

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

OŚRODEK ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH

~~WYKONAWCA~~ wykonawca mgr inż. L. Przybylski

OAR:  
Wykonawcy mgr inż. A. Socha, mgr inż. M. Ludwiński, Z. Malinowski

OBN:  
mgr inż. W. Klimasara, E. Król, Z. Leszczyński

Konsultant prof. inż. T. Sołtyk

Nr zlecenia  
S-1278

Opracowanie i weryfikacja metod badań parametrów techniczno-eksploatacyjnych robotów przemysłowych i ich węzłów konstrukcyjnych.

Etap 1: Badania uzupełniające robotów o udźwigu do 120 kg. i 2,5 kg.

Zleceniodawca  
Praca statutowa PIAP

Pracę rozpoczęto dnia  
01.1992

Kierownik Ośrodka  
mgr inż. L. Przybylski

zakończono dnia  
29.05.1992

Z-ca Dyrektora d/s Badawczo-  
-Rozwojowych  
dr inż. J. Jabłkowski

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz: 4

stron 41

Egz. 1 BOINTE

rysunków 5

Egz. 2 OBN

fotografii -

Egz. 3 OAR

tabel 18

Egz. 4 OAR

wykresów 100

Egz. 5 -

załączników -

Egz. 6 -

Nr rejestr. 6846

**Analiza deskryptorowa**

ROBOTY PRZEMYSŁOWE + BADANIA

**Analiza dokumentacyjna**

Opracowanie zawiera wyniki badań dodatkowych prototypów

robotów: RP-120S i RP-3.

**Tytuły poprzednich sprawozdań**

UKD

PIAP-252/83-6000

Spis treści

1. Wstęp

1.1. Przedmiot badań

1.2. Cel i zakres badań

1.3. Aparatura i przyrządy użyte do badań

2. Badania.

2.1. Badania robota RP-120S

2.1.1. Badania serwomechanizmów

2.1.2. Badania powtarzalności pozycjonowania

2.1.3. Określenie sztywności

2.1.4. Wnioski z badań uzupełniających robota RP-120S

2.2. Badania robota RP-3

2.2.1. Badania serwomechanizmów

2.2.2. Badania powtarzalności pozycjonowania

2.2.3. Określenie sztywności

2.2.4. Wnioski z badań dodatkowych robota RP-3

## 1. Wstęp

### 1.1. Przedmiot badań.

Przedmiotem badań dodatkowych były:

- prototyp robota o udźwigu do 120 kg., oznaczony symbolem RP-120S, nr 1/91,
- prototyp robota o udźwigu 2,5 kg., oznaczony symbolem RP-3, nr 1/91.

Prototyp robota RP-120S wykonany został w 1991 r. w ramach kontynuacji celu nr 77 CPBR 7.1., na bazie wykonanego w 1990 r. prototypu robota elektrycznego, oznaczonego symbolem RP-120B. Przy tej samej konstrukcji nośnej, co robot RP-120B, w robocie RP-120S wprowadzono następujące zmiany:

- zastosowano silniki napędowe większej mocy w pierwszych 5-ciu osiach,
- w osiach I, IV i V zastosowano przekładnie cykloidalne o mniejszym przełożeniu, zamiast przekładni harmoniczych,
- w mechanizmach napędu ramion zastosowano przekładnie śrubowe toczone o większych „skokach”, a więc mniejszym przełożeniu.

Prototyp robota RP-3 wykonano w ramach realizacji celu nr 153 CPBR 7.1.

### 1.2. Cel i zakres badań.

Podstawowym celem badań była identyfikacja i analiza przyczyn pewnych ujemnych cech funkcjonalnych obu robotów, ujawnionych zarówno podczas badań pełnych wykonanych w 1991 r., jak też późniejszych, poza-planowych testach pracy ciągłej /długotrwałej/, realizowanych na przełomie 1991/1992 r.



Podczas badań prototypów i w późniejszych testach pracy długotrwałej stwierdzono:

1/ W robocie RP-120S:

- różne poziomy maksymalnej prędkości względnej dla poszczególnych osi,
- niemożliwość osiągnięcia maksymalnych prędkości tzw. konstrukcyjnych w pierwszych pięciu osiach,
- duże zakłócenia „płynności” ruchu w osi piątej,
- nierównomierną pracę hamulców elektromagnetycznych,
- widoczne przeregulowania w pozycjonowaniu pierwszej osi,
- znaczną częstotliwość awaryjnych wyłączeń robota w wyniku przekraczania ograniczeń prądowych lub zbyt dużego błędu położenia.

2/ W robocie RP-3:

- niestabilność powtarzalności pozycjonowania, polegającą na pewnych „przesunięciach” charakterystyk kolejnych serii pomiarów /mimo dość małego rozrzutu błędów w ramach poszczególnych serii/,
- słyszalną nierównomierność pracy mechanizmów robota, zwłaszcza w pierwszej osi.

Zakres badań, będący konsekwencją określonego powyżej celu, obejmował głównie regulacje i badania serwomechanizmów robotów oraz badania powtarzalności pozycjonowania i sztywności, które to parametry silnie zależą od pracy serwomechanizmów.

### 1.3. Aparatura i przyrządy użyte do badań.

- Rejestrator XY typ WX 2300, nr fabr. 7022866,
- generator impulsów typ KZ 2026A, nr fabr. 135626,
- czujniki zegarowe MDa, szt.3, nr 38/86, 11/86, 36/86,
- stanowisko pomiarowe typ II /wykonane w ramach celu nr 28 CPBR 7.1./.

## 2. Badania

### 2.1. Badania robota RP-120 S.

#### 2.1.1. Badania serwomechanizmów.

Przed właściwymi badaniami serwomechanizmów wykonano pewne zmiany i adaptacje w układzie sterowania robota. Zakres tych prac był następujący:

- wykonano adapter złącz RTX/SzR,
- wyeliminowano wyłącznik S163K16A, w celu uniknięcia niepożądanych wyłączeń układu. W sieci zasilającej zastosowano jako zabezpieczenie prądowe bezpieczniki topikowe 32A,
- w układach energetycznych napędów I i II osi zastosowano wyłączniki termiczne TSA 45 P /25-35 A/ zamiast TSA 11 /11-16 A/,
- wyeliminowano rezystory  $3,3\Omega$  w układzie zasilania hamulców elektromagnetycznych, wprowadzając w ich miejsce bezpieczniki topikowe SP7,
- wprowadzono zmiany w sterownikach mocy I i II osi, polegające na podwyższeniu ograniczeń prądowych do poziomu ok.40 A /o ponad 30%/ oraz na zmianie ich charakterystyk dynamicznych, bardziej odpowiadających strukturze robota,
- zastosowano dodatkowy wentylator chłodzący sterowniki mocy I i II osi,

- dodano przewód elektryczny, dublujący przewód zasilania hamulców elektromagnetycznych.

Po wprowadzeniu powyższych zmian, wykonano badania serwomechanizmów.

Polegały one na jednoczesnej rejestracji prądu silnika napędowego i napięcia prądnicy tachometrycznej dla każdej osi robota.

Charakterystyki prądowo-napięciowe serwomechanizmów robota zdejmowano dla różnych programowanych prędkości, bez obciążenia i z obciążeniem 60 kg., a dla I-szej osi przy układzie robota odpowiadającym położeniu synchronizacji oraz przy maksymalnym wysięgu robota.

