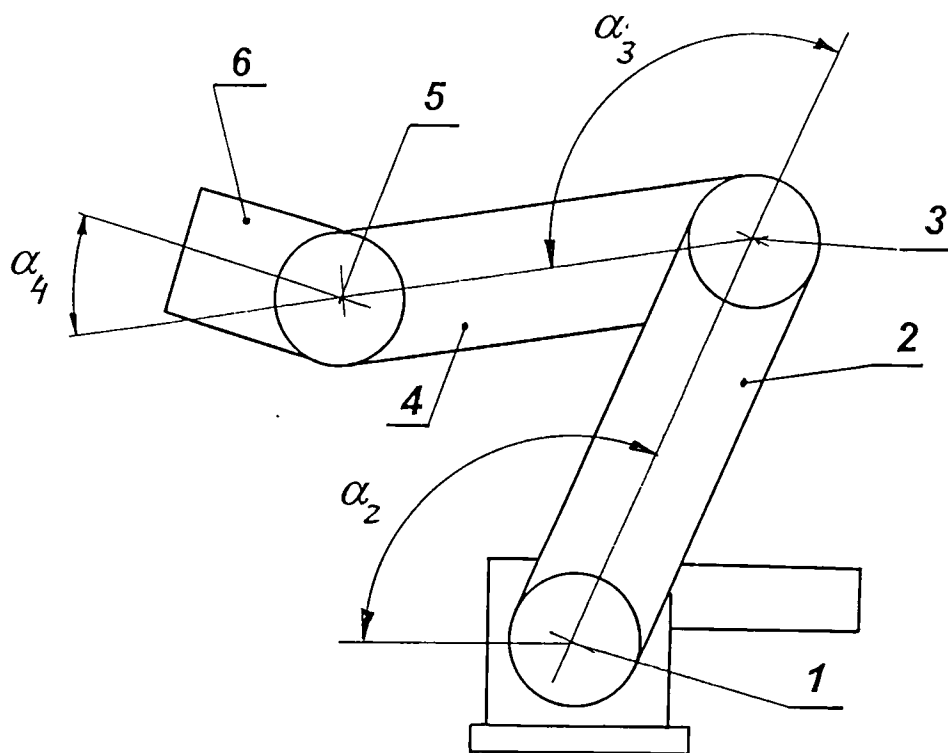
Rys.9 .Ramię manipulatora

*1-piasta, 2-kształtownik, 3-element mocujący,
4-otwory mocowania.*



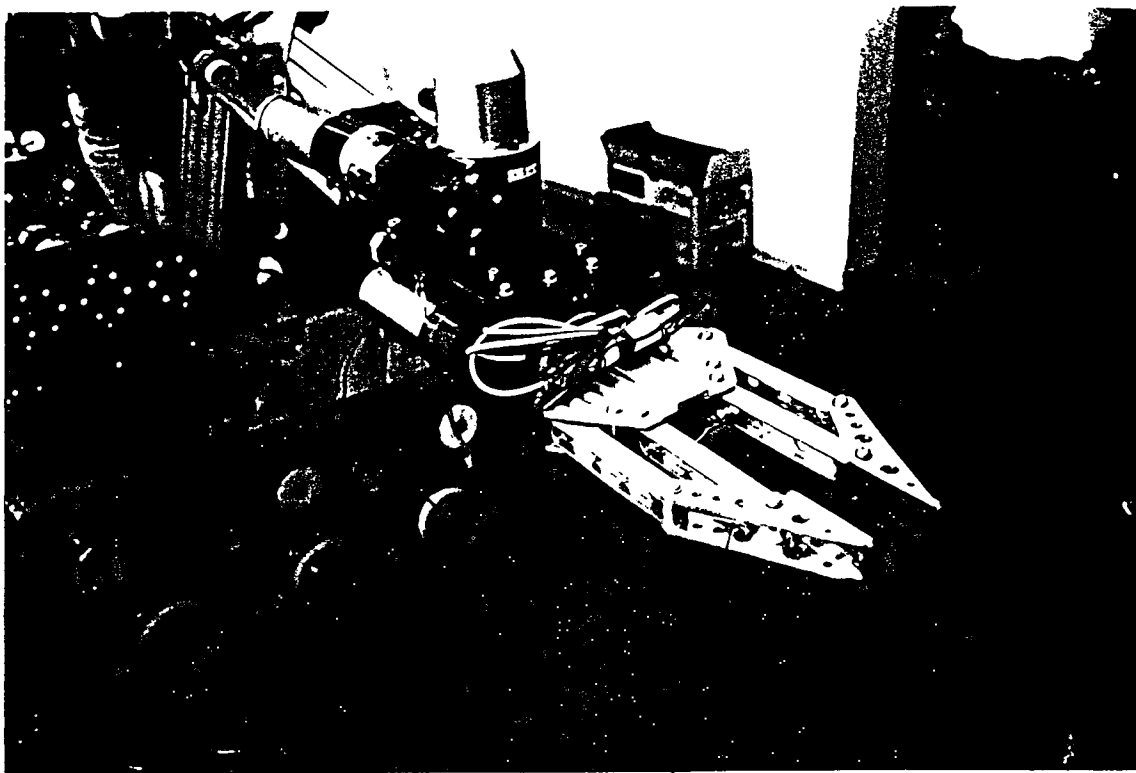
Rys.10. Usytuowanie czujników ramion manipulatora

