

6007

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW  
MERA-PIAP  
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

Ośrodek Badań Niezawodności i Jakości

Pracownia Diagnostyki i Badań Robotów

LHO  
Główny wykonawca

Wykonawcy mgr inż.inż. K.Domański, Sł.Groszyk, J.Skrzeczkowski

Konsultant

Nr zlecenia  
RP-28

Opracowanie nowoczesnych metod badań robotów przemysłowych oraz wykonanie stanowisk badawczych.

3.6.

Opracowanie metodyki pom.powtarzalności położenia zerowego części manipulacyjnej robota, niezbędnego do wykorzystania różnych funkcji robotów przemysłowych.

Zleceniodawca

Pracę rozpoczęto dnia 88.01.10

Kierownik Pracowni

Z-ca Dyrektora  
d/s Pomiarów

zakończono dnia 88.02.12

Kierownik Ośrodka

12  
mgr inż. J.Skrzeczkowski

dr inż. St.Budzyński

dr inż. J.Winiecki

Praca zawiera:

stron 12

rysunków 16

fotografii

tabel 2

tablic

załączników

Rozdzielnik - ilość egz:

Egz. 1 BOINTE

Egz. 2 OBN

Egz. 3 OAR

Egz. 4 OAP

Egz. 5 WP

Egz. 6 IMP

Nr rejestr. 6007

1

## Analiza deskryptorowa

ROBOTY PRZEMYSŁOWE: BADANIA

### Analiza dokumentacyjna

Praca zawiera opis metody powtarzalności położenia zerowego /kalibracji/ części manipulacyjnych robotów IRp oraz wykaz urządzeń i przyrządów kontrolno-pomiarowych użytych do wykonania pomiaru.

### Tytuły poprzednich sprawozdań

RP-28 zad.2.1. Opracowanie metod pomiaru oraz wykonanie projektu wstępnego stanowiska do badań przestrzeni roboczej, powtarzalności pozycjonowania, dokładności odtwarzania zaprogramowanego toru ruchu oraz stałości parametrów w czasie. - nr rej. 5834.

338.45:62/69].001.1/2 <sup>001.5</sup> Roboty przemysłowe  
- badania

UKD

PIAP-252/83-6000

## Spis treści

1. Wstęp
2. Wymagania dotyczące kalibracji robotów IRp
  - 2.1. Wymagania dotyczące kalibracji części manipulacyjnej robotów IRp-6, IRp-6W, IRp-6L, IRp-10
  - 2.2. Wymagania dotyczące kalibracji części manipulacyjnej robotów IRp-60
  - 2.3. Wymagania dotyczące kalibracji części manipulacyjnej robotów IRp-60Z /z szóstą osią/
  - 2.4. Określenie wymagań dotyczących przyrządów pomiarowych
3. Metody kalibracji
  - 3.1. Metoda kalibracji części manipulacyjnej robotów standardowych
  - 3.2. Metoda kalibracji części manipulacyjnej robotów IRp
4. Ocena metody
5. Wykaz literatury

## 1. Wstęp

Rozwój technologii wytwarzania stwarza potrzebę stosowania coraz doskonalszych robotów przemysłowych wyposażonych w układy sterowania pozwalające realizować różne złożone funkcje.

Opracowane i oprogramowane w MERA PIAP nowe układy sterowania IRp-6 i IRp-60 umożliwiają realizację przez roboty takich funkcji, jednak zapewnienie odpowiedniej dokładności i powtarzalności odtwarzania zaprogramowanego ruchu wymaga jednoznacznego określenia położenia początkowego poszczególnych ramion robota. Chodzi tu o dokładne określenie wzajemnego usytuowania ramion robota, czyli o pomiar kątów między jego ramionami. Czynność precyzyjnego ustawienia w określonym położeniu ramion robota i wpisania informacji do programu sterującego nazywamy kalibrowaniem. Sprawdzenie kalibracji polega na ustawieniu w położeniu zerowym /kalibracji/ części manipulacyjnej, kontroli położenia ramion przy użyciu przyrządów pomiarowych i porównaniu wartości położzeń osi /w inkrementach/ z wartościami zapisanymi w programie sterującym .

Wprowadzone wartości położzeń osi dla pozycji kalibracji przy przyjętym w programie sterującym idealnym modelu kinematyki robota decydują o dokładności realizacji takich funkcji jak zaprogramowany ruch po linii prostej ze stałą lub zmienną orientacją osi narzędzia lub zachowanie stałego położenia punktu TCP narzędzia przy zadanej zmianie orientacji jego osi. Ważne jest aby położenie osi określone w inkrementach odpowiadało w sposób jednoznaczny zdefiniowanemu położeniu ramienia.

Najprostsze do zdefiniowania są położenia poziome i pionowe ramion. Wymaga to jednak zainstalowania robotą na wypoziomowanej podstawie.

Niniejsze opracowanie opisuje dotychczas stosowane metody kalibracji robotów oraz podaje metodę sprawdzania kalibracji na projektowanym w OBN stanowisku badawczym.

## 2. Wymagania dotyczące kalibracji robotów IRp

Wymagania dotyczą części manipulacyjnej i obowiązują przy badaniu następujących nowych funkcji robotów IRp:

- spr. zmian położenia punktu TCP przy zmianach orientacji osi narzędzia pomiarowego,

- spr. zmian orientacji osi narzędzia pomiarowego w ruchu prostoliniowym
- spr. odchylenia punktu TCP w ruchu prostoliniowym.

### 2.1. Wymagania dotyczące kalibracji części manipulacyjnej robotów IRp-6, IRp-6W, IRp-6L, IRp-10

Przy wykonywaniu badań nowych funkcji, wymienionych w p.2 przyjmuje się następujące warunki kalibracji części manipulacyjnej /rys.1/:

- oś  $\varphi$  jest prostopadła do poziomo usytuowanej podstawy robota
- ramię dolne  $\theta$  /płaszczyzna przechodząca przez osie  $\theta$  i  $\alpha$  / jest prostopadła do podstawy robota
- ramię górne /płaszczyzna przechodząca przez osie  $\alpha$  i  $t$  / usytuowane jest poziomo
- przegub  $t$  - jest pochylony o  $77^\circ$  względem płaszczyzny przechodzącej przez osie  $\alpha$  i  $t$
- oś  $\nu$  zajmuje położenie, w którym kołek ustalający odchylony jest o  $42^\circ$  względem pionu..

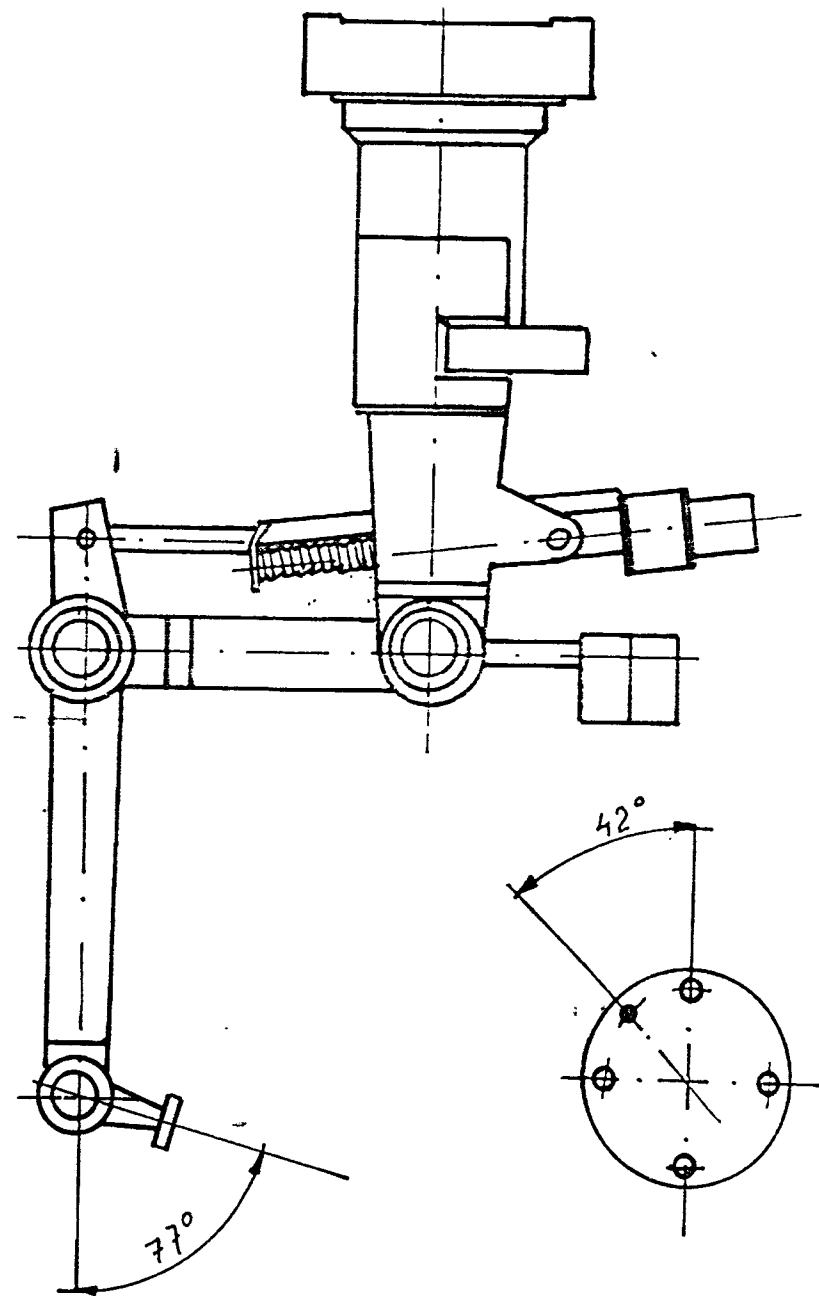
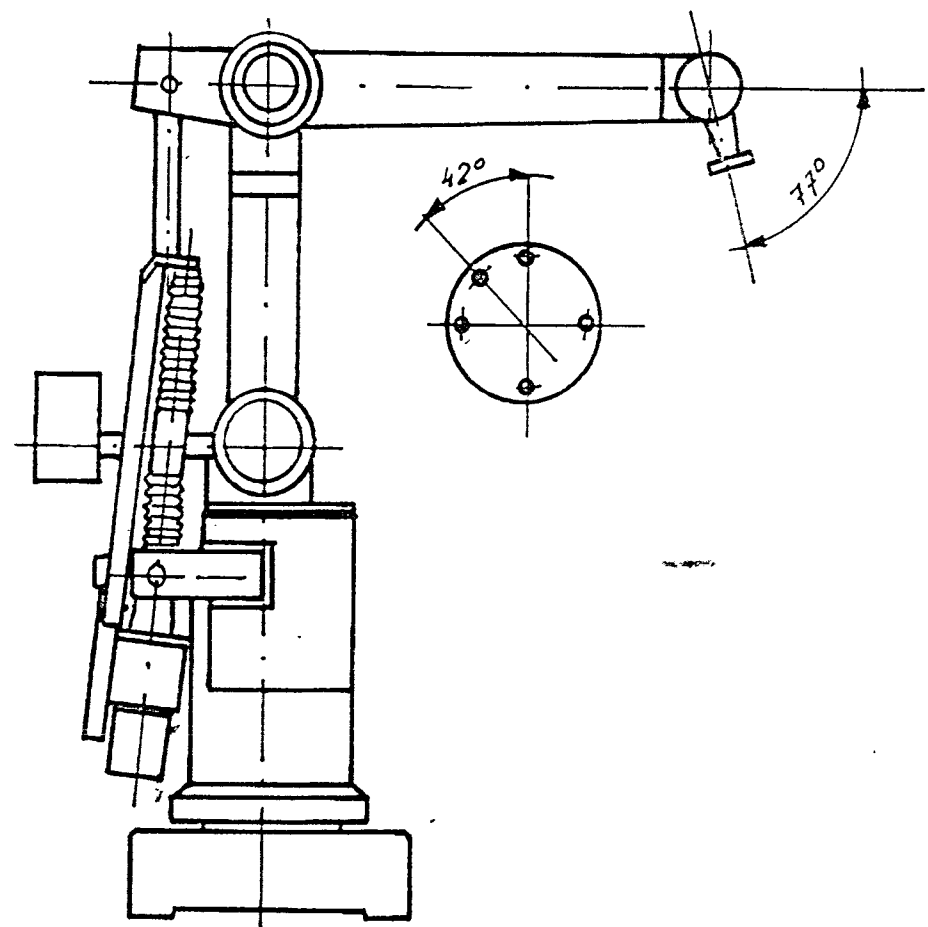
### 2.2. Wymagania dotyczące kalibracji części manipulacyjnej robotów IRp-60