Wykresy charakterystyk prądowych i napięciowych oznaczone zostały symbolem literowym A i kolejnymi numerami:

A1.1. - A1.15 : dla I osi,

A2.1. - A2.10 : " II "

A3.1.- A3.8 : " III "

A4.1. - A4.12 : " IV "

A5.1. - A5.12 : " V "

A6.1. - A6.4 : " VI "

Sparametryzowane wyniki charakterystyk prądowych i napięciowych serwomechanizmów zestawiono w tabeli 1.

Objaśnienie układu tabeli 1.

1. W kolumnach 1-4 podano wielkości względne momentów statycznych dla poszczególnych osi:

$$M_{st} = \frac{M_{op}}{M_{zn}}$$

gdzie:  $M_{op}$  jest momentem oporowym, a  $M_{zn}$  jest momentem znamionowym silnika napędowego. Znaki „+” i „-” oznaczają odpowiednio kierunek ruchu: „dodatni” i „ujemny”.

W przypadku, gdy moment oporowy  $M_{op}$  zmienia się w trakcie ruchu, podano dwie wartości. Górna określa  $M_{st}$  na początku ruchu, dolna - na końcu zakresu ruchu.

2. W kolumnach 5-8 podano czasy rozruchu  $t_p$  i hamowania  $t_h$ , przy czym  $t_p$  określa się jako czas osiągnięcia  $0,63 n_{max}$ , natomiast  $t_h$  jako czas osiągnięcia  $0,37 n_{max}$ , gdzie  $n_{max}$  jest największą wartością prędkości, jaką osiąga napęd podczas ruchu zaprogramowanego z 100 % prędkością.

3. W kolumnie 9 podano wielkość tętnień /w mV/ sygnału prądnicy tachometrycznej przy prędkości 1,3 %.

4. W kolumnie 10 podano wskaźnik tłumienia ~~wzrostu~~ wpływu tętnień momentu oporowego osi robota na tętnienia prędkości, jako skutek działania układu stabilizacji serwowęchanizmu.

Wskaźnik ten obliczono jako stosunek wielkości względnych tętnień prędkości obrotowej  $\Delta n'$  do  $\Delta M'$ , gdzie:

$$\Delta n' = \frac{\Delta U}{K_E} \cdot 10^{-3} \quad ; \quad \Delta M' = \frac{\Delta M}{M_{zn}}$$

- $K_E$  - stała prądnicy tachometrycznej w V/1000 o/min.,  
 $\Delta U$  - tętnienia sygnału prędkości z prądnicy w mV,  
 $\Delta M$  - tętnienia momentu oporowego.

5. W kolumnie 11 podano względną wartość maksymalnej prędkości ruchu w danej osi w stosunku do prędkości, jaką powinna być osiągnięta zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi, przy zaprogramowaniu ruchu ze 100 % prędkością.

6. W kolumnie 12 podano krotność prądu rozruchowego silnika napędowego w stosunku do prądu znamionowego :

$$k_{IR} = \frac{I_{\max}}{I_{zn}}$$

7. W kolumnach 13 i 14 podano średnie wartości przyspieszenia  $|\varepsilon_p|$  dla rozruchu i opóźnienia  $|\varepsilon_n|$  dla hamowania, dla pełnych zakresów ruchów poszczególnych osi robota.

8. W kolumnie 15 podano maksymalne prędkości ruchów w osiach robota, jakie napęd osiągał przy zaprogramowaniu ruchu z 100 % prędkością.

Tabela 1

Rubryka nr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Nazwa osi	Obciążenie kg	Mst+		Mst-		t <sub>p</sub> <sup>+</sup>	t <sub>p</sub> <sup>-</sup>	t <sub>h</sub> <sup>+</sup>	t <sub>h</sub> <sup>-</sup>	ΔU mV	Δn' ΔM	ω <sub>max</sub>	k <sub>ir</sub>	ε <sub>p</sub>	ε <sub>h</sub>	W <sub>max</sub>
		1,3%	50%	1,3%	50%											
φ	0	0,25	0,75	0,26	0,72	0,25	0,8	0,6	0,7	78	0,015	0,77	1,5	1,75	2,54	$\frac{2,68}{155}$
	60	0,25	0,72	0,3	0,76	1,05	1,05	0,55	0,55	70	0,055	0,72	1,5	1,05	2,50	$\frac{2,5}{146}$
θ	0	0,5	0,43	0,5	0,26	0,38	0,48	0,32	0,44	180	0,22	0,94	1,3	/	/	/
		-0,16	0,23	-0,17	0,2											
60	0,16	0,2	0,13	0,21	0,4	0,4	0,55	0,5	175	0,21	0,81	1,3	/	/	/	
		0,18	0,46	0,14												0,48
α	0	0,75	1,6	0,47	1,44	0,26	0,26	0,54	0,34	110	0,23	0,79	2,8	/	/	/
		0,23	2,2	-0,09	1,3											
60	0,72	0,72	0,47	1,7	0,3	0,32	1,0	0,26	110	0,18	0,8	2,8	/	/	/	
		0,19	2,5	-0,1												1,44
V <sub>2</sub>	0	0,50	0,65	0,51	0,64	0,25	0,35	0,45	0,55	85	0,10	0,78	1,2	2,83	2,46	$\frac{2,75}{157}$
		0,81	1,0	0,86	1,0											
60	0,57	0,71	0,56	0,7	0,3	0,35	0,45	0,65	85	0,13	0,80	1,3	2,86	2,39	$\frac{2,83}{16}$	
		0,86	1,1	0,87											0,99	
t	0	0,43	0,84	0,62	0,87	0,35	0,4	0,58	0,55	385	0,15	0,83	1,4	1,94	2,02	$\frac{2,18}{125}$
		0,51	0,94	0,87	1,06											
60	0,51	0,94	0,87	1,06	0,3	0,4	0,5	0,5	700	0,10	0,82	1,6	1,83	2,16	$\frac{2,18}{124}$	
		0,51	0,94	0,87											1,06	
V <sub>1</sub>	0	0,1	0,33	0,1	0,31	0,4	0,4	0,5	0,5	15	0,078	0,76	1,3	0,95	1,07	$\frac{1,20}{68}$
	60	/	/	/	/											/
φ*	0	0,28	0,72	0,32	0,67	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	$\frac{2,05}{115}$
		0,28	0,72	0,32	0,67											
60	0,29	/	0,33	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	$\frac{1,73}{99}$	
		0,29	/	0,33											/	
V <sub>2</sub> *	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	60	0,44	0,65	0,53	0,65											
	0,79	1,3	1,1	1,12												
t*	0	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	60	0,56	1,01	0,58	1,01											
	0,83	1,13	0,72	0,43												

- φ\* - pomiary przy pracy z maksymalnym wyścięgiem robota
- V\* - pomiary przy położeniu osi t z ciężarem ustawionym prostopadle do osi α
- t\* - pomiary przy ruchach osi t z ciężarem przemieszczanym w płaszczyźnie pionowej.