*1-indukcyjny, analogowy czujnik kąta obrotu,
2-czujniki bezpieczeństwa.*

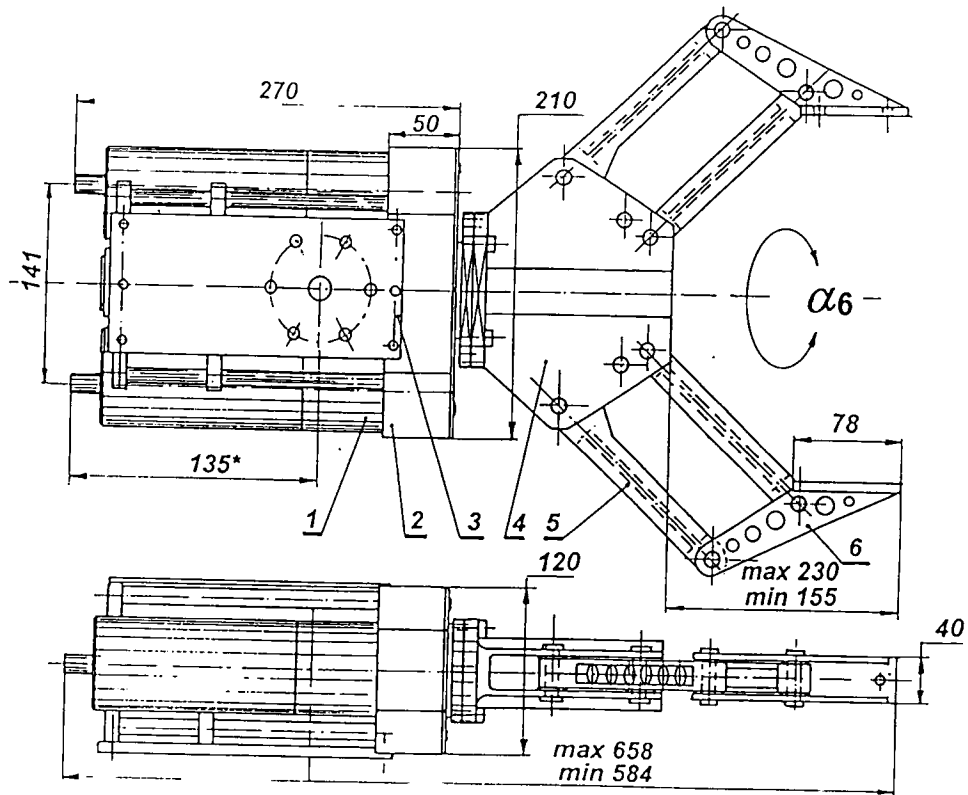


Rys.11. Pomiar kątów położenia ramion manipulatora

1-przegub ramienia dolnego, 2-ramię dolne, 3-przegub ramiona górnego, 4-ramię górne, 5-przegub nadgarstka, 6-nadgarstek.