Dla tego robota przyjęto następujące warunki kalibracji części manipulacyjnej /rys.2/:

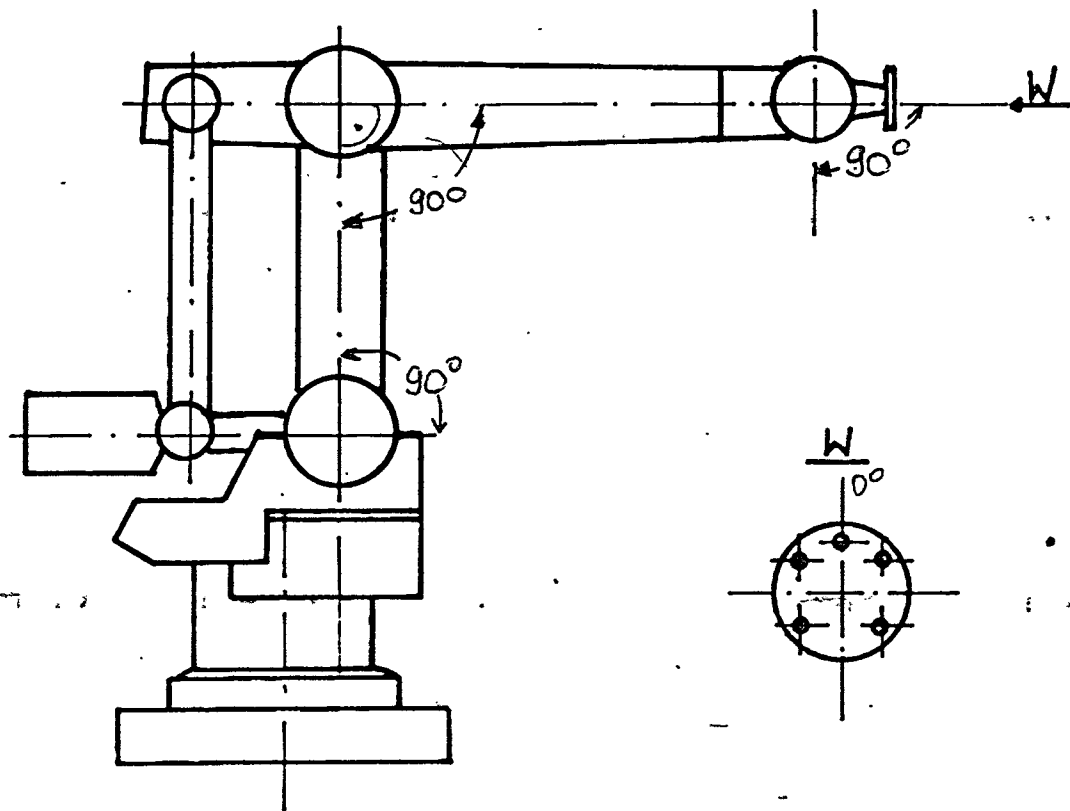
- oś  $\varphi$  jest prostopadła do poziomo usytuowanej podstawy robota
- ramię dolne  $\theta$  /płaszczyzna przechodząca przez osie  $\theta$  i  $\alpha$  / prostopadła do podstawy robota
- ramię górne  $\alpha$  /płaszczyzna przechodząca przez osie  $\alpha$  i  $t$  / usytuowana jest poziomo
- przegub  $t$  jest poziomy - na przedłużeniu linii łączącej osie  $\alpha$  i  $t$
- oś  $\nu$  - w położeniu zerowym z kołkiem ustalającym leżącym w płaszczyźnie wyznaczonej przez osie  $\varphi$  i  $\nu$

### 2.3. Wymagania dotyczące kalibracji części manipulacyjnej robota IRp-60 z szóstą osią /rys.3/

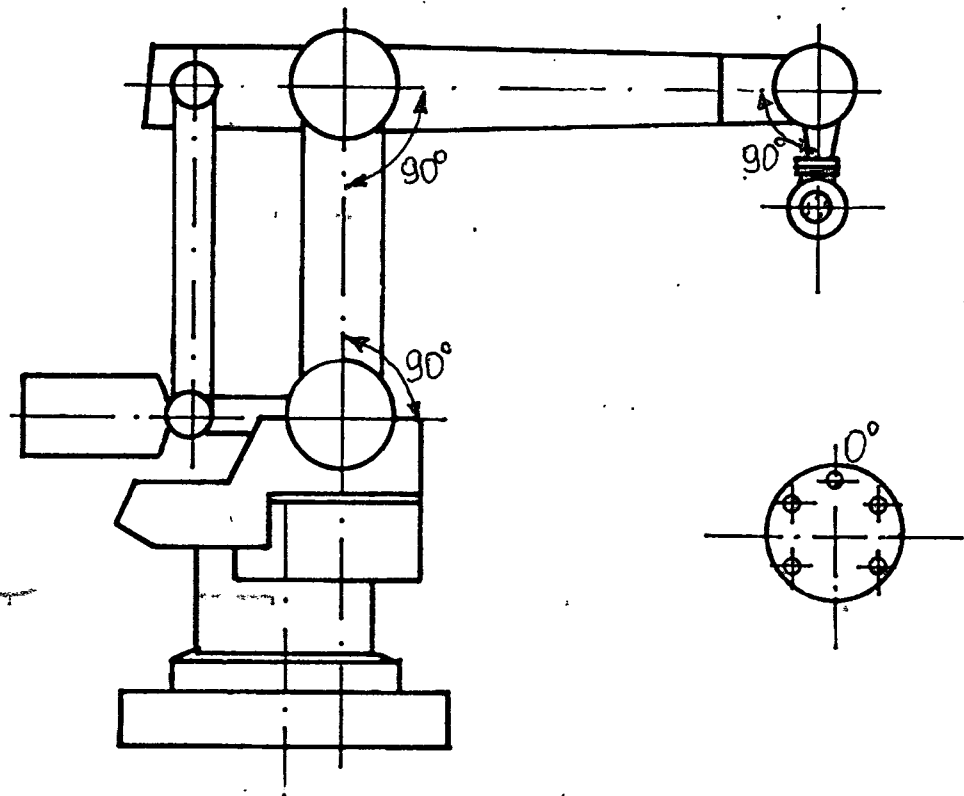
- oś  $\varphi$  - jest prostopadła do do poziomo usytuowanej podstawy robota



Rys. 1. Położenie kalibracji części manipulacyjnej robotów IRp-6, IRp-6L, IRp-10, IRp-6W



Rys. 2. Położenie kalibracji części manipulacyjnej robota IRp-60



Rys. 3. Położenie kalibracji części  
manipulacyjnej robota IRp-602  
(z szóstą osią)



Oś	1 obrót silnika (360°)		1 inkrement robota		1 inkrement rezolwera	
	JRp-6	JRp-60	JRp-6	JRp-60	JRp-6	JRp-60
$\varphi$	2,28°	1,8°	32,04"	25,31"	8,01"	6,33"
$\theta$	2,05°	1,27°	28,78"	17,86"	7,19"	4,46"
$\alpha$	2,05°	1,27°	28,78"	17,86"	7,19"	4,46"
$t$	2,81°	1,8°	39,55"	25,31"	9,89"	6,4"
$v$	4,74°	3,15°	1,11"	43,96"	16,65"	10,99"

Przełożenie katowe dla JRp-6 i JRp-60

Tabela 1

- ramię dolne  $\theta$  /płaszczyzna przechodząca przez osie  $\theta$  i  $\alpha$  /  
jest prostopadła do podstawy robota
- ramię górne  $\alpha$  /płaszczyzna przechodząca przez osie  $\alpha$  i  $t$  /  
usytuowana jest poziomo
- przegub  $t$  - pionowo /pochylony w dół/
- oś  $\psi$  w położeniu zerowym
- szóstą oś - pozioma

#### 2.4. Określenie wymagań dotyczących przyrządów pomiarowych

Przy sterowaniu inkrementami - jednemu inkrementowi odpowiada dla różnych osi i różnych robotów obrót o kąt od  $17,86''$  do  $1,11'$  /tabela 1/. Wartości te wyliczono przy założeniu, że luzy zwrotne przekładni falowych są równe 0.

Dokładność ustawienia ramion robota w określonym położeniu /kalibracja robota/ zależy w dużym stopniu od luzu zwrotnego przekładni.

Wartości dopuszczalnych luzów zwrotnych dla przekładni falowych, stosowanych w robotach przemysłowych podaje tabela 2.

Tabela 2

Wartości luzu zwrotnego przekładni falowych, stosowanych w robotach przemysłowych IRp-6, IRp-6L, IRp-6W, IRp-10, IRp-60Z /z szóstą osią/

Typ prze- kładni	Moment w Nm	Luz zwrotny zależny od wykonania /w sek/			Strata sprężysto- ści /w min/
		I /st/	II /5/	III /3/	
PDFK-70 /1:128/	25	90	50	30	5
PDFK-110 /1:158/	100	90	50	30	5
PDFK-170 /1:200/	400	90	50	30	5

Z obliczeń wynika, że maksymalna niedokładność ustawienia osi może się wahać od  $1,5'$  dla osi  $\psi$  wszystkich robotów do  $2,52'$  dla osi  $\psi$  robota IRp-6 i  $2,60'$  dla tej samej osi robota IRp60. Jak wynika z badań powtarzalności pozycjonowania, w wyniku kasowania się luzów mechanicznych przez oddziaływanie mas ramion niedokładność ustawienia osi jest zbliżona do wartości inkrementu /elementarnego obrotu/. Do kalibrowania części manipula-

cyjnej /do określania poziomu i pionu/ należy użyć przyrządu o dokładności odczytu nie mniejszej niż 17".

### 3. Metody kalibracji

Konstrukcja robota powinna umożliwiać:

- wykonanie kalibracji przez producenta jako etap końcowy obejmujący uruchomienie i zestrojenie układu sterowania z częścią manipulacyjną
- wykonanie sprawdzenia i korekcji kalibracji przez użytkownika np. po wymianie elementu łańcucha kinematycznego robota
- wykonanie sprawdzenia kalibracji na stanowisku przed przystąpieniem do badań nowych funkcji.

Zakłada się, że dla nowych robotów pozycją kalibracji będzie pozycja jego synchronizacji. Wymaga to przestawienia przez producenta wyłączników synchronizacji tak, aby ich zadziaływanie następowało w położeniu kalibracji. Końcowe, precyzyjne ustawienie w określonym położeniu powinno być wykonane przez obrót rezolwera.