## 2.1.2. Badania powtarzalności pozycjonowania.

Badania powtarzalności pozycjonowania wykonano przy obciążeniu robota masą 60 kg. Pomiary powtarzalności pozycjonowania zostały wykonane w pracy AUTO, z wykorzystaniem programu zawierającego:

- część stałą stanowiącą cykl roboczy, w którym wszystkie osie robota poruszają się w pełnych zakresach ruchów,
- wycinki programu, w których realizowany był najazd robota na czujniki pomiarowe, ~~wzajemnie przystopujących kierunkach~~

Prędkość najazdu na czujniki pomiarowe wynosiła 1,3% prędkości maksymalnej. Rozmieszczenie punktów pomiarowych ilustruje rys.1. Po 5-ciu godzinach realizacji części stałej programu pracy robota wykonano po 30 pomiarów dla każdego ze stopni swobody. Wyniki zestawiono w tabelach 2 i 3 i na wykresach<sup>1-6</sup>. Wyliczone wartości powtarzalności pozycjonowania zawiera tabela 4.

## 2.1.3. Określenie sztywności.

Sztywność badano przy pionowym ustawieniu ramienia dolnego i poziomym ustawieniu ramienia górnego robota. Zasilanie pneumatyczne siłowników odciążających wynosiło 0,36 MPa.

Siły obciążające i czujniki pomiarowe przystawiano w punktach zilustrowanych na rys. 2 i 3.

Wyniki pomiarów przedstawiono w tabelach 5 + 8 i na wykresach<sup>7-10</sup>. Podane w tabelach 5 + 8 wyniki pomiarów pozwalają na wyznaczenia tzw. „podatności statycznej”, rozumianej jako wartość maksymalnego przemieszczenia przypadającego na jednostkę obciążenia.

Wg ISO/DP 9283 podatność statyczną wyraża się w  $\text{mm/N}$ .

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 9. Dla porównania podano również wyniki obliczeń podatności statycznej prototypu robota RP120B.

Robot RP-120 S

Sprządzenie powtarzalności pozycjonowania

L.p.	stopień swobody			L.p.	stopień swobody		
	Y	RG	RD		Y	RG	RD
	[mm]				[mm]		
1	0,00	0,00	0,00	23	-0,11	-0,02	-0,08
2	-0,07	+0,04	-0,10	24	-0,12	-0,08	-0,07
3	-0,03	-0,08	-0,10	25	-0,34	0,00	-0,02
4	0,00	0,00	-0,12	26	-0,06	-0,06	-0,07
5	-0,10	0,00	-0,11	27	-0,60	-0,05	-0,05
6	+0,08	-0,08	-0,03	28	-0,70	-0,02	-0,04
7	-0,10	0,00	-0,10	29	-0,60	-0,10	-0,06
8	-0,03	-0,06	-0,10	30	-0,30	+0,01	-0,05
9	+0,23	-0,03	-0,11				
10	-0,07	+0,01	-0,08				
11	-0,10	-0,08	-0,10				
12	-0,08	-0,02	-0,12				
13	-0,10	-0,05	-0,08				
14	+0,40	-0,10	-0,02				
15	+0,40	-0,06	-0,08				
16	+0,21	-0,09	-0,08				
17	-0,12	-0,05	-0,08				
18	+0,42	-0,05	-0,05				
19	+0,15	-0,10	-0,06				
20	+0,16	-0,01	-0,04				
21	-0,10	-0,07	-0,04				
22	-0,35	-0,09	-0,07				

12



Sprawdzenie powtarzalności pozycjonowania

L.p.	stopień swobody			L.p.	stopień swobody		
	V <sub>2</sub>	t	V <sub>1</sub>		V <sub>2</sub>	t	V <sub>1</sub>
	mm	mm	mm		mm	mm	mm
1	0,00	0,00	0,00	22	+0,05	-0,20	-0,10
2	+0,11	-0,14	-0,10	23	+0,07	-0,16	-0,06
3	+0,10	-0,10	-0,20	24	+0,10	-0,08	-0,11
4	+0,03	+0,05	-0,20	25	+0,05	-0,15	-0,12
5	+0,05	-0,05	-0,12	26	+0,07	-0,16	-0,12
6	+0,10	-0,10	-0,16	27	-0,03	-0,20	-0,13
7	-0,04	+0,20	-0,15	28	-0,05	-0,21	-0,08
8	-0,10	-0,16	-0,15	29	-0,14	-0,28	+0,05
9	+0,09	-0,13	-0,10	30	+0,15	+0,12	+0,35
10	+0,10	-0,20	-0,12				
11	+0,08	-0,16	-0,08				
12	+0,03	-0,16	-0,06				
13	+0,02	-0,12	-0,03				
14	+0,06	-0,20	-0,10				
15	+0,11	+0,15	-0,08				
16	+0,03	-0,14	-0,08				
17	+0,10	-0,13	-0,03				
18	+0,03	-0,02	-0,06				
19	+0,10	-0,20	-0,05				
20	+0,09	-0,14	-0,12				
21	+0,10	-0,06	-0,04				

Tabela 4.

Nr osi	Wartość r/mm/ wg ISO/DP 9283	Wynik ba- dania
I	$\pm 0,8026$	+
II	$\pm 0,0779$	+
III	$\pm 0,0897$	+
IV	$\pm 0,1774$	+
V	$\pm 0.2582$	+
VI	$\pm 0.2849$	+

UWAGA: wynik badania "+", gdy  $r \leq \pm 1$  mm.

14

Sprawdzenie sztywności - kierunek przyłożenia siły - pionowy  
- ciśnienie  $p = 0,36 \text{ MPa}$

L. p.	Siła	Ugięcie - C <sub>1</sub>	Ugięcie - C <sub>2</sub>	Ugięcie - C <sub>3</sub>
	N	mm	mm	mm
1	0	0,00	0,00	0,00
2	100	0,41	0,11	0,00
3	200	0,77	0,21	0,00
4	300	1,19	0,28	0,00
5	400	1,80	0,31	0,00
6	500	2,43	0,38	0,00
7	600	3,44	0,40	0,01
8	500	3,15	0,33	0,01
9	400	2,73	0,20	0,01
10	300	2,10	0,12	0,01
11	200	1,39	0,07	0,01
12	100	0,87	0,01	0,01
13	0	0,31	0,04	0,01

Sprawdzenie sztywności - kierunek przyłożenia siły - poziomy  
- ciśnienie  $p = 0,36 \text{ MPa}$ .

L.p	Siła	Moment.	Ugięcie - C2	
	N	Nm	mm	rad · 10 <sup>-3</sup>
1	0	0	0,00	0,00
2	100	162	0,25	0,18
3	200	324	0,75	0,53
4	300	486	1,21	0,86
5	400	648	1,59	1,13
6	500	810	1,89	1,34
7	400	648	1,78	1,27
8	300	486	1,64	1,16
9	200	324	1,46	1,03
10	100	162	1,24	1,14
11	0	0	0,88	0,62

Sprawdzenie sztywności osi  $\varphi$  „+” „-” położenie „środkowe”

L.p.	Siła	Moment	Ugięcie - $\epsilon_0$	
	N	Nm	mm	rad $\cdot 10^{-3}$
1	0	0	0,00	0,00
2	100	200	1,07	0,59
3	200	400	1,86	1,02
4	300	600	2,64	1,45
5	200	400	2,03	1,11
6	100	200	1,30	0,71
7	0	0	0,44	0,24
8	-100	-200	0,62	0,34
9	-200	-400	1,38	0,76
10	-300	-600	2,03	1,11
11	-200	-430	1,54	0,85
12	-100	-200	0,92	0,50
13	0	0	0,17	0,09

Sprawdzenie sztywności osi  $\varphi_{\parallel+}$   $\varphi_{\parallel-}$  położenie  $\varphi_{\perp+90^\circ}$

L.p.	Siła	Moment	Ugięcie - C.O	
	N	Nm	mm	rad · 10 <sup>-3</sup>
1	0	0	0,00	0,00
2	100	200	0,96	0,53
3	200	400	1,67	0,92
4	300	600	2,37	1,30
5	200	400	1,84	1,01
6	100	200	1,20	0,66
7	0	0	0,38	0,21
8	100	200	0,89	0,49
9	200	400	1,52	0,83
10	300	600	2,21	1,21
11	200	400	1,71	0,94
12	100	200	1,12	0,61
13	0	0	0,40	0,22

Tabela 9.