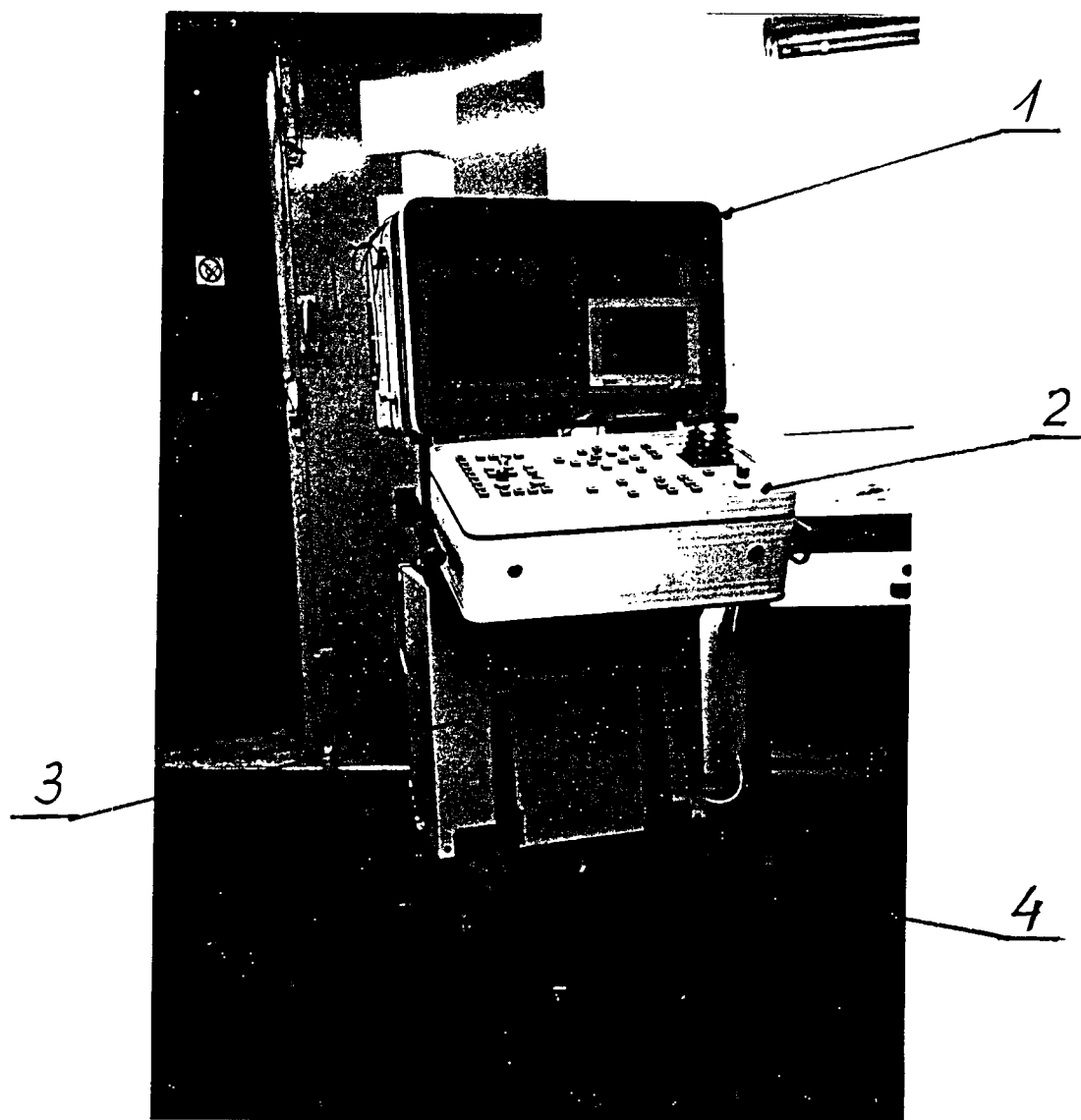


Rys.12. Chwytnik



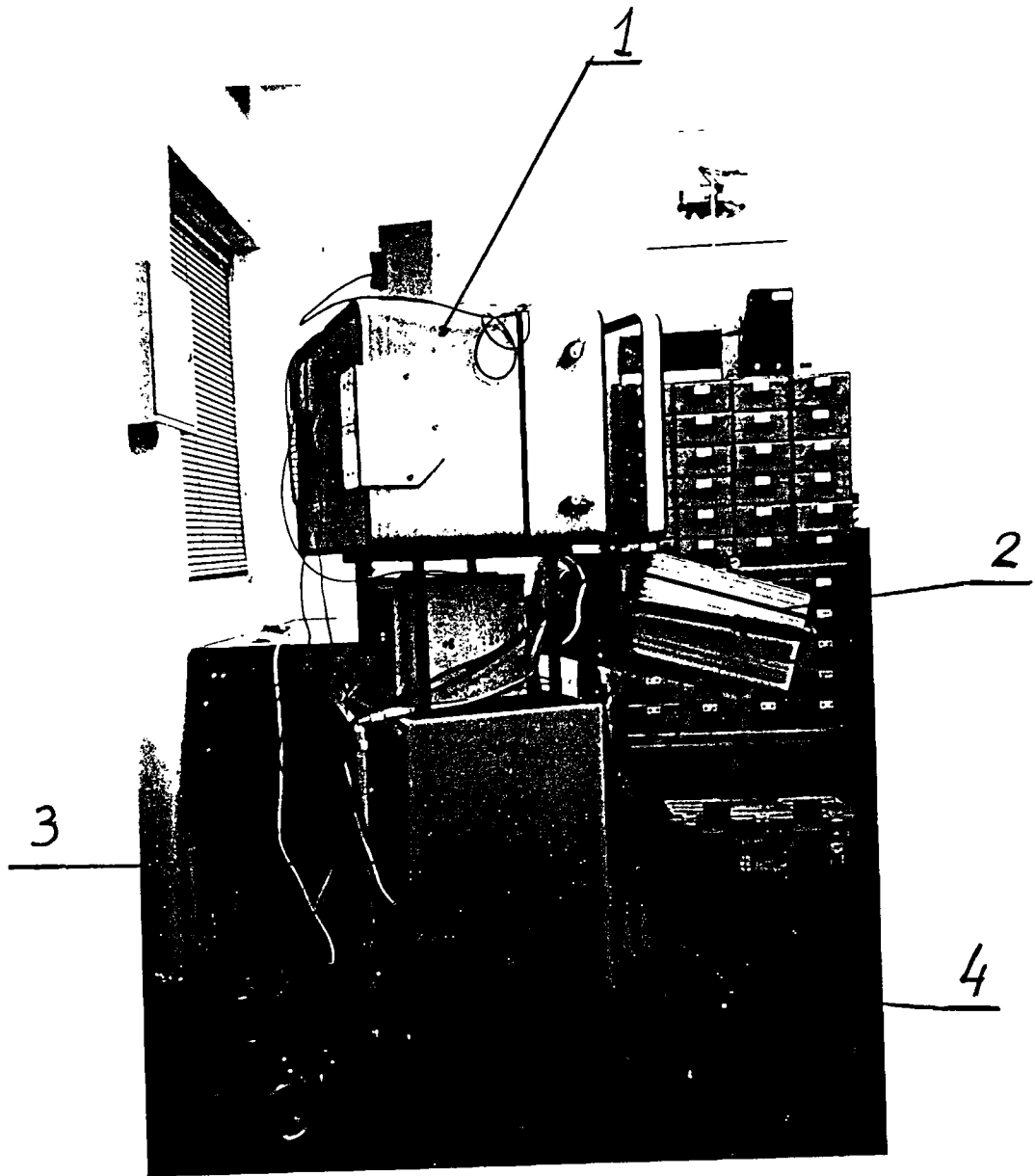
Rys.13. Chwytnik

1-silnik, 2-korpus, 3-płyta mocowania, 4-korpus zespołu ruchu szczęk, 5-ramię, 6-szczeka.