W przypadku ustawienia rezolwerów przy załączonym układzie sterowania na GOTOWOSC /wyłączone napędy/ niezbędne będzie wykonanie i użycie dodatkowego osprzętu mechanicznego pozwalającego na utrzymanie ramion  $\theta$  i  $\alpha$  robota w wymaganym położeniu.

Należy zachować możliwość aktualizowania pozycji kalibracji przez wprowadzenie z panelu programowania nowych wartości położenia poszczególnych osi. Pozwoli to użytkownikowi na skorygowanie pozycji kalibracji np. po wymianie uszkodzonych podzespołów części manipulacyjnej.

#### 3.1. Metoda kalibracji części manipulacyjnej robotów standardowych IRb

Dla zapewnienia poprawnej współpracy części manipulacyjnej robota standardowego IRb z nowym układem sterowania przy realizacji nowych funkcji kalibrację wykonuje się przy pomocy specjalnie zaprojektowanego osprzętu.

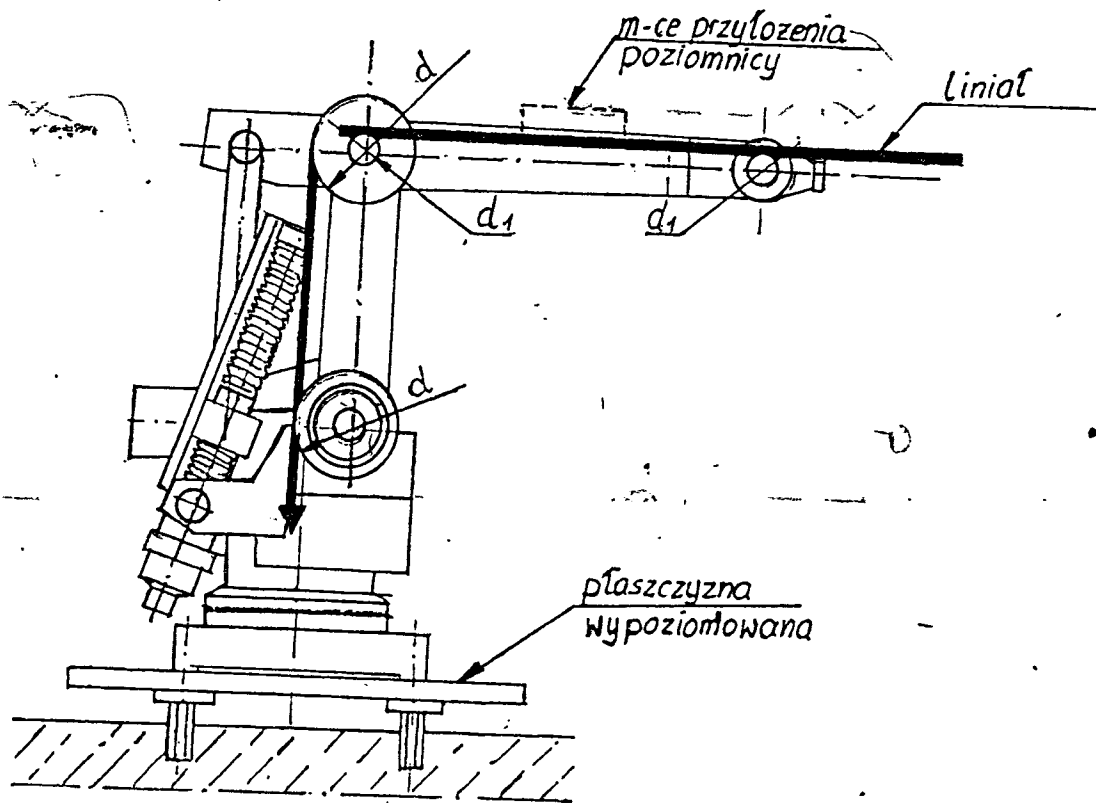
Zasadę kalibracji robota przedstawia rys.4. Do kalibracji użyto:

- poziomicy ramowej MPSr-200-0,02 mm/m
- przewodnicy okrągłej robota PR-02 jako liniału ?
- tarczy o średnicy zewnętrznej  $\phi d$  / równej średnicy kołnierza silnika napędowego ramienia  $\theta$  , wyposażonej w trzpień pomiarowy o średnicy  $\phi d_1$  , zamocowanej w gnieździe łożyskowym przegubu ramion
- tarczy z trzpieniem pomiarowym o średnicy  $\phi d_1$  , zamocowanej w gnieździe łożyskowym przegubu ramion  $\alpha$  i  $\theta$
- tarczy z trzpieniem do kalibracji przegubu  $t$
- głowicy z pryzmą do kalibracji osi  $v$
- zestawu płaskowników /liniałów/, trzpieni gwintowanych, nakrętek i podkładek do wypoziomowania podstawy robota .

Kalibrację robota przeprowadzono w następującej kolejności:

- ustawienie podstawy robota na uprzednio wypoziomowanych listwach i przymocowanie go do podłoża za pomocą śrub fundamentowych, w wyniku czego uzyskano pionowe usytuowanie osi  $\varphi$  , dla tego położenia odczytano POZ.SYN. $\varphi$  ,
- ustawienie w pozycji pionowej ramienia  $\theta$  przy pomocy poziomicy i przewodnicy robota PR-02 , przyłożonej do zewnętrznych powierzchni tarczy w przegubie  $\theta, \alpha$  / oraz kołnierza silnika napędowego ramienia, dla tego położenia odczytano POZ.SYN. $\theta$
- ustawienie w pozycji poziomej ramienia  $\alpha$  przy pomocy poziomicy i przewodnicy robota PR-02, ułożonej na trzpieniach pomiarowych tarcz przymocowanych w przegubach ramion  $\theta$  i  $\alpha$  oraz  $\alpha$  i  $t$  , dla tego położenia odczytano POZ.SYN. $\alpha$
- ustawienie w pozycji  $\theta$  ramienia  $t$  przy pomocy poziomicy i przykręconej do przegubu robota tarczy z trzpieniem pomiarowym; dla tego położenia odczytano POZ.SYN. $t$  .
- ustawienie w pozycji  $\theta$  ramienia  $v$  przy pomocy poziomicy i specjalnej głowicy przykręconej do kołnierza robota, wyposażonej w pryzmę precyzyjnie ustalającą położenie osi narzędzia pomiarowego; dla tego położenia odczytano POZ.SYN. $v$

Opisany wyżej sposób kalibracji jest b.pracochłonny i wymaga użycia specjalnie wykonywanych tarcz metalowych, o znacznych masach, powodujących niepożądane odkształcenia sprężyste ramion robota, zwłaszcza ramienia  $\alpha$  , wpływające ujemnie na dokładność kalibracji. O ile zastosowaniu tego sposobu do kalibracji kilku robotów w warunkach laboratoryjnych było spowodowane celem wykona-



Rys. 4. Szkic przedstawiający zasadę kalibracji robota

nia badań nowych funkcji robotów IRp, to wykorzystanie go w warunkach eksploatacyjnych u różnych użytkowników robotów nie znajduje żadnego uzasadnienia.

### 3.2. Metoda kalibracji części manipulacyjnej robotów IRp

Dla wykonania kalibracji części manipulacyjnej robotów IRp przewidziano wykonanie w procesie produkcyjnym baz pomiarowych na powierzchniach zewnętrznych ramion  $\varphi$ ,  $\theta$  i  $\alpha$  oraz na podstawie robota. Bazy pomiarowe stanowią nakładki, przykręcane, a docelowo odlewane na ramionach, poddane obróbce mechanicznej /frezowaniu/ wspólnie z obróbką ramienia. Powierzchnia obrobiona nakładki /nadlewu/ na ramieniu  $\varphi$  tworzy kąt prosty z osią tego ramienia. Powierzchnia nakładki na ramieniu  $\theta$  jest równoległa do płaszczyzny przechodzącej przez osie  $\theta$  i  $\alpha$ . Powierzchnia nakładki na ramieniu  $\alpha$  jest równoległa do płaszczyzny przechodzącej przez osie  $\alpha$  i  $t$ . Usytuowanie nakładek /nadlewów/ na ramionach robotów pokazane jest na rys.5a,b,c. Kalibrację wykonuje się przy pomocy poziomicy np. typu MPSr. Kalibracja przegubów  $t$  i  $\nu$  wymaga użycia specjalnie wykonanej głowicy ze szlifowaną powierzchnią pomiarową, którą przykręca się do kołnierza przegubu  $\nu$ .

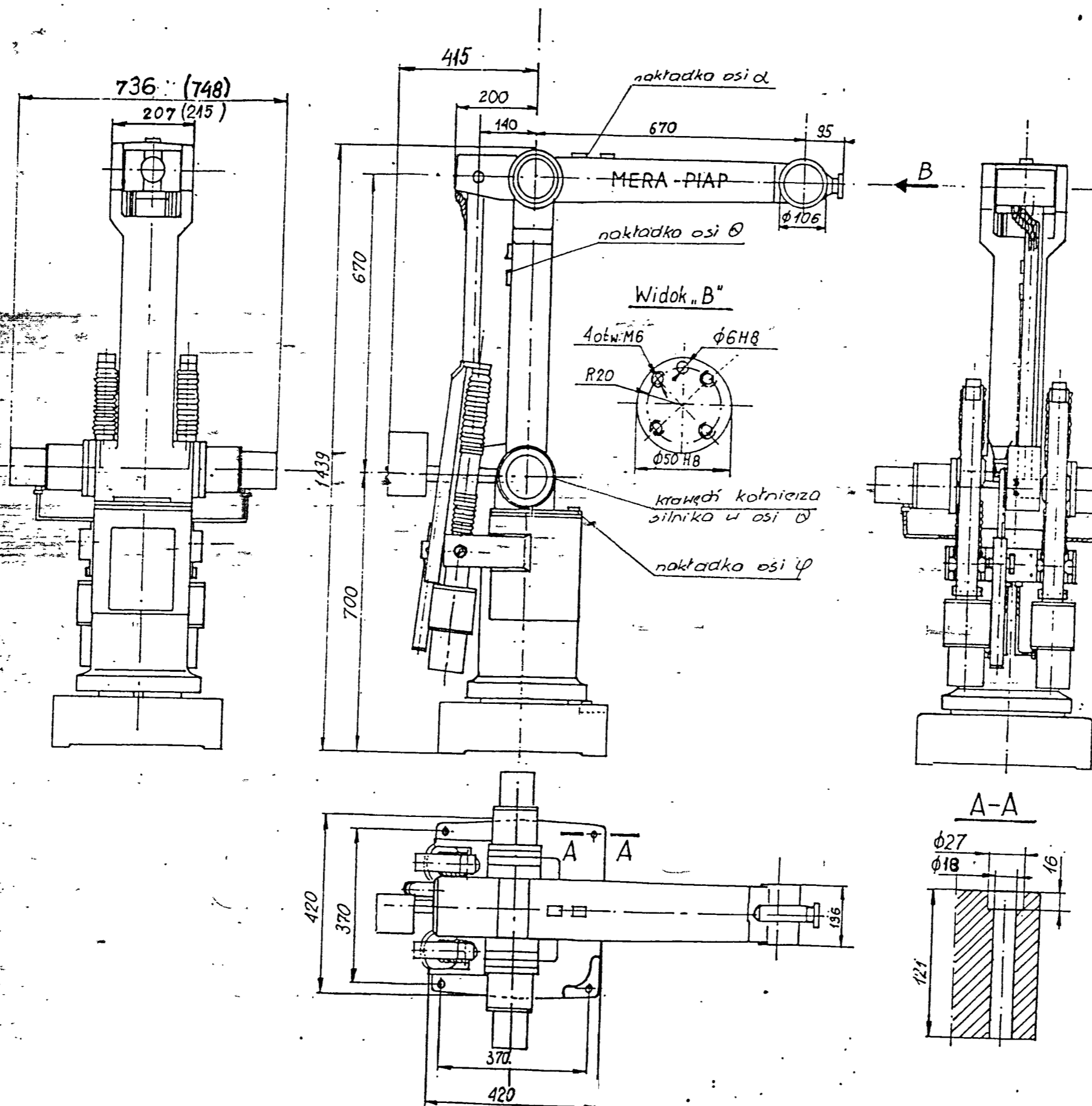
### 3.3. Metodyka pomiaru powtarzalności położenia zerowego części manipulacyjnej robota

Pomiar powtarzalności położenia zerowego części /ramion/ robota ma na celu sprawdzenie zgodności wykonania jego kalibracji z wymaganiami podanymi w p. 2 n/sprawozdania i jest przeprowadzany na stanowisku /rys.6/ zaprojektowanym w zadaniu nr 2.1 RP28 i przeznaczonym do pomiaru przestrzeni roboczej robota..