Kierunek działania siły - rodzaj obciążenia		Podatność statyczna mm/N	
		RP-120 S	RP-120 B
pionowy	$C_1$	$5,73 \cdot 10^{-3}$	$6,18 \cdot 10^{-3}$
	$C_2$	$0,63 \cdot 10^{-3}$	$0,31 \cdot 10^{-3}$
	$C_3$	0	$0,05 \cdot 10^{-3}$
poziomy	$C_2$	$3,78 \cdot 10^{-3}$	$1,70 \cdot 10^{-3}$
poziomy, dla położenia środ- kowego osi I	$\sigma_0$	$8,8 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$
poziomy, dla położenia osi I $+90^\circ$	$C_0$	$7,9 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$

## 2.1.4. Wnioski z badań uzupełniających robota RO-120 S.

1. Wnioski z przebiegu charakterystyk prędkości i prądów dla napędów poszczególnych osi robota.

1.1. Wszystkie prędkości maksymalne są zaniżone w stosunku do wartości, jakie mogą osiągać napędy, średnio o ok. 20 %. Jest to wynikiem przede wszystkim błędów w programie sterującym, który może być stosunkowo łatwo poprawiony.

Wpływa to również na zaniżenie wartości czasów rozruchu  $T_p$  i hamowania  $t_h$ , również o ok. 20 %.

2.1. Ocena ruchu w poszczególnych osiach robota.

2.1.1. Ocena osi I /Ø/.

Duży wzrost momentu oporowego, z 25% do 75% momentu znamionowego dla prędkości 1,3% i 50% powoduje wydłużenie czasów rozruchu. Może to być spowodowane złym montażem i wynikającą stąd niewłaściwą pracą przekładni cykloidalnej.

Na wykresie obciążeń napędu uwidaczniają się przy większych prędkościach krótkotrwałe impulsy, których występowanie jest zbieżne ze słyszalnymi efektami akustycznymi /stuk/.

Osiągana w układzie kartezjańskim prędkość maksymalna 155  $^{\circ}/s$  bez obciążenia i 146  $^{\circ}/s$  z obciążeniem 60 kg. może być podwyższona przy spełnieniu dwóch warunków:

- poprawieniu programu sterującego,
- zmniejszeniu oporów mechanicznych.

Obecnie występuje wyłączenie robota z powodu nadmiernego błędu opóźnienia przy prędkości programowanej w układzie kartezjańskim powyżej 80% /z obciążeniem 60 kg./.

Występują znaczne ograniczenia dla pracy przy maksymalnym wysięgu robota.

Bez obciążenia robota można zaprogramować długotrwałą pracę I osi przy zaprogramowanej prędkości do 75%, natomiast z obciążeniem 60 kg. - do 50%.



Występują ponadto inne niekorzystne zjawiska, wpływające na wydłużenie czasu pozycjonowania robota. Są nimi:

- wzrost czasu dochodzenia do pozycji zaprogramowanej DOKŁADNIE w układzie współrzędnych kartezjańskich /opóźnienie sygnału INPOS/,
  - przy maksymalnym wysięgu robota występuje znaczne przeregulowanie, powodujące przekraczanie pozycji zaprogramowanej /dochodzenie do punktu pozycjonowania w wyniku zmiany kierunku /wycofania/ ruchu/.
- Występuje tu wpływ niedopasowania parametrów ~~sterownika~~ sterownika położenia osi i sterownika mocy do struktury mechanicznej i wynikającego z niej rozkładu obciążeń w robocie.

### 2.1.1. Ocena osi II /0/.

Czasy rozruchu  $t_p$  i hamowania  $t_h$  dla robota nieobciążonego nie przekraczają /odpowiednio/ 0,48 s. i 0,44 s., przy zaledwie 1,3 prądu znamionowego silnika napędowego. Są one porównywalne z osiąganymi w robocie IRb-60. W tym zakresie ocena pozytywna. Przy pracy z obciążeniem 60 kg. występuje jednak pewne przeregulowanie przy dochodzeniu do zaprogramowanego punktu pozycjonowania, co powoduje np. wzrost czasu ruchu w pełnym zakresie o ok. 38 % , w odniesieniu do czasu ruchu robota nieobciążonego. Wynika to z niedopasowania parametrów sterowników napędu do układu mechanicznego napędu. W związku z tym średnia prędkość dla robota obciążonego wynosi ok. 30°/s, gdy przy właściwym dopasowaniu parametrów sterowników teoretycznie można by osiągnąć 45°/s. Prędkość maksymalna dla robota nieobciążonego wynosi ok. 90°/s., średnia zaś poniżej 45°/s /dla maksymalnego zakresu ruchu/.

### 2.1.3. Ocena osi III / /.

Obserwuje się duży wzrost ~~momentu~~ momentu oporowego ze wzrostem prędkości ruchu osi, pomimo zrównoważenia pneumatycznego i niezależnie od tego, czy robot jest obciążony czy nie.

Z analizy wyników pomiarów wynika, że opory ruchu wzrastają z 23% momentu znamionowego silnika przy prędkości 1,3% do 6k. 220 % dla prędkości 50% , w kierunku ruchu „dodatnim” i odpowiednio z 43% do 170% w kierunku „ujemnym”, dla robota nieobciążonego. Sprawia to wrażenie, jakby praca siłownika odciążającego przy większych prędkościach przeszkadzała, a nie pomagała napędowi. Powoduje to konieczność ustawienia nastawy ograniczenia prądowego na poziomie 2,8 wartości prądu znamionowego silnika napędowego, a więc znaczne jego cieplne przeciążenie.

Powyższe zjawiska mogą być spowodowane zmianami ciśnienia sprężonego powietrza w komorze siłownika odciążającego przy zmianach jej objętości, w wyniku zbyt dużego dławienia przepływu w przewodach zasilających.

Średnia prędkość w maksymalnym zakresie ruchu dla robota nieobciążonego wynosi ok. 45°/s przy prędkości maksymalnej ok. 75°/s.

Dochodzenia do zaprogramowanych punktów pozycjonowania bez widocznych przeregulowań.

#### 2.1.4. Ocena osi IV /V<sub>2</sub>/.

Wzrost momentu oporowego wynosi ok. 25 % dla prędkości 50 % względem poziomu oporu dla prędkości 1,3%. Ten niezbyt duży wzrost oporu mechanicznego powoduje uzyskanie dość dobrych warunków dynamicznych pracy IV osi: krótkie czasy rozruchu i hamowania, przyspieszenia rzędu 2,8 rad/s., szybkość maksymalną ok. 160 °/s i średnią ok. 110 °/s przy maksymalnym zakresie ruchu. Nie zauważa się istotnych zmian tych parametrów dla pracy bez obciążenia jak i z obciążeniem 60 kg.