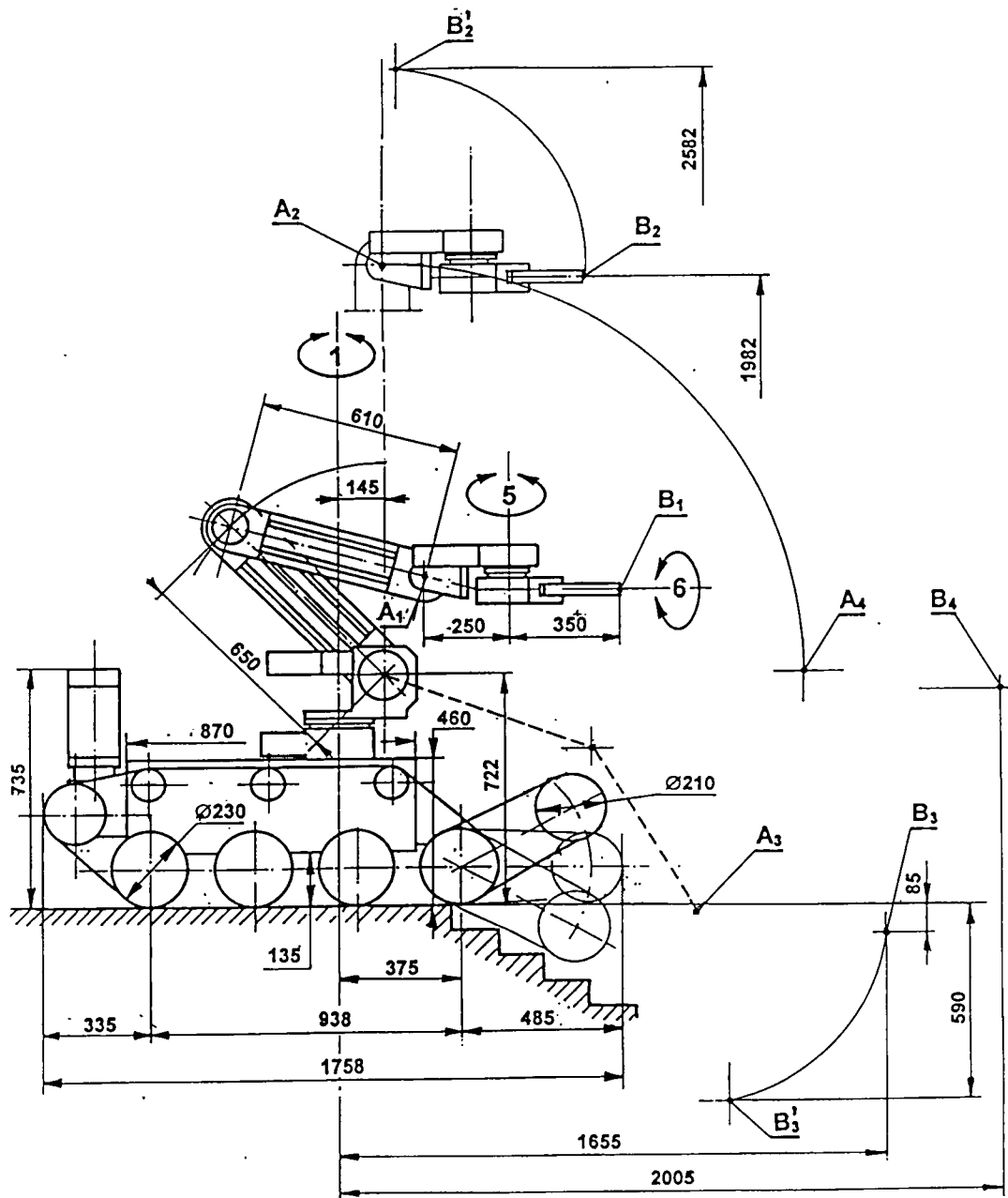


Rys.14 .Przewoźne stanowisko operatora

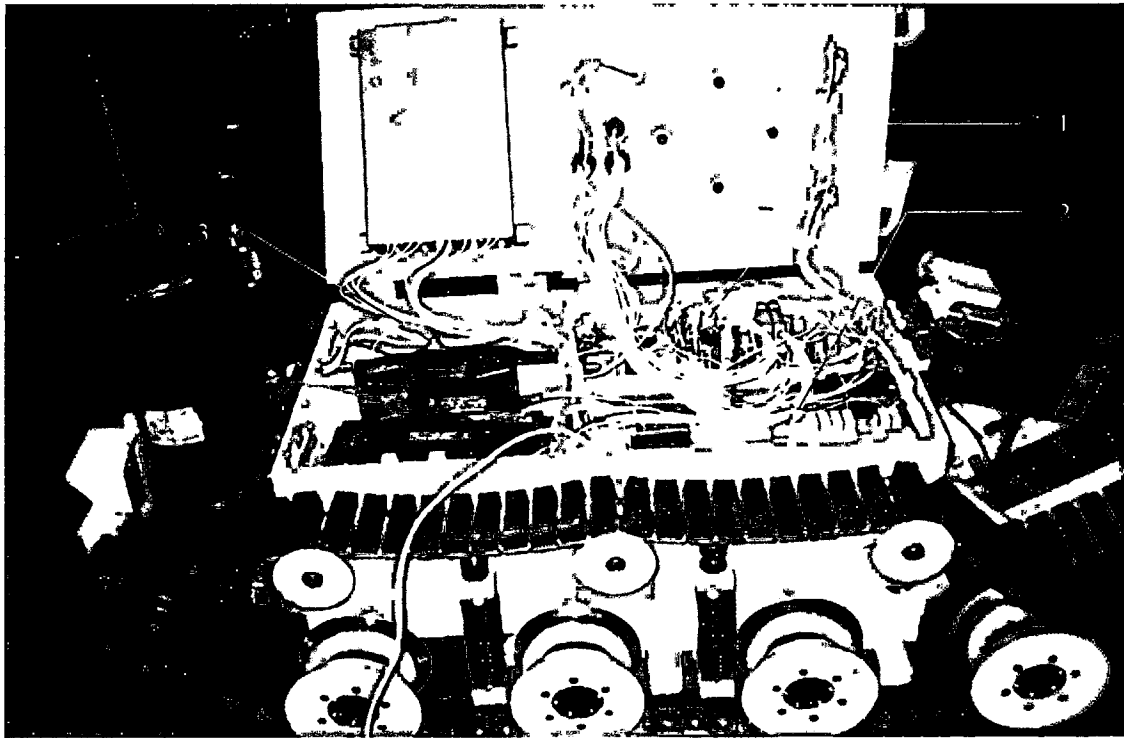
1-obudowa monitorów,2-pulpit operatora,3-obudowa,4-wózek.



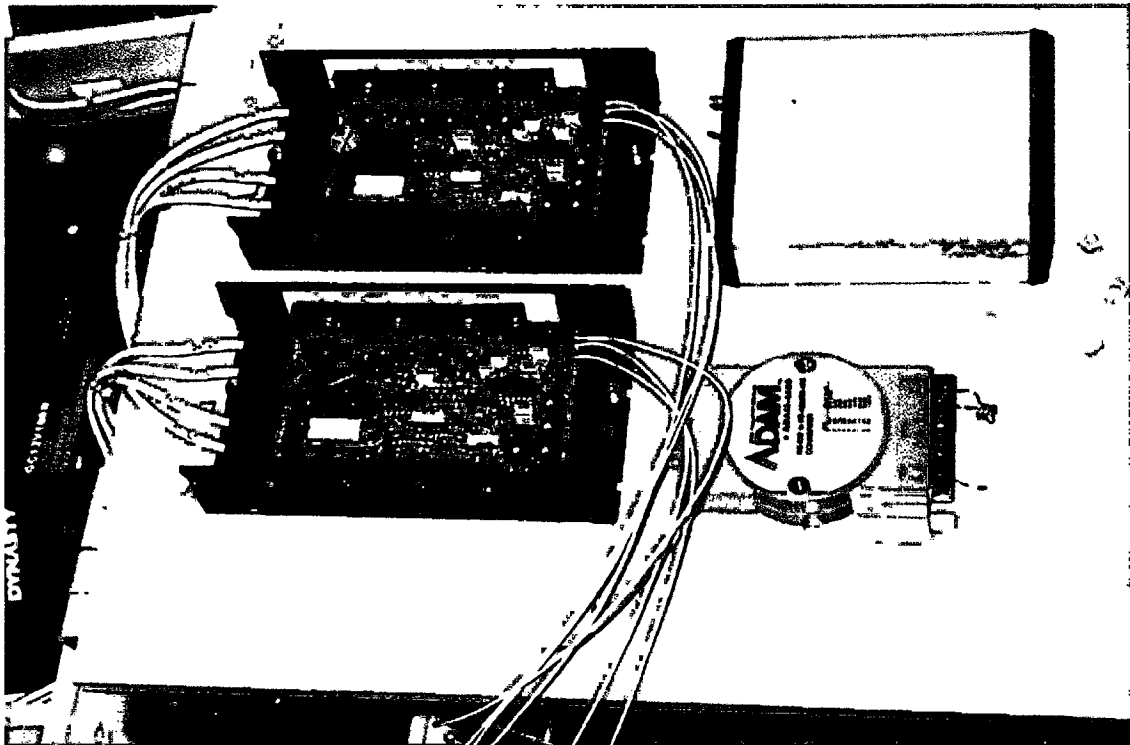
Rys.15. Przewoźne stanowisko operatora (opis wg rys.



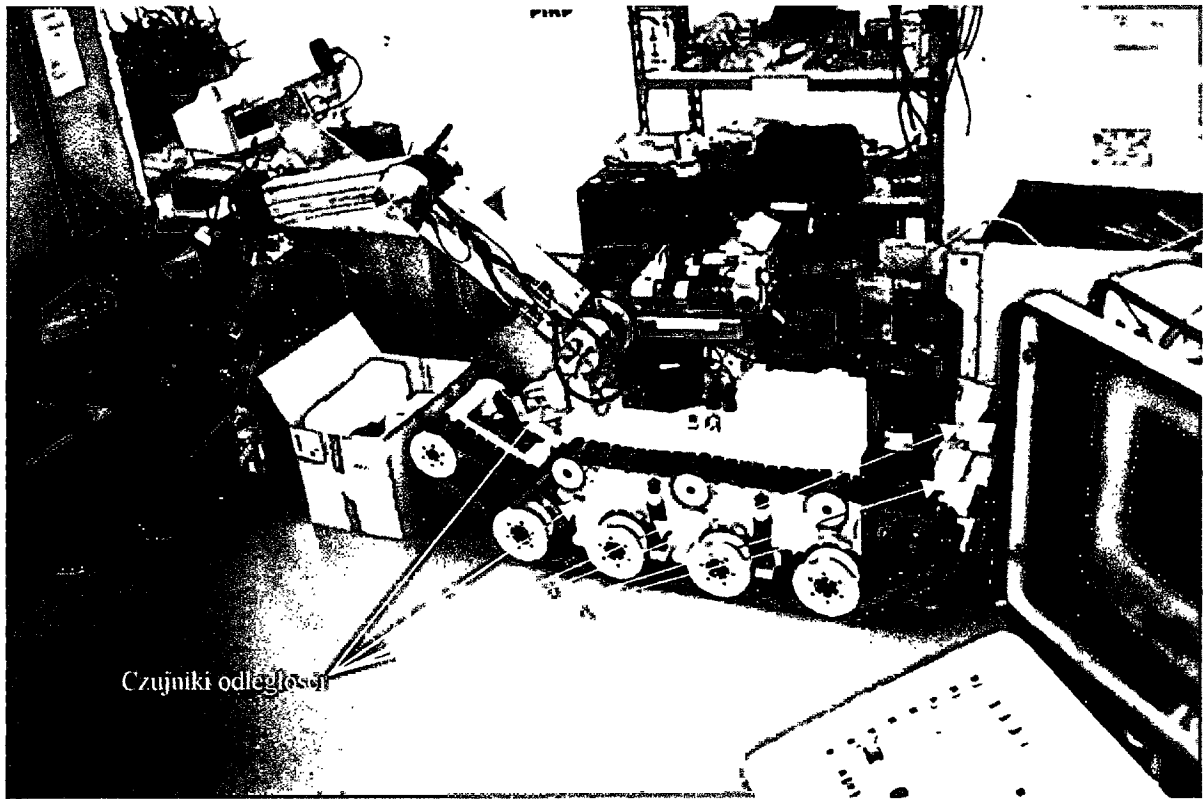
Rys.16. Główny wymiary robota.