Stanowisko składa się z:

- kolumn pomiarowych z prowadnicami /poz.5 rys.7/
- sań pomiarowych z teodolitem automatycznym TA-6 /poz.4 rys.6/
- czujnika przesunięcia liniowego z miernikiem WMG-10 /poz.4 rys.7/
- kolumny pomiarowej z głowicą i czujnikiem pomiarowym /poz.1 i 2 rys.7/
- tarczy do ustawiania równoległości stanowiska pomiarowego oraz kalibracji przegubu  $\nu$  /rys.8/
- elementu samocentrującego ze znacznikiem  $\alpha'$  /rys.10/
- tarczy z liniałem krawędziowym do kalibracji ramienia  $\alpha$  i

MERA-PIAP		Robot przemysłowy JRp6L	P-6397 001-AX/L
		5-osiowy	
Zakt. DAR/RB1	Data: 12.85	Rysunek gabarytowy	Strona
Adaptował: J. Smolicki		Sprawił: J. Wa.	Kier. zakt.
			Stron



Dane techniczne części manipulacyjnej:

Dopuszczalne obciążenie  
Tęcznie z ciężarem chwytaka 6kg

Max. długość chwytaka z obciążeniem dopuszczalnym 200mm

Stopnie swobody:

- obrót wokół podstawy  $\varphi$   $340^\circ$
- obrót ramienia dolnego  $\theta$   $\pm 40^\circ$
- obrót ramienia górnego  $\alpha$   $\pm 25^\circ - 40^\circ$
- pochYLENIE przegubu  $t$   $\pm 90^\circ$
- skręcanie przegubu  $v$   $\pm 180^\circ$

Prędkości maksymalne:

- obrót 95%/s
- poziomy ruch ramienia 1,1 m/s
- pionowy ruch ramienia 1,1 m/s
- pochYLENIE przegubu 115%/s
- skręcanie przegubu 195%/s

Dokładność pozycjonowania  $\pm 0,2$ mm

podwieszony.  
Część manipulacyjna - rysunek  
gabarytowy.

P-6397 001-AX/W

Zakt.  
OAR/RB1

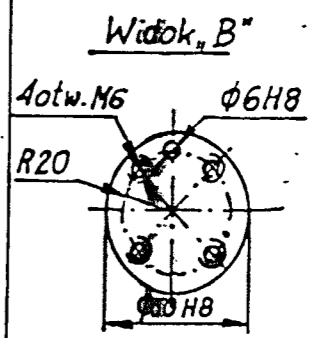
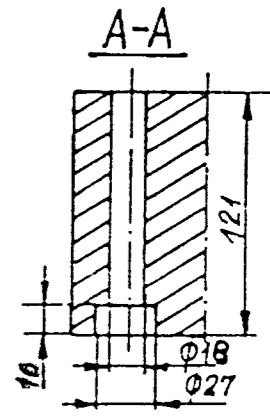
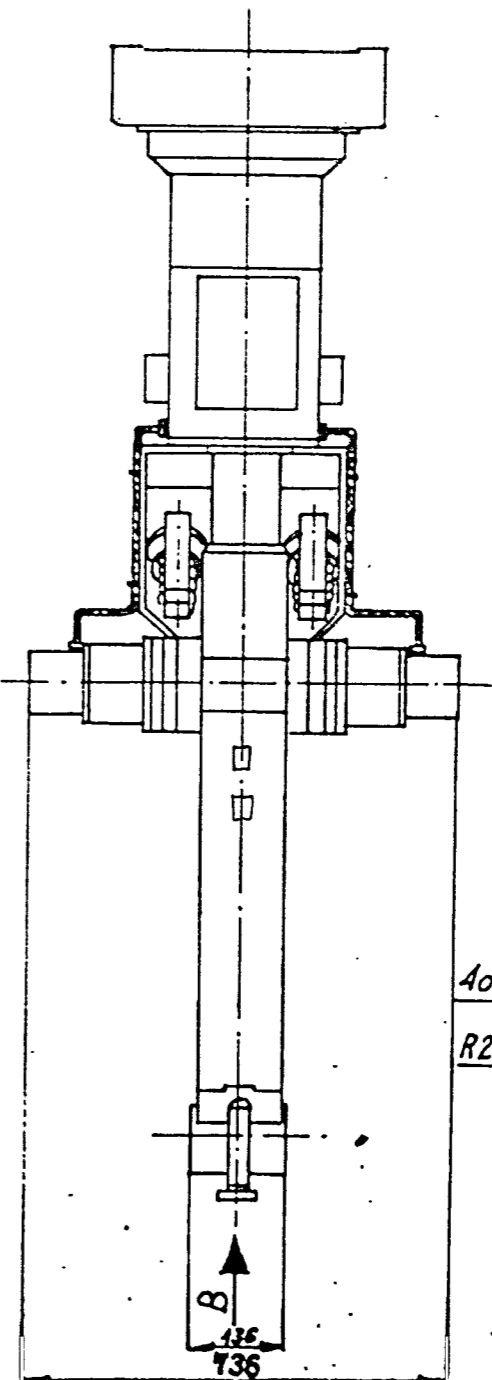
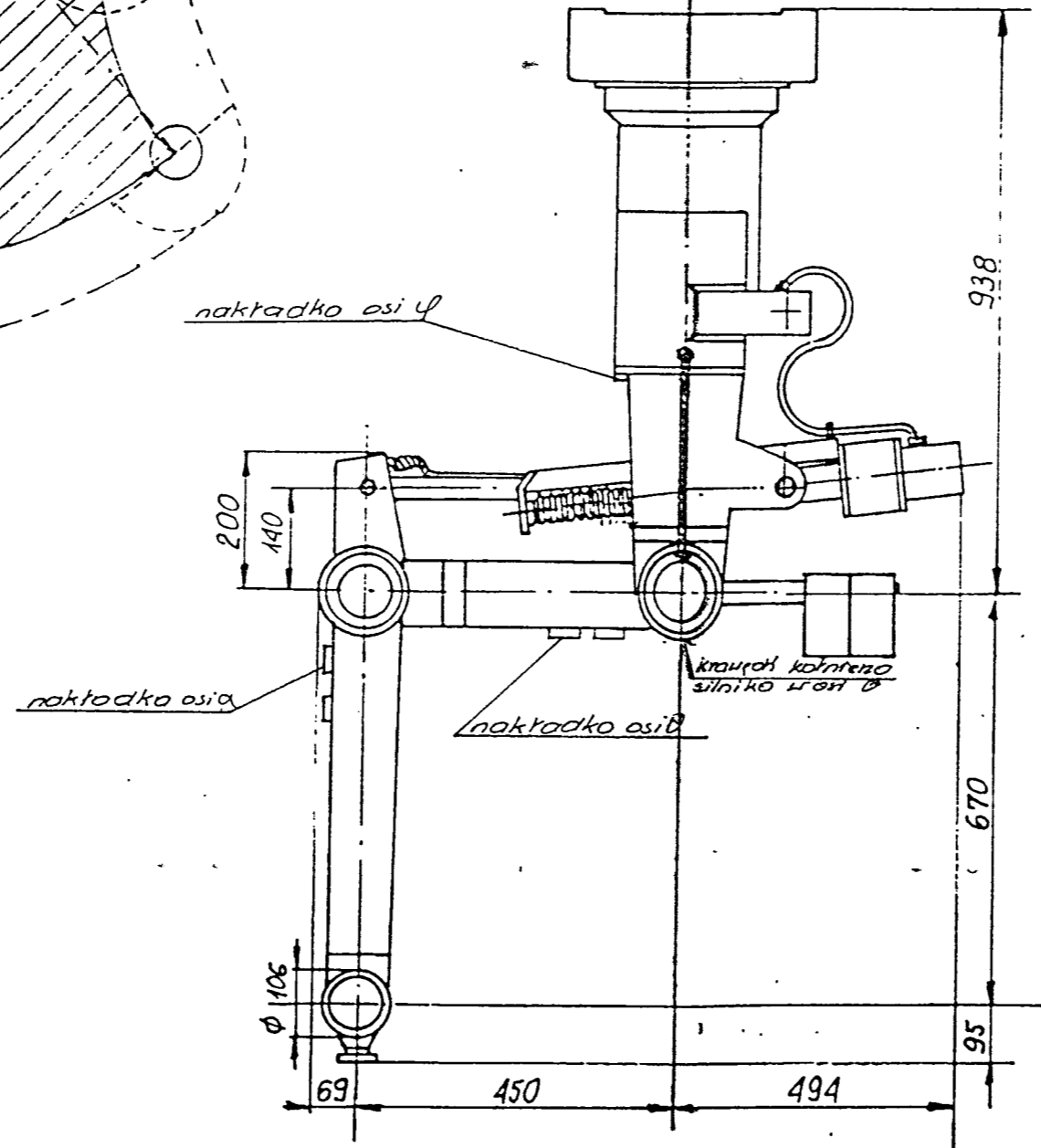
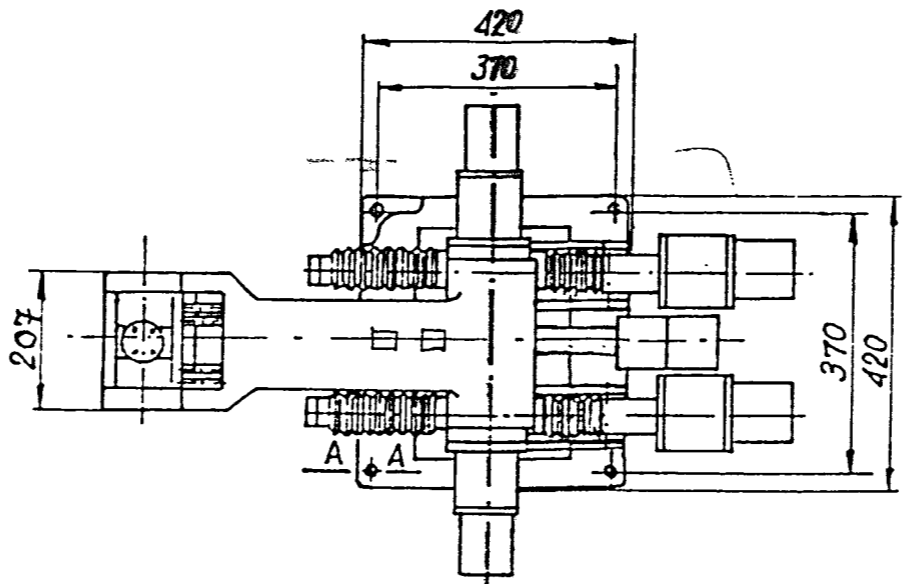
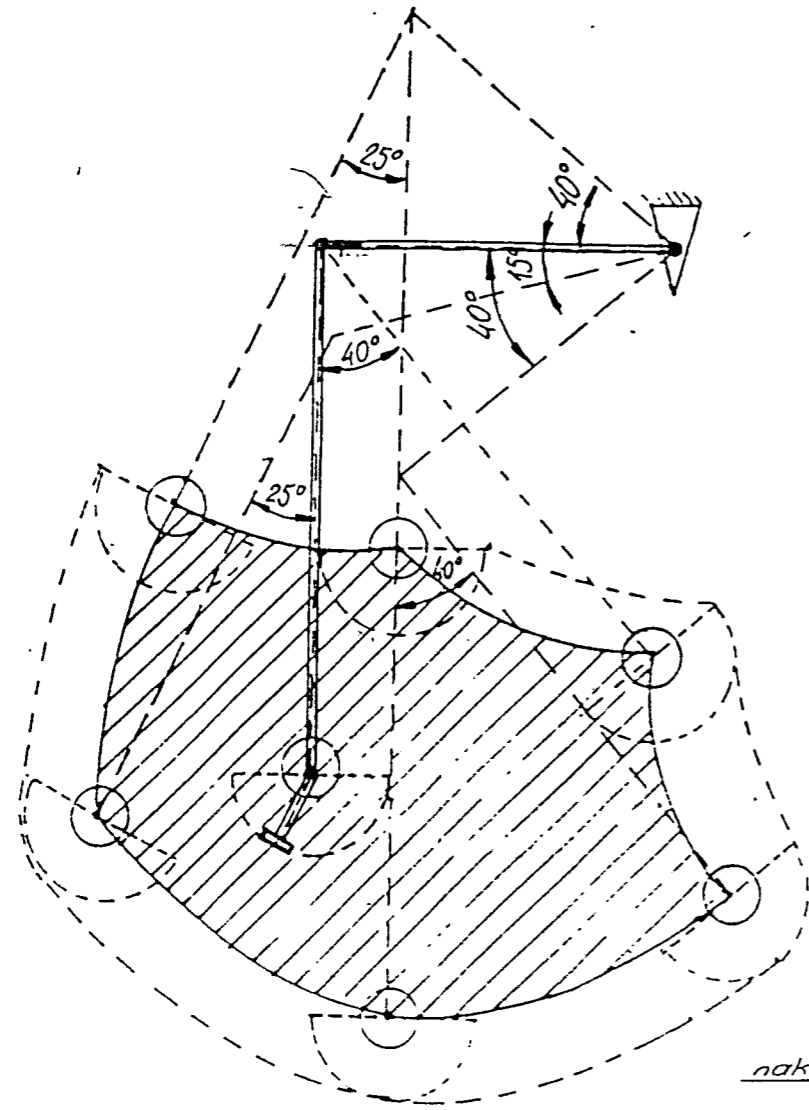
Data:  
10.86