Oś IV /V<sub>2</sub>/ ze względu na asymetryczne usytuowanie względem osi ramienia górnego robota <sup>układów osi V i VI</sup> nie jest mechanicznie wyważona, jednak w dowolnym jej położeniu prąd podtrzymania nie przekracza prądu znamionowego silnika napędowego, niezależnie od obciążenia robota.

Dochodzenia do zaprogramowanych punktów pozycjonowania bez widocznych przeregulowań.

Badanie przeprowadzone przy obciążeniu prostopadłym do osi ramienia górnego, w kierunku najbardziej niekorzystnym wskazują powiększenie się skutków niezrównoważenia osi IV, co powoduje, że prąd podtrzymania przekracza o ok. 10% prąd znamionowy silnika.

Zjawisko to należy uwzględnić przy ewentualnym zabudowaniu na robocie na stałe większych urządzeń, np. transformatora zgrzewarki, ciężkiego chwytaka itp.

#### 2.1.5. Ocena osi V /t/.

Stwierdza się duży wzrost momentu oporowego w zależności od prędkości ruchu, o ok. 90% dla prędkości 50% względem poziomu momentu oporowego przy prędkości 1,3%. Występują również silne pulsacje momentu oporowego w trakcie ruchu. Jest to m.in. efektem nieprzewidzianego działania hamulca elektromagnetycznego, który luzuje napęd w sposób nieciągły, ze względu na spadek napięcia zasilania hamulca poniżej 20 V.

Skutkiem tych zjawisk jest nierównomierna praca osi, niezależnie od obciążenia robota. Jest to widoczne zwłaszcza przy mniejszych prędkościach.

Pod innymi względami praca osi V oceniona może być pozytywnie. Czasy rozruchu i hamowania są dostatecznie krótkie, maksymalna prędkość wynosi ok. 125 °/s., średnia ok. 63 °/s przy maksymalnym zakresie ruchu. Prąd podtrzymania obciążenia robota jest mniejszy od prądu znamionowego silnika napędowego.

Dochodzenie do zaprogramowanych punktów pozycjonowania bez widocznych przeregulowań, niezależnie od obciążenia.

#### 2.1.6. Ocena osi VI/V<sub>1</sub>/.

Konstrukcja VI osi nie została zmieniona w odniesieniu do wersji robota RP-120 B. ocena pracy osi pozytywna.

3. Powtarzalność pozycjonowania robota należy ocenić jako dobrą.

Należy zwrócić uwagę, że powtarzalność pozycjonowania liczona zgodnie z normą ISO 9283 jest zawsze mniejsza, niż obliczana metodą stosowaną dotychczas.

4. Pomimo zastosowania innych napędów i przekładni w pierwszych pięciu osiach robota RP-120 S niż w robocie RP-120 B, wyniki pomiarów sztywności są porównywalne.

5. Wnioski końcowe.

Z przedstawionych wyników badań serwomechanizmów napędowych wynika, że dla poprawy parametrów użytkowych robota RP-120 S należy:

- sprawdzić poprawność montażu oraz charakterystyki przekładni cykloidalnych, zwłaszcza w I-szej osi,
- dokonać analizy dynamicznej robota dla syntezy wymagań odnośnie parametrów nastaw regulatorów sterowników napędów i optymalizacji serwomechanizmów napędowych,
- dokonać korekty w programie sterującym robota w zakresie ustalenia programowanych prędkości maksymalnych dla poszczególnych osi robota,
- wprowadzić zmiany w sterownikach mocy, zwiększające ich moc wyjściową, dla uzyskania możliwości poborów chwilowych prądu rzędu 50 A /przynajmniej dla pierwszych trzech osi robota/ i rzędu 35 A w pracy ciągłej,
- odpowiednio skorygować poziom zabezpieczeń prądowych,
- zmniejszyć spadek napięcia w obwodzie zasilania hamulców elektromagnetycznych przez zastosowanie w kablu robota przewodów o większym przekroju lub metodą równoległego zdublowania przewodów zasilających,
- zwiększyć przekrój poprzeczny przewodów pneumatycznych w instalacji pneumatycznego wyrównoważania robota.

2.2. Badania dodatkowe robota RP-3.

2.2.1. Badania serwomechanizmów.

Badania serwomechanizmów robota RP-3 przeprowadzono identyczną metodą, jak dla robota RP-120S /p. 2.1.1./ . Badano charakterystyki robota nieobciążonego oraz obciążonego masami 2,5 i 5 kg.

Wykresy charakterystyk oznaczono symbolem literowym B i kolejnymi numerami:

- B1.1. - B1.6. : dla I osi,
- B.2.1.-B2.8. : " II "
- B3.1. - B3.8. : " III "
- B4.1. - B4.5 : " IV "
- B5.1. - B5.8. : " V "
- B6.1. - B6.4. : " VI "

Sparametryzowane wyniki pomiarów, odczytane z charakterystyk prądowych i napięciowych, zestawiono w tabeli 10.

Objaśnienie układu tabeli

1. W kolumnach 1-4 podano wielkości względne momentów statycznych dla poszczególnych osi, gdzie:

$$M_{st} = \frac{M_{op}}{M_{zn}}$$

$M_{op}$  - moment oporowy danej osi,

$M_{zn}$  - moment znamionowy silnika napędowego.

Znaki „+” i „-” oznaczają kierunek ruchu, odpowiednio w kierunku „dodatnim” i „ujemnym”.

W przypadkach, kiedy moment oporowy  $M_{op}$  zmienia się podczas ruchu, podano dwie wielkości: w liczniku względny moment statyczny na początku zakresu ruchu, w mianowniku - na końcu zakresu ruchu.

2. W kolumnach 5-8 podano czasy rozruchu  $t_p$  i czasy hamowania  $t_h$ , przy czym  $t_p$  określa się jako czas osiągnięcia  $0,63 n_{max}$ , natomiast  $t_h$  jako czas osiągnięcia  $0,37 n_{max}$  /  $n_{max}$  jest równe 100 % prędkości programowanej/.

3. W kolumnie 9 podano wielkości tętnień /w mV/ sygnału z prądnicy tachometrycznej przy prędkości 1,3 %.

4. W kolumnie 10 podano wskaźnik tłumienia wpływu tętnień momentu oporowego osi robota na tętnienie prędkości, jako skutek działania układu stabilizacji serwomechanizmu. Wskaźnik ten jest liczony jako stosunek wielkości względnych tętnień prędkości obrotowej do względnych tętnień momentu oporowego / $\Delta n' : \Delta M'$ /, gdzie:

$$\Delta n' = \frac{\Delta U}{k_E} \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta M' = \frac{4M}{M_{zn}}$$

$\Delta M$  - tętnienia momentu oporowego,

$\Delta U$  - tętnienia sygnału z prądnicy /w mV/

$k_E$  - stała prądnicy tachometrycznej / w V/1000 obr/min./.