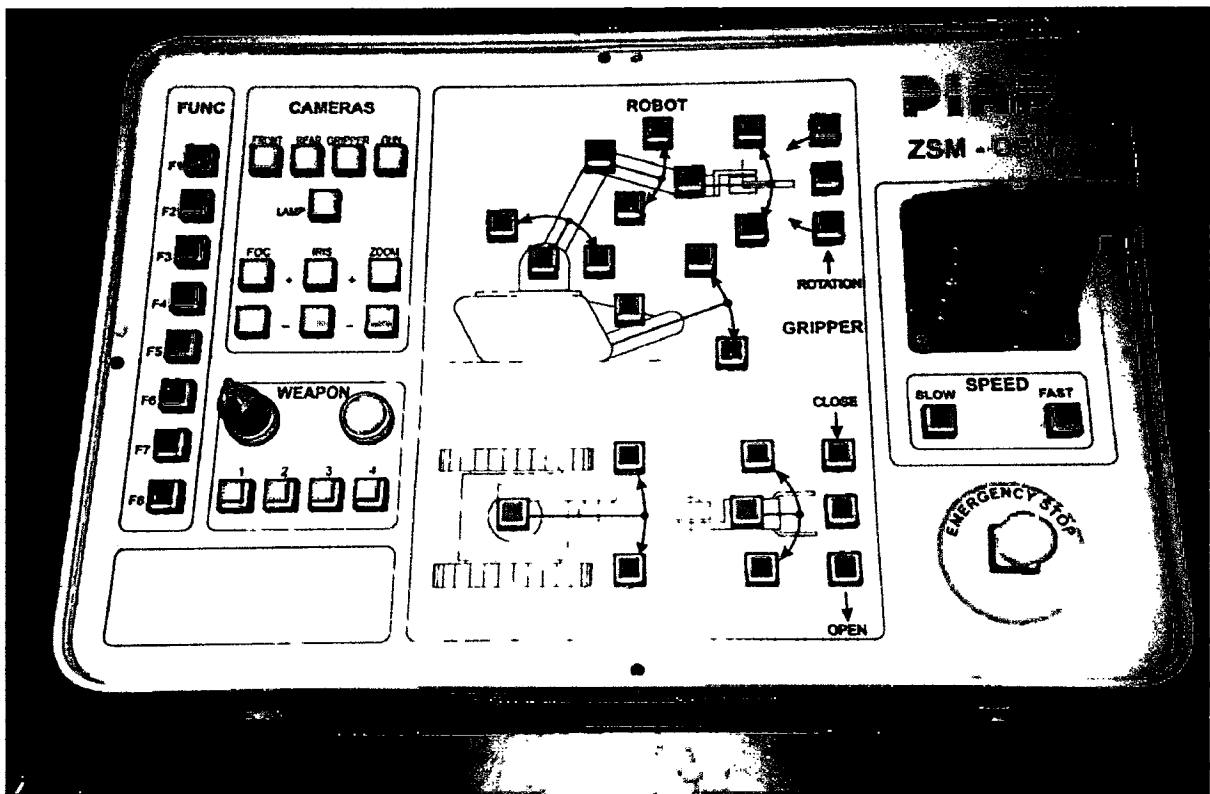
Rys.17 Elektroniczne układy sterowania i kontroli robota