Sprawił:  
[Signature]

Kier. Zakt.

Strona

Stron



Rys. 5b 16



MERA-PIAP

Robot przemysłowy JRp-10  
5-osiowy

P-6397 001-GH/MS

Zakł.  
OAR/RB1

Data:  
86.03.

Rysunek gabarytowy

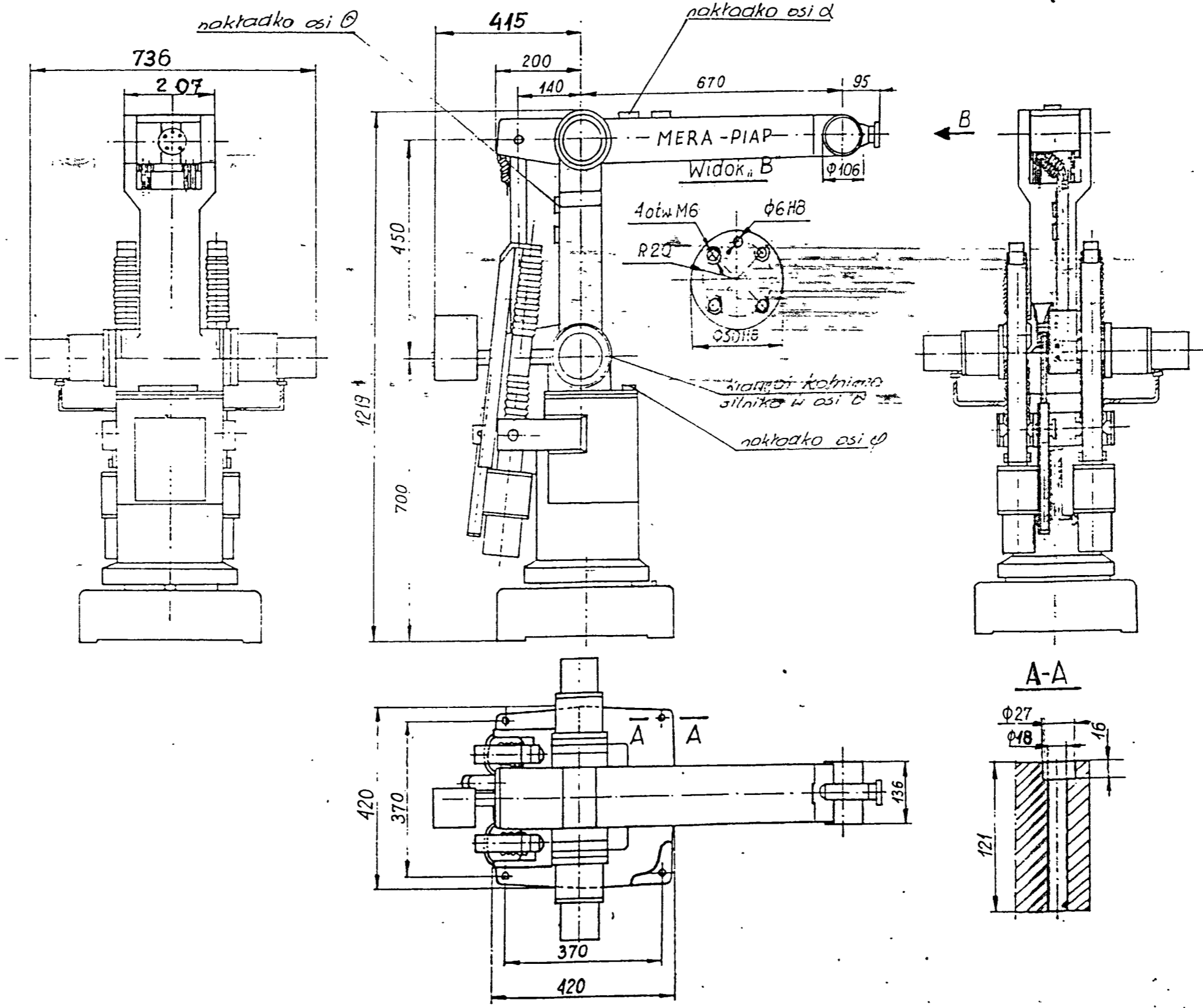
Strona

Adaptował:  
Fuss

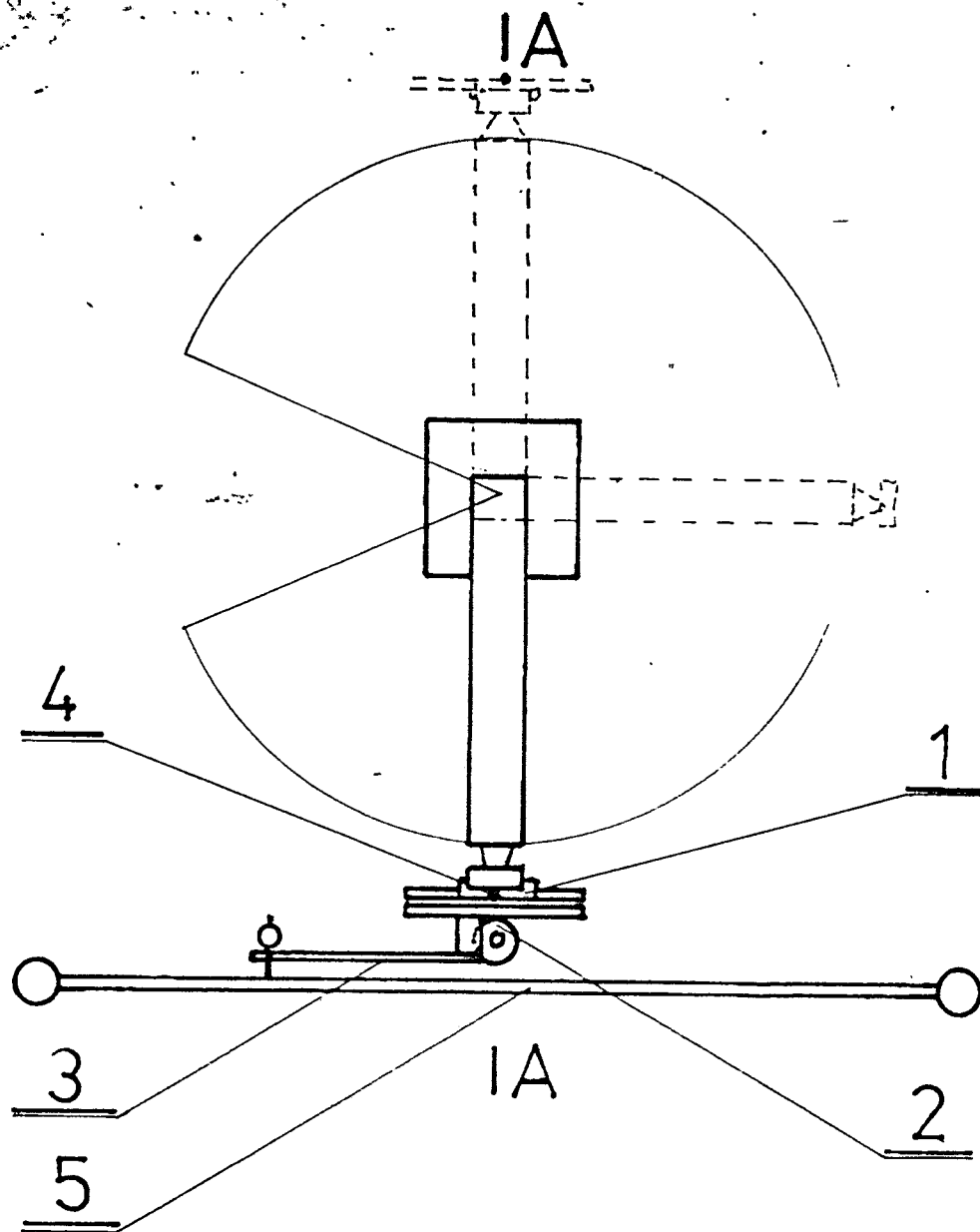
Sprawił:

Kier. Zakł.