5. W kolumnie 11 podano wielkość przeregulowania prędkości:

$$\gamma = \frac{n_{max}}{n_u}$$

$n_{max}$  - maksymalna prędkość obrotowa,

$n_u$  - wielkość ustalona prędkości obrotowej.

Wielkość przeregulowania określono dla prędkości zaprogramowanej 100 %.

6. W kolumnie 12 podano stosunek /krotność/ prądu rozruchowego do prądu znamionowego silnika napędowego.

Robot RP-3

Tabela 10

Lubryka Nr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Uwagi
Nazwa osi	Obciążenie [kg]	Mst+		Mst-		t <sub>p+</sub>	t <sub>p-</sub>	t <sub>h+</sub>	t <sub>h-</sub>	ΔU	Δθ ΔT	δ	k <sub>1R</sub>	
		1,3%	50%	1,3%	50%									
	kg	-	-	-	-	s	s	s	s	mV	obr/min			
1	0	0,13	0,14	0,13	0,27	0,15	0,15	0,1	0,15	40	0,018	1,02	2,7	
	2,5	/	/	/	/	0,2	0,18	0,15	0,2	/	/	1,09	2,7	
	5	/	0,19	/	0,35	0,2	0,2	0,2	0,2	/	/	1,1	2,7	
2	0	-0,08 0,44	-0,27 0,25	0,02 0,53	0,48 0,88	0,15	0,16	0,2	0,18	18	0,020	1	1,9	
	2,5	0,12 0,12	/	0,31 0,27	/	0,15	0,15	0,15	0,15	23	0,024	1	2,4	
	5	0,42 0	0,69 0,12	0,42 0	0,73 -0,1	0,15	0,18	0,18	0,15	30	0,024	1	2,4	
3	0	0,36 0,02	0,46 0,02	0,36 0,02	0,48 0,02	0,10	0,15	0,2	0,2	20	0,017	1	1,5	
	2,5	0,54 -0,19	/	0,56 -0,17	/	0,13	0,15	0,2	0,2	25	0,022	1	1,9	
	5	0,73 -0,33	1,02 -0,25	0,73 -0,37	0,98 -0,29	0,10	0,15	0,18	0,15	35	0,023	1	2,4	
4	0	0,14	0,28	0,14	0,28	0,14	0,16	0,2	0,18	50	0,033	1	0,6	
	2,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	5	0,66	/	0,61	/	0,14	0,14	0,18	0,2	60	0,034	1	1,4	
5	0	0,14	0,25	0,17	0,23	0,13	0,13	0,16	0,17	45	0,029	1	0,5	
	2,5	0,35	/	0,37	/	0,13	0,13	0,14	0,16	70	0,035	1	0,7	
	5	0,57	0,75	0,57	0,75	0,12	0,12	0,18	0,18	45	0,029	1	1,0	
6	0	0,17	0,23	0,17	0,22	0,12	0,15	0,18	0,18	220	0,089	1	0,5	
	2,5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
	5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	



## 2.2.2. Badania powtarzalności pozycjonowania.

Badania powtarzalności pozycjonowania wykonano przy obciążeniu manipulatora robota trzpieniem pomiarowym /rys.4 ./. Pomiarów wykonano przy wykorzystaniu programu pracy automatycznej, zawierającego:

- część stałą stanowiącą cykl roboczy, w którym robot wykonywał ruchy w pełnych zakresach poszczególnych osi i przy prędkościach maksymalnych,

- wycinki programu, w których realizowany był najazd trzpienia pomiarowego zamocowanego na końcówce kołnierzonej robota, kolejno dla każdej osi robota na przyporządkowany tej osi czujnik pomiarowy. Prędkość najazdu wynosiła 1,3 % prędkości maksymalnej.

Pomiary wykonano po 15 minutach odtwarzania powyższego programu, odczytując wyniki w 30-tu cyklach pomiarowych. Wyniki zawiera tabela 11. Zilustrowano je również na wykresach 11-16. Wyliczone zgodnie z ISO/DP 9283 wartości powtarzalności pozycjonowania zawiera tabela 12.

## 2.2.3. Określenie sztywności.

Pomiary sztywności wykonano dla robota znajdującego się w stanie PRACA. Manipulator robota obciążano kolejno masami: 1, 1,5, 2, 2,5, 3 i 3,5 kg <sup>(rys.5)</sup>. Do pomiaru ugięć zastosowano czujniki zegarowe o rozdzielczości 0,01 mm. i zakresie pomiarowym 10 mm.

Wyniki pomiarów przedstawiono w tabelach 13-18 oraz na wykresach 17-22.

Sprawdzenie

powtarzalności

porównawczą

MR 2,5/6

Tabela 11

L.p.	$O_s I$	$O_s II$	$O_s III$	$O_s V$	$O_s IV$	$O_s VI$
	[mm]					
1	2	3	4	5	6	7
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,02	-0,02	-0,03
3	0,00	-0,01	-0,01	0,00	-0,03	-0,03
4	0,00	-0,01	-0,03	0,05	-0,02	-0,04
5	0,01	-0,04	-0,04	0,03	-0,01	-0,04
6	0,02	-0,02	-0,04	-0,01	0,00	-0,03
7	0,02	0,00	-0,02	0,00	-0,01	-0,04
8	0,02	-0,01	-0,07	-0,07	0,02	-0,04
9	0,02	-0,01	-0,12	-0,05	0,00	-0,05
10	0,03	-0,04	-0,14	-0,35	0,01	-0,18
11	0,03	-0,12	-0,15	-0,35	0,01	-0,30
12	0,03	-0,20	-0,17	-1,01	0,01	-0,52
13	0,02	-0,30	-0,61	-1,05	0,00	-0,73
14	0,05	-0,81	-1,24	-1,67	0,00	-0,77
15	0,05	-1,53	-1,59	-1,34	-0,03	-0,45
16	0,05	-1,16	-1,39	-1,35	0,00	-0,54
17	0,05	-1,09	-0,80	-0,80	-0,02	-0,45
18	0,06	-1,15	-0,84	-0,75	-0,01	-0,35
19	0,06	-1,17	-0,86	-0,75	-0,01	-0,30
20	0,07	-1,08	-0,79	-0,75	-0,02	-0,36
21	0,07	-1,27	-0,73	-0,66	-0,02	-0,32
22	0,04	-1,25	-0,71	-0,62	-0,02	-0,22

1	2	3	4	5	6	7
23	0,07	-1,40	-0,60	-0,53	-0,03	-0,22
24	0,06	-1,14	-0,58	-0,51	-0,01	-0,22
25	0,03	-1,28	-0,59	-0,57	-0,02	-0,22
26	0,07	-1,32	-0,58	-0,70	0,00	-0,22
27	0,08	-1,29	-0,56	-0,57	0,00	-0,20
28	0,07	-1,12	-0,44	-0,46	0,00	-0,16
29	0,11	-1,25	-0,56	-0,42	-0,01	-0,19
30	0,07	-1,21	-0,51	-0,59	0,00	-0,19

Tabela 12

Nr osi	Wartość r /mm/	Wynik badania
I	$\pm 0,0643$	+
II	$\pm 1,0075$	-
III	$\pm 1,0925$	-
IV	$\pm 0,0248$	+
V	$\pm 1,1677$	-
VI	$\pm 0,556$	-

Uwaga:  $r_{\max} \pm 0,15$  mm. „+” - wynik pozytywny, „-” - wynik negatywny.