Rys.18 Modemy

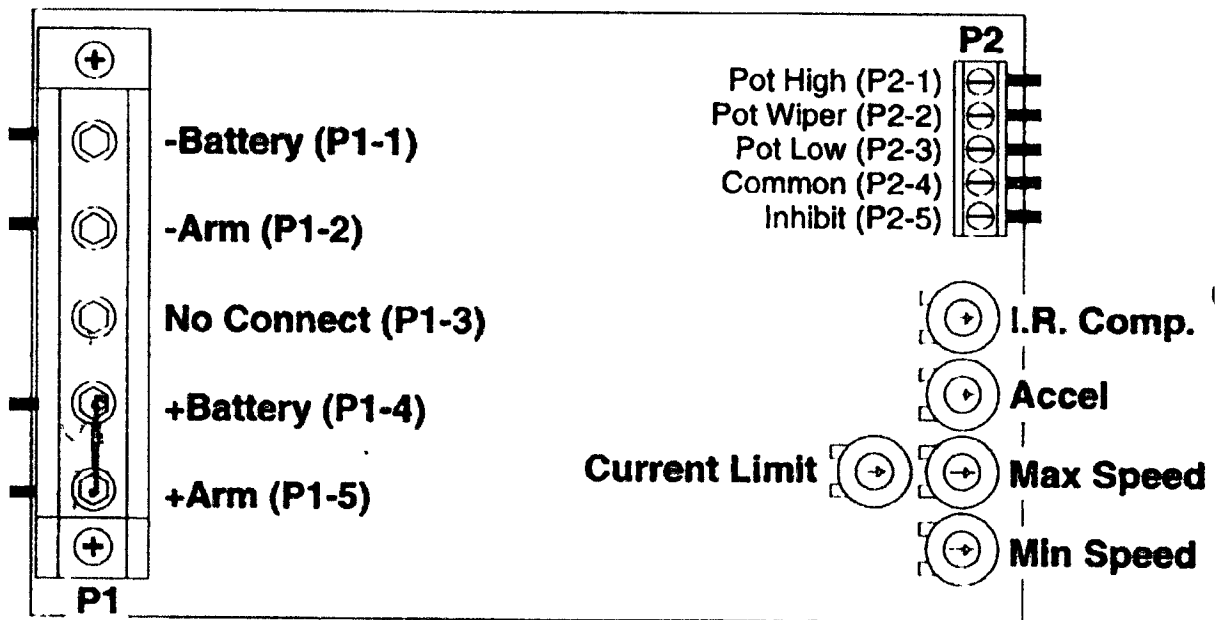


Rys.19 Czujniki odległości

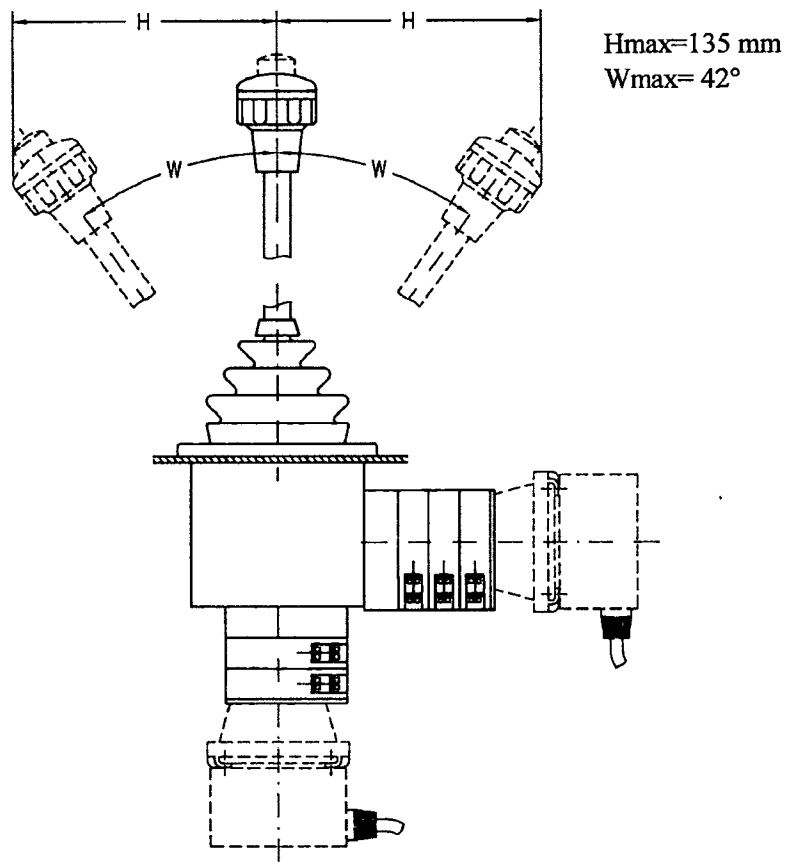


Rys.20. Pulpit sterujący

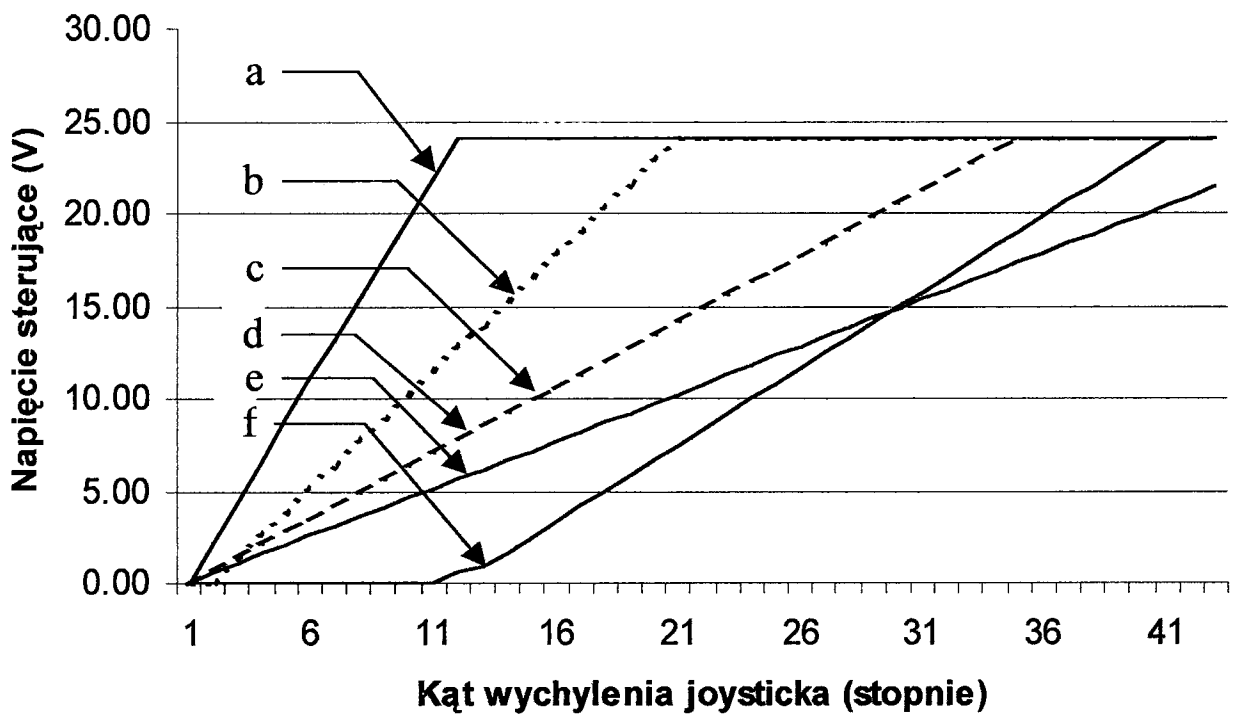
44



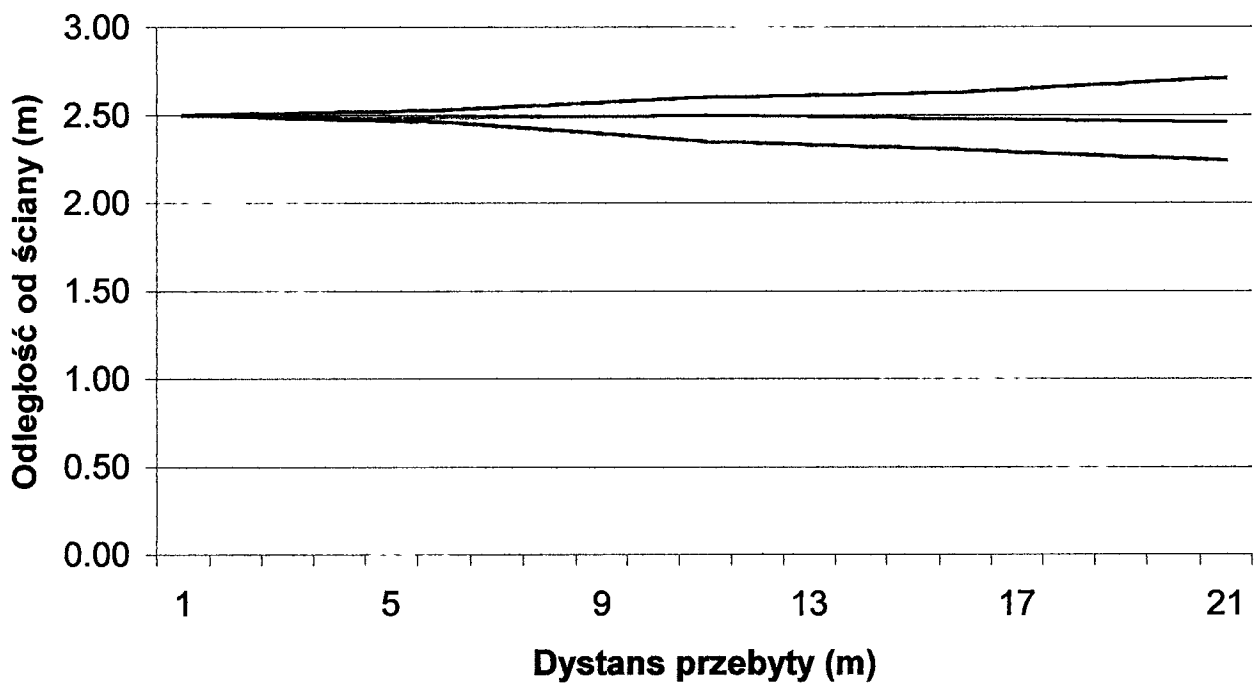
Rys.21 Sterowniki napędów gaśnic SpeedMaster