Stron



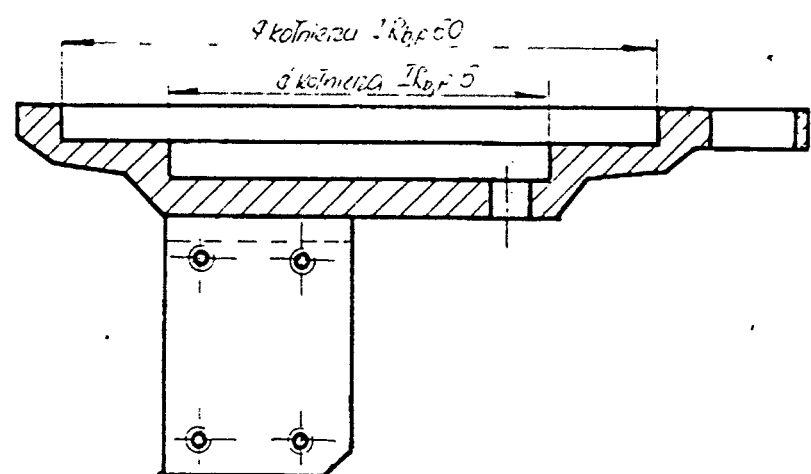
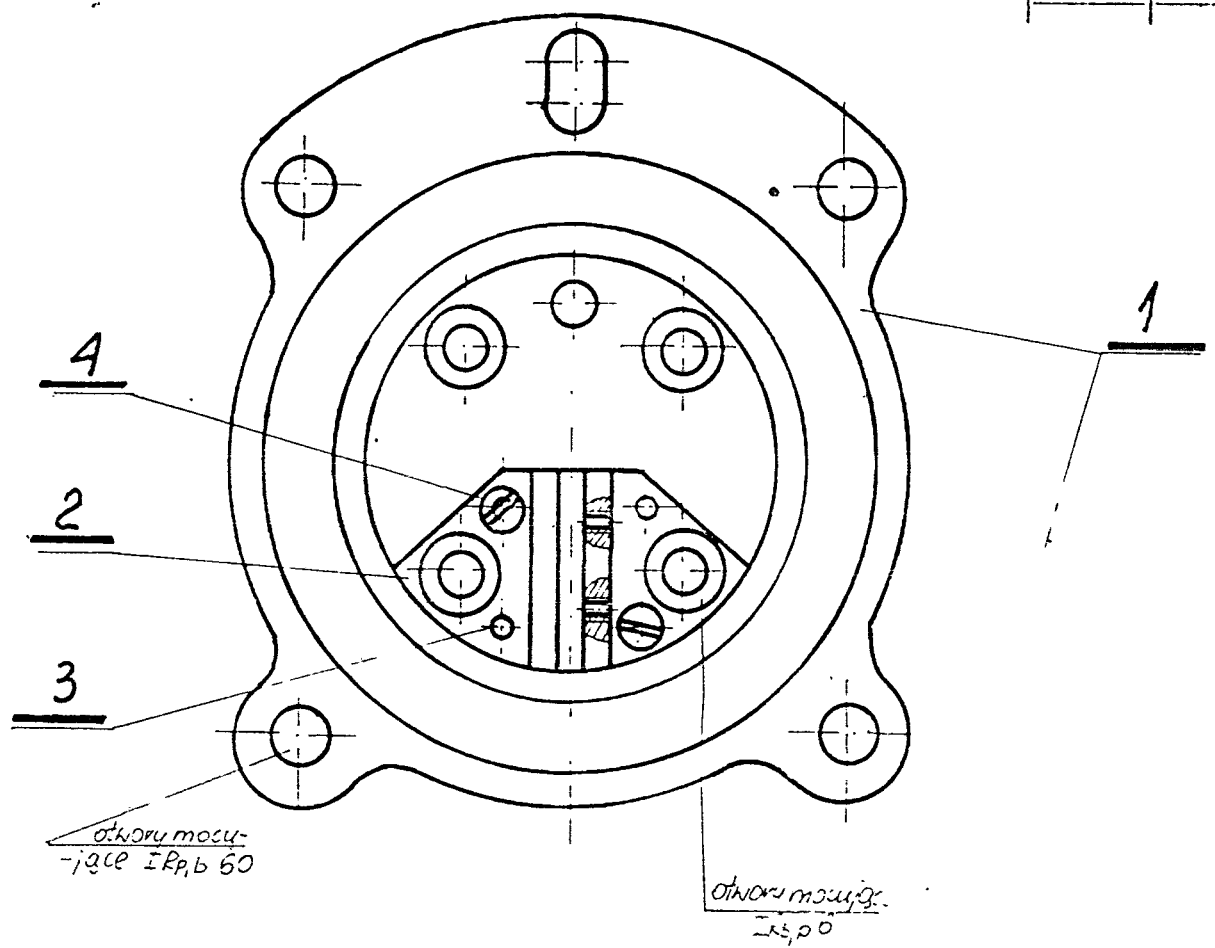
Rys. 5c 17



- 1 - Kotłicz do ustawiania równoległości
- 2 - Głowica kolumny pomiarowej
- 3 - Hysłęgnik kolumny pomiarowej
- 4 - Wskaźnik
- 5 - Prowadnice stanowiska pomiarowego.

Rys. 7. Szkic ilustrujący sposób równoległego ustawienia prowadnic stanowiska względem osi ramienia  $\alpha$  robota.

Wymiary	Odchyłki



4	2	Wkręt M4 x 8 - 5,6 - B	PN-85/M 82207
3	2	Kotek ustalający Ø4	
2	1	Wkładka wymienna	
1	1	Korpus	

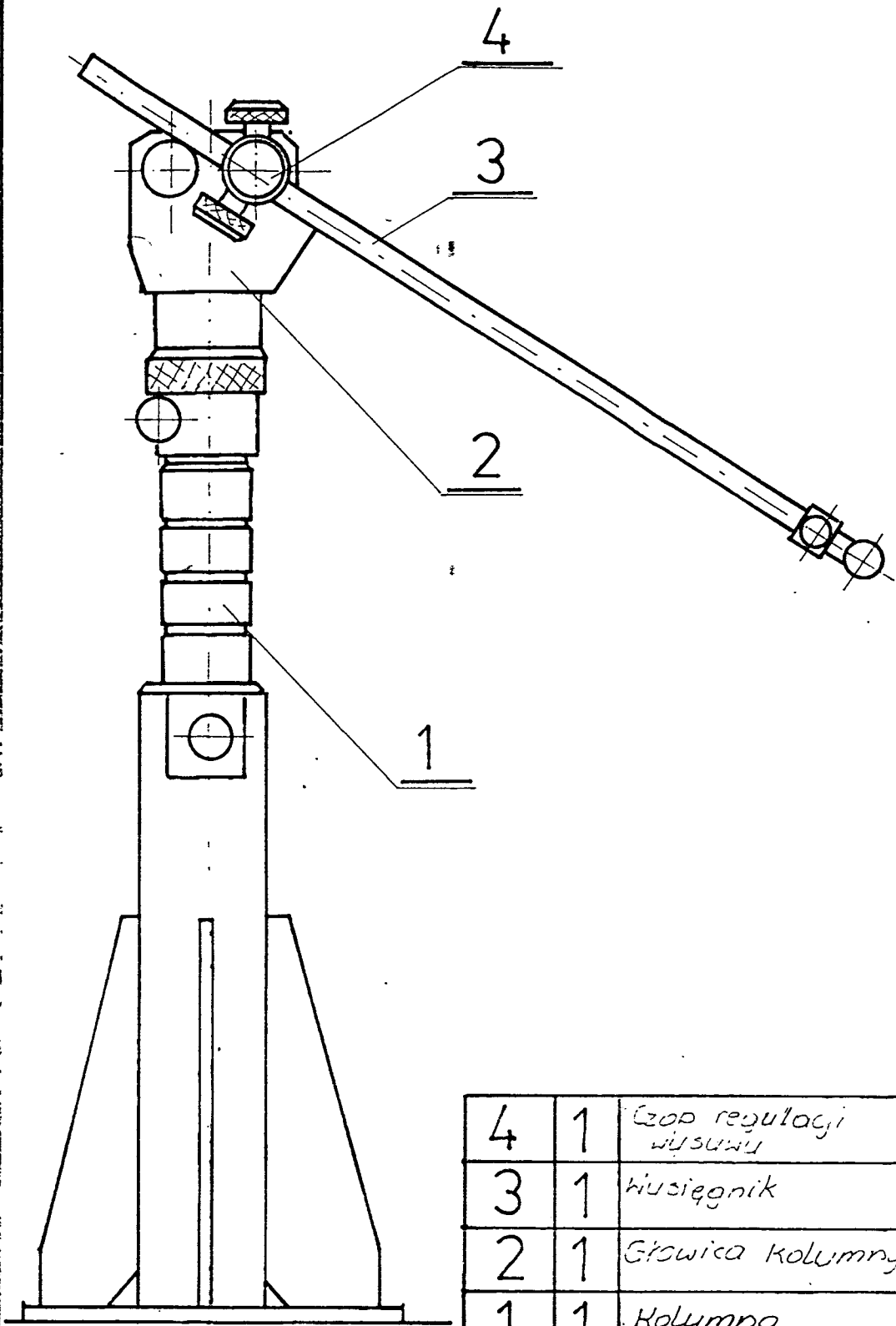
Nr części lub zesp.	Ilość	Natura	Nr ark.	Uwagi
---------------------	-------	--------	---------	-------

Nazwa		<b>Kołnierz</b>		Podziałka
				Ciężar

Znak zmiany	Ilość zmian	Treść zmiany	Podpis	Data
Projektował				
Konstruował				
Kreślił				
Sprawił				
Kier. Pracowni				
Kier. Zakładu				

Material	Zastępuje rys. Nr	Nr ark.
PA 2	Zastąpiono przez rys. Nr	Nr rys. zest.
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa	Nr rysunku	Nr części
Zakład OBV	8	19

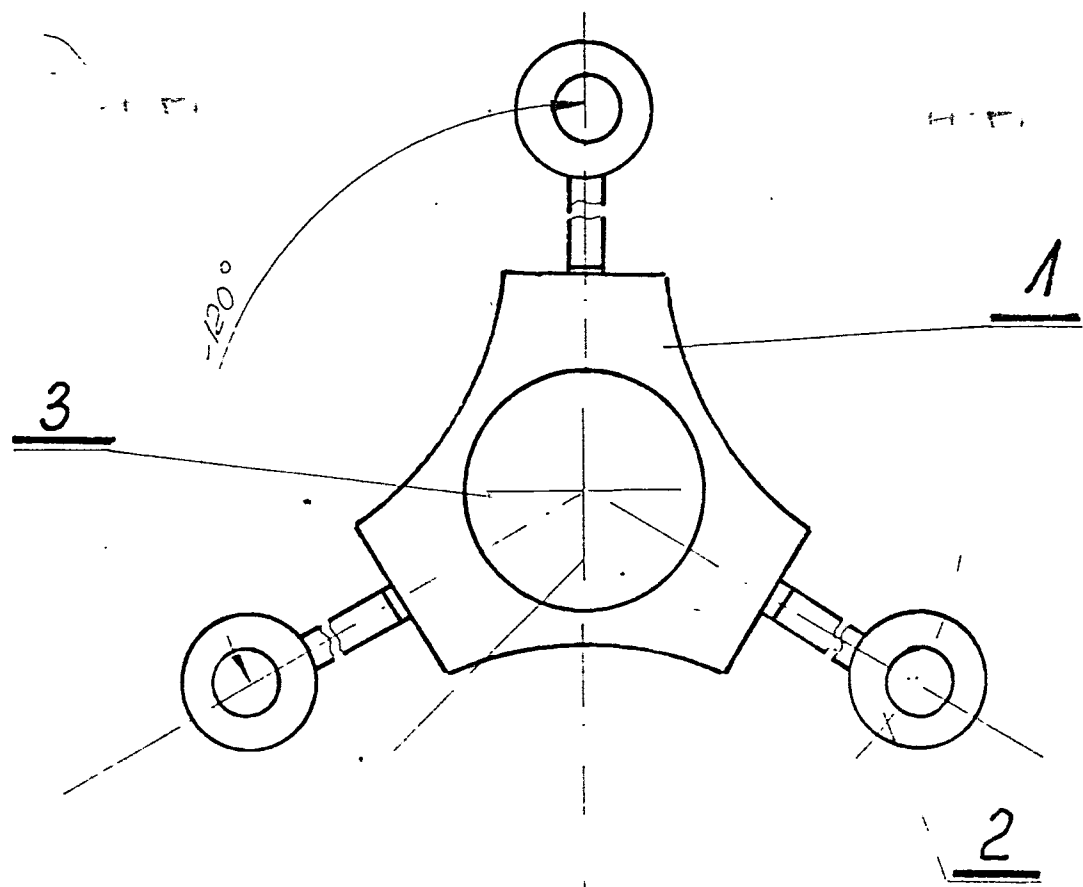
Wymiary	Odczytki



4	1	Czap regulacji wysuwu		
3	1	Wisięgnik		
2	1	Głowica kolumny		
1	1	Kolumna		

Nr części				Nazwa		Liczba		Uwagi	
Nazwa				Kolumna pomiarowa				Podziałka	
Znak				Materiał				Ciężar	
Kreslarnia				Zastępuje rys. Nr				Nr ark.	
Kier. Pracowni				Zastąpiono przez rys. Nr				Nr rys. zest.	
Kier. Zakładu				Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa				Nr części	
Zakład				9				20.	