## Sprawdzenie sztywności osi I

Kier +

L.p	M	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>śr.</sub>	B <sub>śr.</sub>
	Nm.	mm				rad · 10 <sup>-3</sup>
1	0	0	0	0	0	0
2	7,7	0,27	0,44	0,41	0,37	0,40
3	38,5	1,45	1,63	1,67	1,58	1,72
4	77,0	2,84	2,95	2,95	2,91	3,16
5	38,5	1,84	2,02	2,02	1,96	2,13
6	7,7	1,09	1,00	1,02	1,04	1,13
7	0	0,50	0,60	0,57	0,56	0,61
Kier -						
1	0	0	0	0	0	0
2	7,7	0,40	0,40	0,38	0,39	0,42
3	38,5	1,80	1,78	1,85	1,81	1,97
4	77,0	3,60	3,47	3,45	3,52	3,83
5	38,5	2,46	2,30	2,30	2,35	2,55
6	7,7	1,22	1,02	1,06	1,10	1,20
7	0	0,67	0,50	0,50	0,56	0,61

Sprawdzenie sztywności osi II

Kier +

L.p	M	B1	B2	B3	B sr.	B sr.
	Nm	mm				rad · 10 <sup>-3</sup>
1	0	0	0	0	0	0
2	9,6	0,15	0,20	0,18	0,18	0,42
3	48,0	0,42	0,52	0,50	0,48	1,12
4	96,0	0,90	0,95	0,90	0,92	2,14
5	48,0	0,52	0,57	0,52	0,54	1,26
6	9,6	0,25	0,30	0,27	0,27	0,63
7	0	0,10	0,15	0,12	0,12	0,28
Kier -						
1	0	0	0	0	0	0
2	9,6	0,50	0,55	0,57	0,54	1,26
3	48,0	0,90	1,05	1,00	0,98	2,28
4	96,0	1,35	1,35	1,30	1,33	3,09
5	48,0	0,95	1,02	1,02	1,00	2,32
6	9,6	0,70	0,78	0,80	0,76	1,77
7	0	0,60	0,70	0,70	0,67	1,56

Sprawdzenie sztywności ośi III

Kier +

L.p	M	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>śr.</sub>	B <sub>śr.</sub>
	Nm	mm				rad · 10 <sup>-3</sup>
1	0	0	0	0	0	0
2	5,9	0,10	0,11	0,11	0,11	0,34
3	29,5	0,60	0,61	0,61	0,61	1,91
4	59,0	1,00	0,97	0,98	0,98	3,06
5	29,5	0,75	0,73	0,73	0,74	2,31
6	5,9	0,51	0,49	0,50	0,50	1,56
7	0	0,43	0,41	0,41	0,42	1,31
Kier -						
1	0	0	0	0	0	0
2	5,9	0,05	0,07	0,05	0,06	0,19
3	29,5	1,07	1,06	1,05	1,06	3,31
4	59,0	2,02	2,03	2,02	2,02	6,31
5	29,5	1,55	1,54	1,55	1,55	4,84
6	5,9	0,70	0,68	0,70	0,69	2,16
7	0	0,55	0,54	0,55	0,55	1,71

Sprawdzenie sztywności osi IV.

Kier +

L.p	M	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>śr.</sub>	B <sub>śr.</sub>
	Nm	mm				rad · 10 <sup>-3</sup>
1	0	0	0	0	0	0
2	2,2	0,11	0,09	0,09	0,10	2,00
3	11,0	0,17	0,15	0,16	0,16	3,20
4	22,0	0,20	0,18	0,19	0,19	3,80
5	11,0	0,16	0,14	0,14	0,15	3,00
6	2,2	0,10	0,08	0,08	0,09	1,80
7	0	0,02	0,06	0,05	0,04	0,80
Kier -						
1	0	0	0	0	0	0
2	2,2	0,05	0,07	0,06	0,06	1,20
3	11,0	0,25	0,26	0,25	0,25	5,00
4	22,0	0,41	0,40	0,40	0,40	8,00
5	11,0	0,29	0,28	0,28	0,28	5,60
6	2,2	0,10	0,12	0,12	0,11	2,20
7	0	0,06	0,07	0,06	0,06	1,20



Sprawdzenie sztywności osi  $\bar{V}$ 

Kier +

L.p	M	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>śr.</sub>	B <sub>śr.</sub>
	Nm	mm				rad · 10 <sup>-3</sup>
1	0	0	0	0	0	0
2	2,0	0,48	0,60	0,58	0,55	9,17
3	10,0	2,17	2,22	2,20	2,20	36,67
4	20,0	2,70	2,72	2,70	2,71	45,17
5	10,0	2,40	2,42	2,40	2,41	40,17
6	2,0	2,13	2,12	2,10	2,13	35,50
7	0	1,55	1,50	1,46	1,50	25,00
Kier -						
1	0	0	0	0	0	0
2	2,0	0,20	0,30	0,28	0,26	4,33
3	10,0	1,60	1,70	1,70	1,67	27,83
4	20,0	1,90	2,02	2,00	1,97	32,83
5	10,0	1,70	1,80	1,80	1,77	29,50
6	2,0	1,46	1,57	1,56	1,53	25,50
7	0	1,30	1,44	1,43	1,39	23,17

Sprawdzenie sztywności osi  $\overline{VI}$

Tabl. 18.

Kier +

L <sub>p</sub>	M	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>śr.</sub>	B <sub>śr.</sub>
	Nm	mm				rad · 10 <sup>-3</sup>
1	0	0	0	0	0	0
2	2,2	2,70	2,76	2,75	2,74	54,80
3	11,0	3,46	3,56	3,54	3,52	70,40
4	22,0	3,90	4,10	4,07	4,02	80,40
5	11,0	3,40	3,75	3,72	3,62	72,40
6	2,2	3,00	3,16	3,15	3,10	62,00
7	0	2,66	2,88	2,85	2,80	56,00
Kier -						
1	0	0	0	0	0	0
2	2,2	2,46	2,80	2,78	2,68	53,60
3	11,0	3,42	3,77	3,75	3,65	73,00
4	22,0	4,02	4,36	4,38	4,25	85,00
5	11,0	3,40	4,00	4,02	3,81	76,20
6	2,2	3,00	3,35	3,36	3,24	64,80
7	0	2,60	2,95	2,96	2,84	56,80

2.2.4. Wnioski z badań dodatkowych robota RP-3.

1. Badania serwomechanizmów wykazały nadmierne tętnienia prędkości VI osi, spowodowane dużymi tętnieniami momentu oporowego mechanizmu tej osi ~~zwiększeniem~~ i zbyt słabym efektem stabilizującym sterownika. O ile efekt stabilizujący sterownika można znacznie poprawić, zbyt duże zmiany oporów mechanicznych wymagają analizy i poprawienia konstrukcji węzłów łożyskowych i mechanizmu przekładniowego.

Ramiona robota /osie II i III/ są lekko niezrównoważone, o czym świadczą ujemne wartości momentów podanych w kolumnach 1-4 tabeli. Nie ma to jednak istotnego wpływu na przyspieszenia i opóźnienia ruchu, wielkości których są dla obu osi mało zależne od obciążenia robota.