Rys.22 Joystick

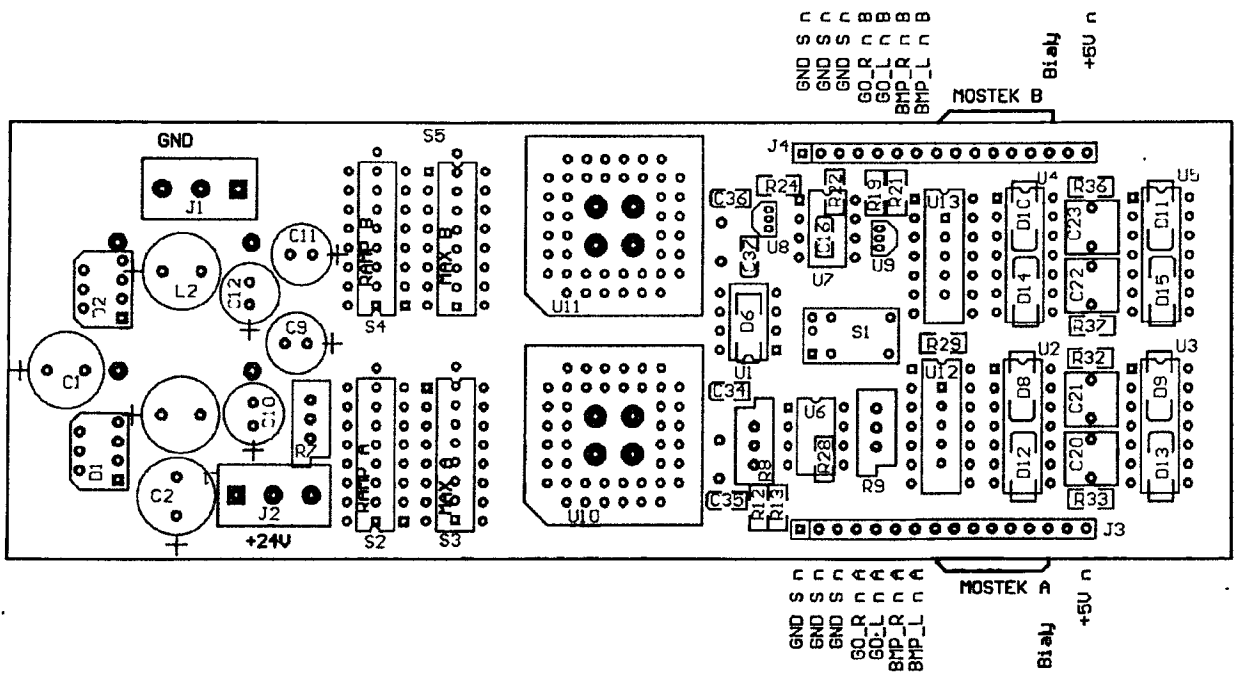


Rys. 23 Charakterystyki sterowania joystickiem

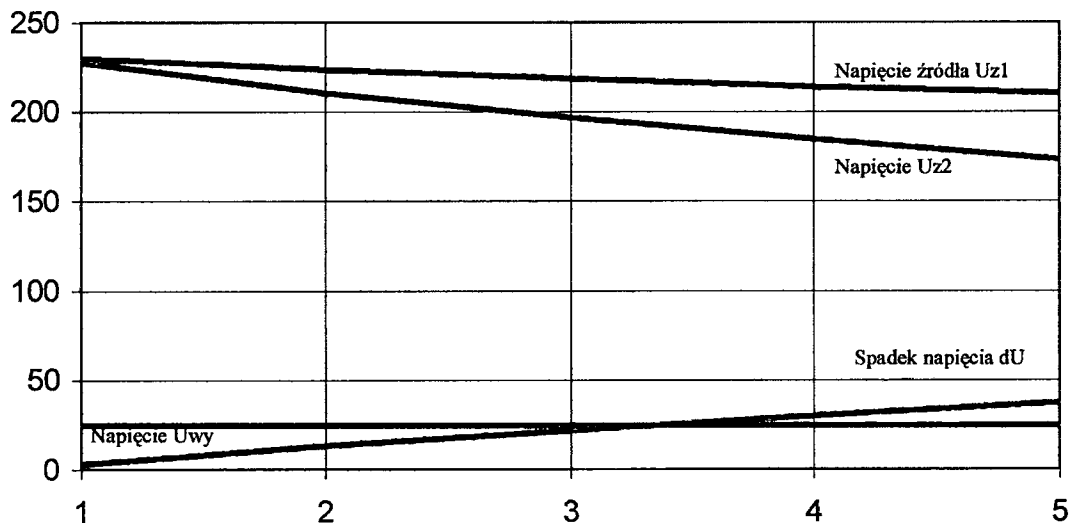


Rys.24 Zmiany kierunku ruchu robota w funkcji odległości

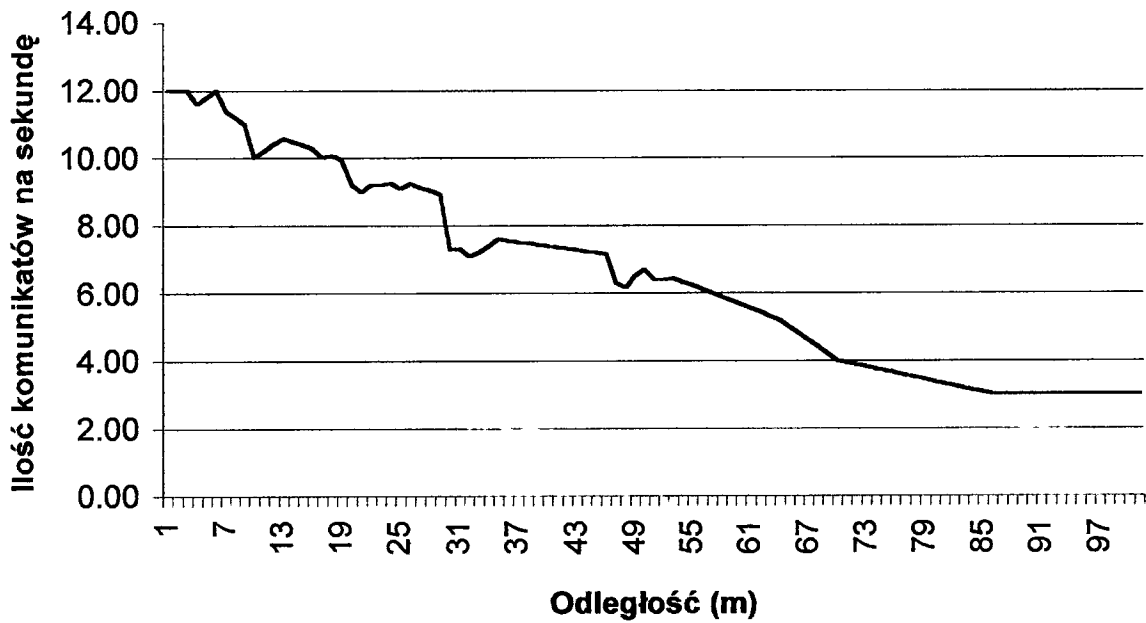
Widok od strony DIP-switch



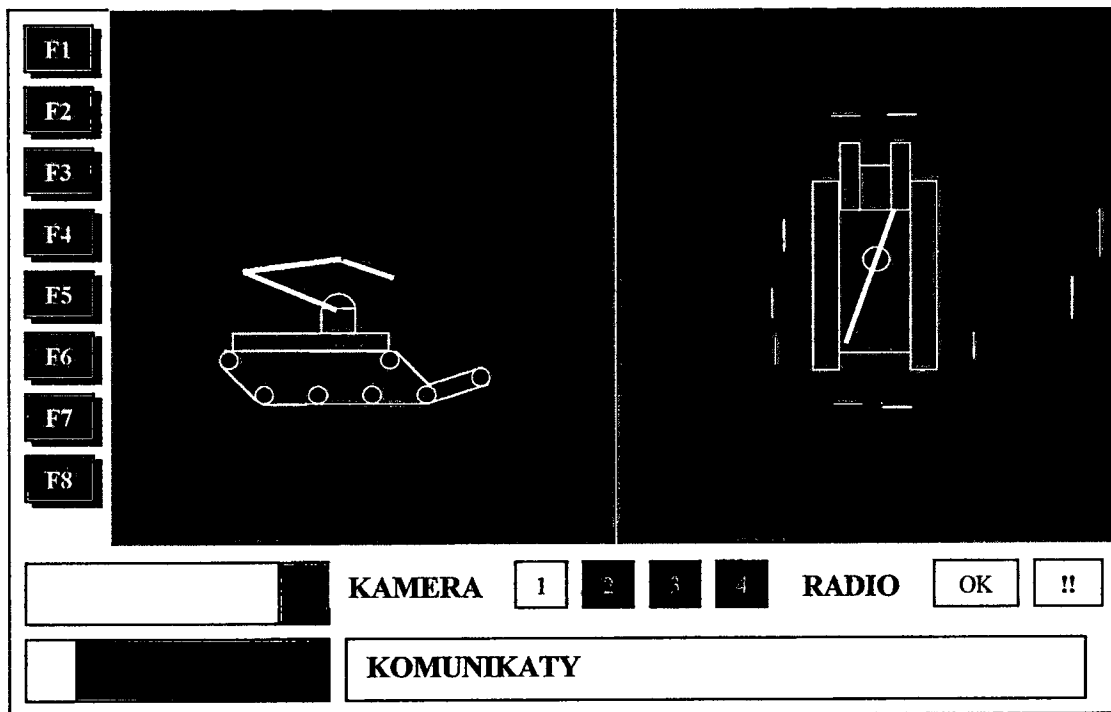