Wymiary	Odchyłki



5 Wzrost dołączenia  
osi

3	1	Przebito ze znacznikiem
2	3	Wyświetlnik wymiarowy
1	1	Kordus

Nr części lub zesp.	Ilość	Nazwa	Nr ark.	Uwagi
---------------------	-------	-------	---------	-------

				Nazwa		Podziałka	
				<b>Element samocentrujący</b>		Ciężar	
				Materiał		Nr ark.	
				Zastępuje rys Nr		Nr rys. zest.	
				Zastąpiono przez rys. Nr		Nr części	
				Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa		10	
				Zakład OBN		21	
Znak zmiany	Ilość zmian	Treść zmiany	Podpis	Data			
Projektował							
Konstruował							
Kreślił							
Sprawdził							
Kier. Pracowni							
Kier. Zakładu							

przegubu  $t$  /rys.8/

- czujnika zegarowego MDAA-0,01 mm.

Przed przystąpieniem do sprawdzenia położenia zerowego należy przygotować i zestawić elementy pomiarowe w ten sposób, aby zapewnić równoległość płaszczyzny wyznaczonej przez oś obrotu podstawy robota  $\varphi$  i oś obrotu przegubu  $\psi$  do kierunku przesuwu sań pomiarowych. Sanie pomiarowe wraz z umieszczonym na nich teodolitem sprowadzone są, za pomocą umieszczonych na teodolicie wskaźników, do położenia poziomego.

Równoległe ustawienie w/wym. elementów realizujemy w sposób następujący:

Ustalamy orientacyjnie położenie środka zakresu głównego ruchu obrotowego części manipulacyjnej /położenie poziome linia przerywana, rys.7/.

Następnie obracamy część manipulacyjną względem osi  $\varphi$  o kąt zbliżony do  $90^\circ$  /położenie zaznaczone linią ciągłą na rys.7/. W położeniu tym na kołnierzu robota montujemy element przedstawiony na rys.8. Konstrukcja elementu przewiduje możliwość montażu do robotów IRp-6,60 jak i IRb-6,60.

Dzięki wkładom wymiennym /poz.2/ do korpusu elementu można zamocować liniał krawędziowy/stanowiący wzorzec liniowości/ w kierunku pionowym lub poziomym. Liniał zamocowany poziomo stanowi bazę dla ustawienia głowicy pomiarowej /poz.2 rys.7/. Następnie z wykorzystaniem kolumny pomiarowej z wysięgnikiem i czujnikiem zegarowym /poz.2 rys.7, rys.9/, ustalamy położenie prowadnic sań teodolitu /poz.5 rys.7/. Wskazania czujnika zegarowego przy obrocie wokół osi A/A o  $180^\circ$  powinny być identyczne.

Następnie mocujemy liniał krawędziowy w kierunku pionowym, ustawiamy tak sanie pomiarowe aby w lunecie teodolitu na wzorcowej kresce pionowej uzyskać obraz krawędzi liniału. Wykonujemy taki obrót części manipulacyjnej względem osi  $\varphi$  aby uzyskać ponownie obraz liniału na kresce pionowej lunety. Odpowiada to położeniu po obrocie o kąt  $180^\circ$ .

Dla tego położenia odczytujemy ilość inkrementów odpowiadającą obrotowi wokół osi  $\varphi$  o  $180^\circ$ . Mając tę wielkość /pomiaru można dokonać kilkakrotnie obliczając średnią arytmetyczną/ możemy bardzo dokładnie określić ile inkrementów przypada na jeden stopień obrotu wokół osi  $\varphi$ .

Obracając robota o ilość inkrementów odpowiadającą kątowi  $90^\circ$  zajmuje on położenie, w którym płaszczyzna wyznaczona przez osie  $\varphi$  i  $\nu$  będzie równoległa do prowadnic sań pomiarowych, czyli do kierunku przesuwu głowicy teodolitowej.

Następnie przystępujemy do sprawdzenia kalibracji osi  $\varphi$ . Nastawiamy z panelu programowania wartości dla położenia kalibracji części manipulacyjnej, określone przez producenta.

Sanie pomiarowe wraz z prowadnicami sprowadzamy do poziomu wyznaczonego przez wierzchołek liniału krawędziowego zamocowanego w kierunku pionowym. Powiększenie lunety teodolitowej pozwala na wykonanie tej operacji z dokładnością do dziesiątych części mm.

Następnie obracając częścią manipulacyjną względem osi obrotu  $\varphi$  nie zmieniając położenia sań pomiarowych i lunety, kontrolujemy czy w całym zakresie obrotu wierzchołek liniału zachowuje to samo położenie względem linii poziomu okularu pomiarowego teodolitu.

Każde odchylenie wierzchołka od linii wyznaczającej poziom, świadczy o niedokładności kalibracji. Błąd kalibracji można określić metodą bezpośredniego pomiaru, określając kąt będący miarą odchylenia wierzchołka liniału od wzorcowej linii poziomej. Położenie kalibracji osi  $\varphi$  może zostać skorygowane przy użyciu elementów regulacyjnych mocujących część manipulacyjną do podłoża.

Następnie przystępujemy do sprawdzenia kalibracji osi  $\theta$ . Przesuwając na saniach teodolit ustawiamy go tak aby z pionową kreską siatki w polu widzenia okularu pokryła się krawędź kołnierza silnika  $\theta$  /rys.5/. Korzystając z miernika WMG-10 przesuwamy sanie z teodolitem o połowę średnicy kołnierza. Obracając lunetą w górę sprawdzamy położenie znacznika " $\alpha$ " /rys.10/. Znacznik tworzą dwie prostopadłe linie wytrasowane na elemencie samocentrującym. Środek znacznika określa oś obrotu ramienia  $\alpha$ . Element ten mocowany jest na wewnętrznej powierzchni otworu montażowego ramienia  $\alpha$ . Pokrycie się punktu przecięcia kresek znacznika i pionowej linii w polu widzenia okulara oznacza, że oś ramienia  $\theta$  jest ustawiona pionowo. W razie stwierdzenia różnicy położenia sterujemy inkrementami zmieniając położenie ramienia  $\theta$  i odcytujemy z panelu programowania wartość, dla której wyznaczone linie pokryją się. Różnica między liczbą inkrementów odczytaną wartością zapisaną w programie sterującym jest miarą odchyłki w inkrementach osi ramienia  $\theta$  od

położenia pionowego. Sprowadzamy teodolit do położenia zerowego i przystępujemy do kalibracji osi ramienia  $\alpha$  .

Liniał krawędziowy mocujemy w położeniu poziomym zgodnie z teoretycznym kierunkiem osi obrotu  $\nu$  .

Sterując osią  $t$  doprowadzamy krawędź liniału do położenia poziomego. Dla kalibracji prawidłowej znacznik umieszczony na elemencie samocentrującym powinien znajdować się na tym samym poziomie. Każde odchylenie można skorygować i określić w inkrementach jako odchylenie kalibracji osi  $\alpha$  .

Ustawiamy teodolit w położeniu zerowym i przystępujemy do sprawdzenia kalibracji osi  $t$  sposobami opisanymi niżej dla poszczególnych odmian robotów IRp:

A. Sprawdzenie kalibracji osi  $t$  robotów IRp-6, IRp-6L, IRp-6W, IRp-10

Po ustawieniu teodolitu w położeniu zerowym przesuwamy<sup>90</sup> w prawo w miejsce przybliżonej osi obrotu przegubu  $t$  , tak aby pozioma kreska siatki w polu widzenia okulara pokrywała się z krawędzią liniału /położenie liniału identyczne jak dla osi  $\alpha$  /. Obracamy przegub  $t$  o  $90^\circ$  do góry i przesuwamy teodolit tak aby krawędź liniału pokrywała się z pionową kreską w okularze. Nierównoległość korygujemy sterując /zadając inkrementami/ przegubem  $t$  .

Rejestrujemy wartość inkrementów dla tego położenia i obracamy przegub  $t$  o  $180^\circ$  w dół, tak aby krawędź liniału znów pokryła się z pionową kreską okularu. Rejestrujemy wartość inkrementów dla tego położenia. Różnica między tymi dwoma wartościami równa jest ilości inkrementów dla kąta równego  $180^\circ$  .

Ustawiamy przegub  $t$  w położeniu kalibracji i odczytujemy dla tego położenia wartość inkrementów.

Z liczby inkrementów przypadających na  $180^\circ$  wyliczamy liczbę inkrementów przypadającą na  $77^\circ$  i porównujemy te wartości.

Ewentualna różnica jest miarą w inkrementach niedokładności kalibracji.

B. Sprawdzenie kalibracji osi przegubu  $t$  robota IRp-60

Sprawdzenie to wykonuje się jednocześnie ze sprawdzeniem kalibracji osi ramienia  $\alpha$  gdyż warunkiem sprawdzenia kalibracji osi ramienia  $\alpha$  jest poziome położenie osi przegubu  $t$  .



C. Sprawdzenie kalibracji osi przegubu  $t$  robota IRp-60Z  
/z szóstą osią/

Sprawdzenie kalibracji osi przegubu  $t$  robota IRp-60Z wykonujemy przed za~~in~~stalowaniem szóstej osi wykorzystując tarczę z liniałem krawędziowym. Po obrocie przegubu w położenie kalibracji, sprawdzamy czy krawędź liniału pokrywa się z pionową kreską siatki w okularze. Jeśli tak, to przegub  $t$  jest w pozycji pionowej.

Ustawiamy teodolit w położeniu zerowym i przystępujemy do sprawdzenia kalibracji osi  $\psi$ .

W tym celu obracamy robota wokół osi  $\varphi$  o  $90^\circ$  tak aby ramię  $\alpha$  było prostopadłe do prowadnic sań pomiarowych.

Sprawdzenie to wykonujemy dwoma sposobami, zależnymi od odmiany robota:

A. Sprawdzenie kalibracji przegubu  $\psi$  robotów IRp-6, IRp-6W,  
IRp-6L, IRp-10

Obracamy przegub  $\psi$  do położenia zerowego, tj. takiego, w którym kołek ustalający znajduje się w płaszczyźnie wyznaczonej przez osie  $\varphi$  i  $\psi$ .

Jeżeli dla tego położenia krawędź liniału pokrywa się z pionową kreską siatki okularu to rejestrujemy wartość inkrementów.