Rys.25 Rozmieszczenie elementów regulacyjnych w sterowniku silników manipulatora



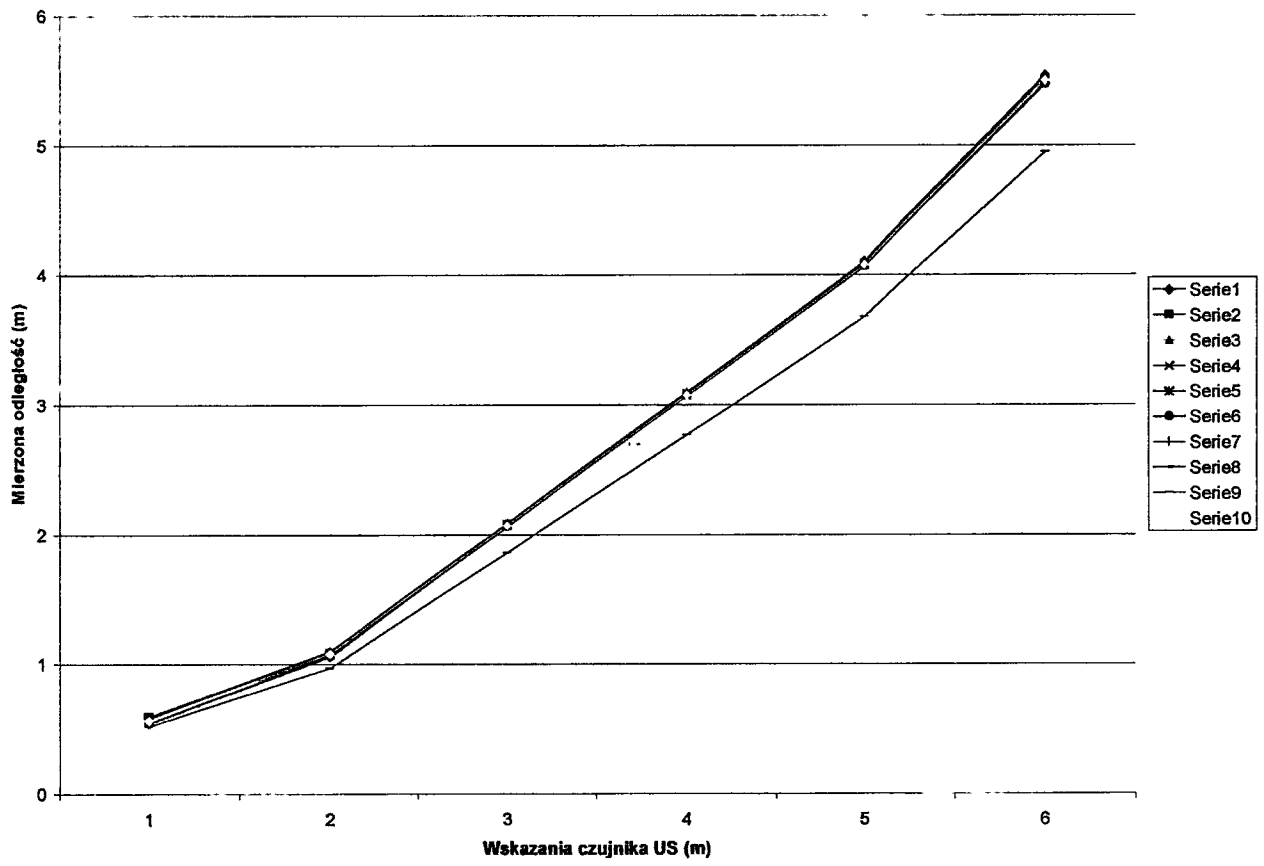
Rys.26 Zmiany napięć w obwodzie zasilania kablowego w funkcji zmian obciążenia



Rys. 27 Spadek prędkości transmisji danych w funkcji odległości od stanowiska operatora



Rys.28 Wizualizacja danych na cyfrowym monitorze pomocniczym



Rys.29 Wskazania czujników ultradźwiękowych