Obracamy przegub o  $360^\circ$  tak aby krawędź znacznika ponownie pokryła się z pionową kreską w okularze i rejestrujemy wartość inkrementów dla tej pozycji. Różnica między wartością inkrementów dla jednego i drugiego położenia przegubu  $\psi$  równa jest ilości inkrementów dla kąta równego  $360^\circ$ .

Ustawiamy przegub  $\psi$  w położeniu kalibracji i odczytujemy dla niego wartość inkrementów. Porównanie obydwu wartości odpowiadających położeniu zerowemu jest miarą, w inkrementach, niedokładności kalibracji osi  $\psi$ .

B. Sprawdzenie kalibracji przegubu  $\psi$  robotów IRp-60, IRp-60Z  
/z szóstą osią/

Ponieważ dla tych robotów położeniem kalibracji jest położenie zerowe przegubu /kołek ustalający zajmuje górne położenie/ sprawdzamy teodolitem, jak poprzednio, czy krawędź liniału pokrywa się z pionową kreską siatki okulara.

Pokrycie się krawędzi z kreską siatki okulara świadczy o prawidłowości kalibracji. Ewentualna nierównoległość korygowana jest

inkrementami, a ich ilość jest miarą niedokładności kalibracji.

#### 4. Ocena metody

Opisana wyżej metoda optyczna ma tę zaletę, że sprawdzanie kalibracji jest dokonywane praktycznie bez obciążania robota osprzętem powodującym błąd pomiaru od ugięcia ramion robota.

Jedynie w osi obrotu ramienia  $\alpha$  mocowany jest element samocentrujący /ok. 0,5 kg/, który przy pionowym położeniu ramienia  $\theta$  nie powoduje żadnych odkształceń.

Kołnierze zakładane na główkę robota wykonane są z aluminium. Liniał krawędziowy MLWa użyty jako znacznik, posiada masę 140 g, która praktycznie nie powoduje żadnego ugięcia ramion, co zostało potwierdzone wcześniej badaniami sztywności.

Dokładność odczytu teodolitu automatycznego TA-6 wynosi 6".

Zważywszy jednak, że stosowany jest on wyłącznie do sprawdzania kierunku pionowego i poziomego, dokładność ta jest większa.

Sprawdzenie kalibracji przy pomocy teodolitu dokonujemy zawsze na poziomie badanej osi w jednej płaszczyźnie. Błąd nierównoległości jaki możemy popełnić /ok. 2' - 0,6 mm/m/ nie ma więc praktycznie żadnego wpływu na wyznaczenie pionu lub poziomu.

Przy sprawdzaniu kalibracji przegubów  $t$  i  $v$  do wyskalowania kąta posługujemy się inkrementami.

Dokładność odczytu kąta kalibracji jest więc rzędu 1 inkrementu.

Ponieważ luz przekładni falowej może wynosić do 90", co stanowi wartość porównywalną z wartością 1 inkrementu dla tych osi,

sprawdzenia kalibracji dokonujemy kilkakrotnie najeżdżając ramieniem do położenia kalibracji raz z jednej, raz z drugiej strony.

Wynikła z tego średnia wartość inkrementów dla danego położenia nie jest obciążona błędem spowodowanym luzem przekładni.

Metoda polegająca na przeliczeniu kąta kalibracji na liczbę inkrementów ~~z punktu pomiaru fizycznego~~ prowadzący ten kąt do pionu lub poziomu fizycznego, pozwala na sprawdzenie *dwulnego* kąta.

Jest to istotne w przypadku gdy ze względów konstrukcyjnych będą przyjęte inne wartości kątów dla położenia kalibracji.

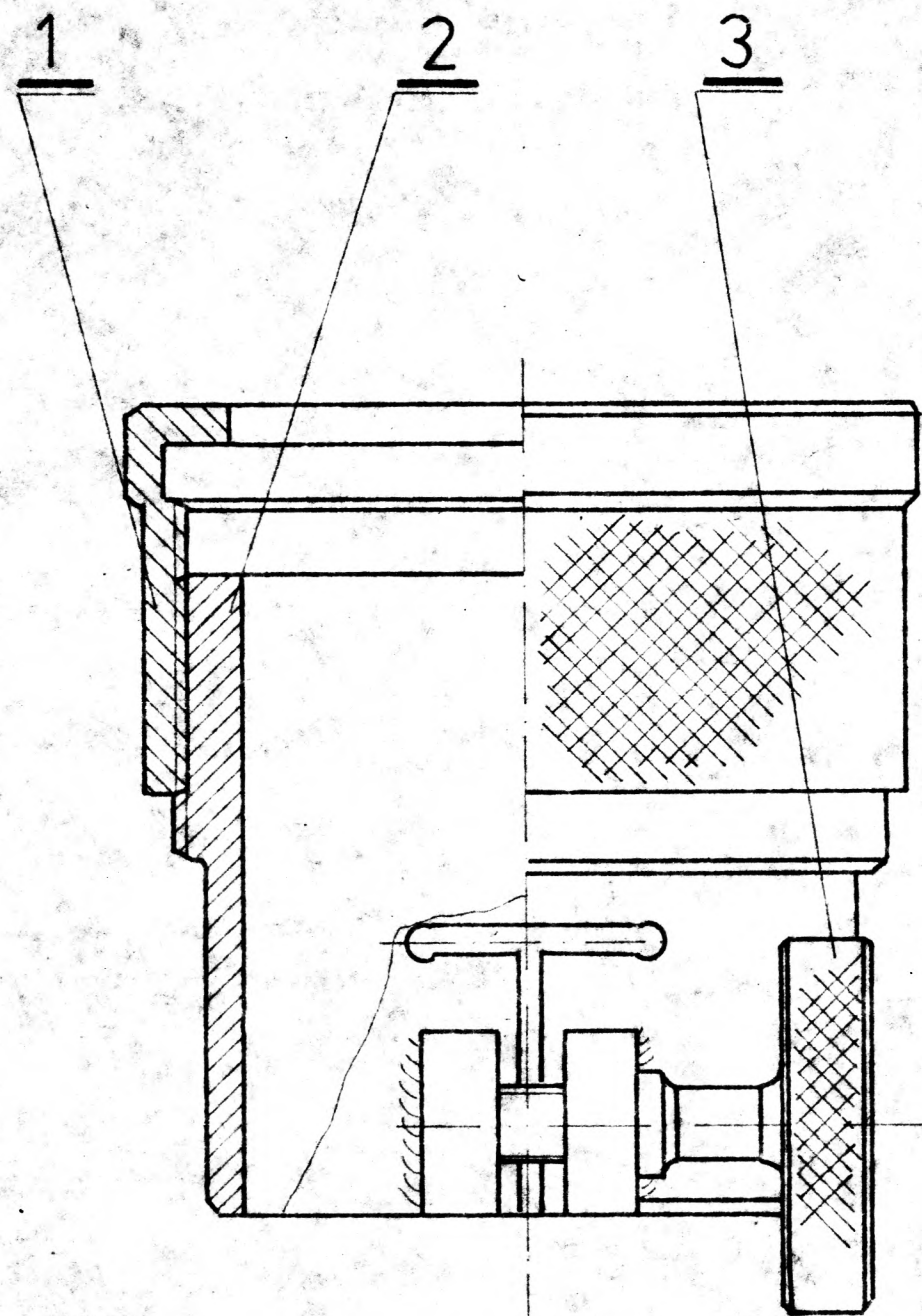
Wykorzystanie do budowy stanowiska aparatury, przyrządów i uniwersalnych modułowych podzespołów, wchodzących w skład wcześniej opracowanych stanowisk, znacznie obniża koszty budowy stanowisk badawczych.

5. Wykaz literatury

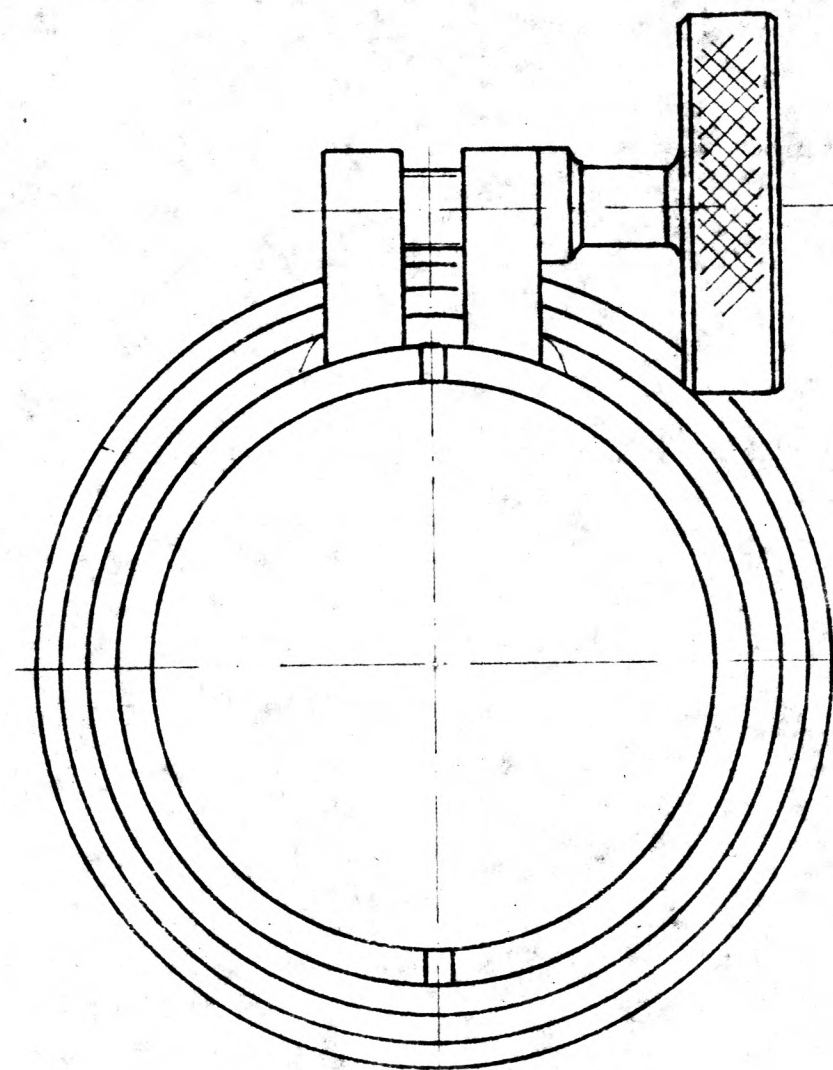
1. Dokumentacja techniczno-ruchowa robotów IRp-6, IRb-60
2. Program badań przekładni falowych
3. Norma Zakładowa "Robot przemysłowy IRp-6. Wymagania i badania
4. Norma Zakładowa - Robot przemysłowy IRp-60. Wymagania i badania.

Wymiary	Odchyłki

W



↑  
W



3	1	Pokrętko
2	1	Korpus
1	1	Nakrętka

Nr części lub serp.	Ilość	Nazwa	Nr ark.	Uwagi
---------------------	-------	-------	---------	-------

Nazwa		TULEJA PRZESUWU DOKŁ	Podziałka	1:1
			Ciężar	

Zmiany	Ilość zmian	Freśz zmiany	Podpis	Data	Materiał	Zastępuje rys. Nr	Nr ark.
Projektował		K.DOMAŃSKI		87.03	Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów Warszawa	Zastąpiono przez rys. Nr	Nr rys. zest.
Konstruował		K.DOMAŃSKI		87.03		Nr rysunku	Nr części
Kreślił		K.DOMAŃSKI		87.03		64.	31
Sprawdził					Zakład	OBN	
Kier. Prac.							
Kier. Zakładu							