Porównanie czasów rozruchu i hamowania robota RP-3 z robotem IRb-6 przedstawia się następująco:

Nr osi	RP-3				IRb-6	
	Obciążenie /kg/				Obciążenie =0	
	0		5		$t_n$	$t_h$
$t_n$	$t_h$	$t_n$	$t_h$			
I	0,15	0,12	0,2	0,2	0,14	0,2
II	0,16	0,19	0,17	0,17	0,12	0,14
III	0,13	0,13	0,2	0,17	0,1	0,15
IV	0,15	0,19	0,14	0,19	brak odpowiednika	
V	0,13	0,17	0,17	0,18	0,08	0,15
VI	0,14	0,18	-	-	0,09	0,14

Z powyższych danych można wnioskować, że prototyp robota RP-3 posiada dość dobre przyspieszenia, na ogół nieznacznie mniejsze, niż robot IRb-6. Istnieje możliwość zwiększenia przyspieszeń przez stosunkowo niewielkie podwyższenie poziomu ograniczenia prądowego w sterownikach mocy silników napędowych oraz korektę charakterysty-

ki wzmocnienia /tzw. paraboli/ w sterownikach położenia osi.

2. Uzyskano pozytywne wyniki badań powtarzalności pozycjonowania

tylko dla osi I i IV. Odstępstwa od wymagań i wyników uzyskanych w badaniach prototypu, wykonanych w 1991 r., dla pozostałych osi są bardzo znaczące. Zaskakująco dobre wyniki pomiarów uzyskano dla osi IV, mimo negatywnych wyników osi II i III,

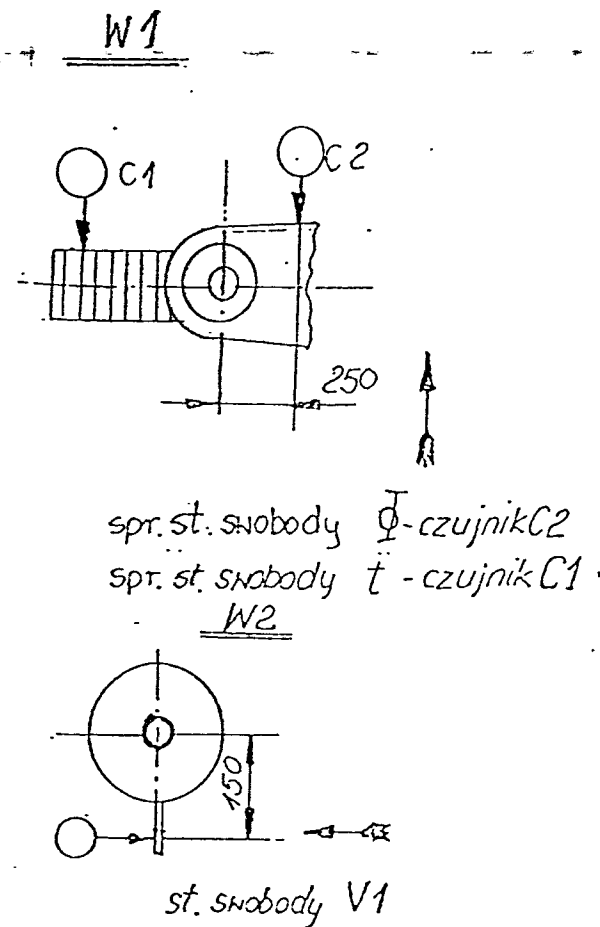
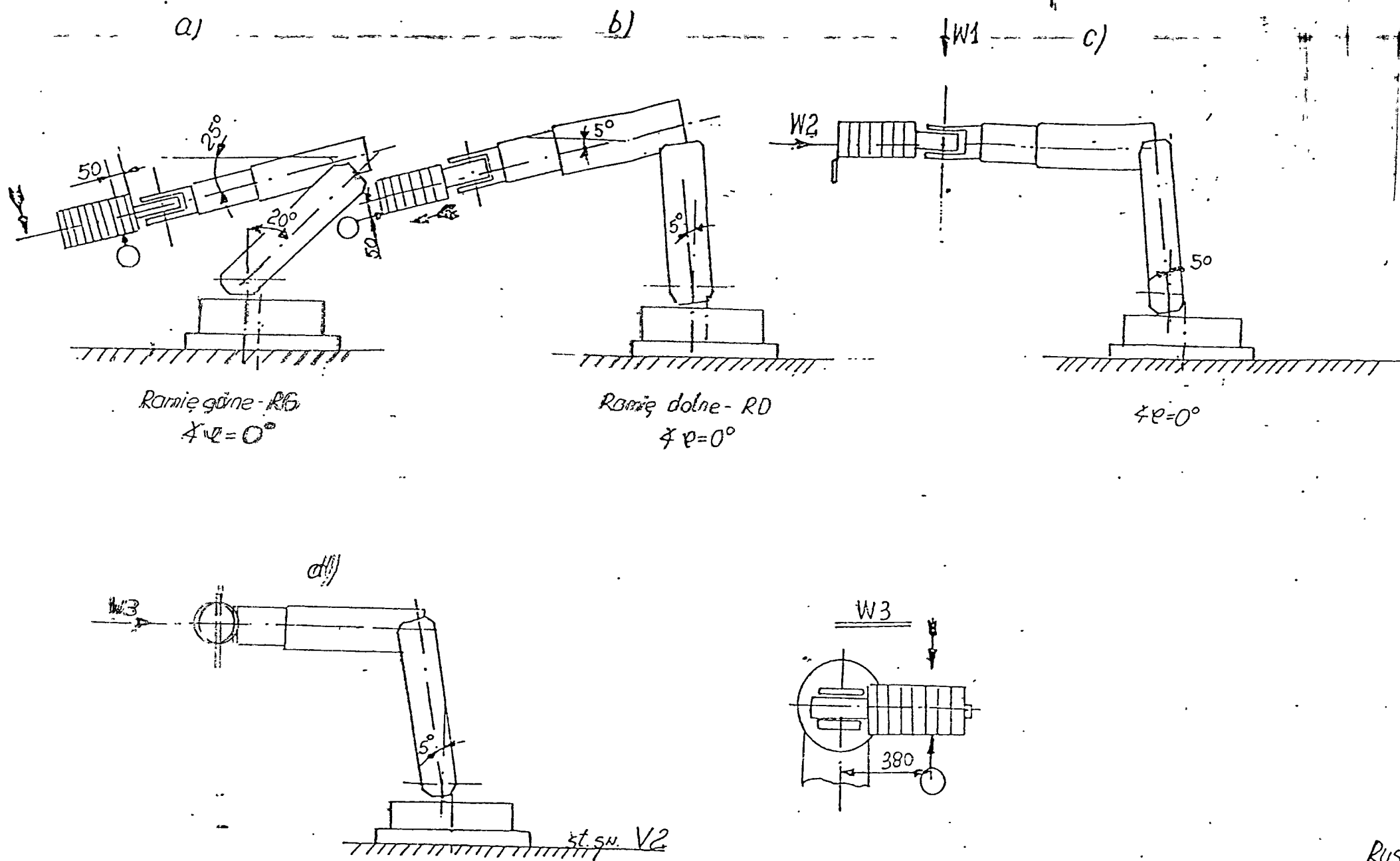
Analiza wyników pomiarów dla osi II i III ujawniła skokowe zmiany wartości pomiarów powtarzalności, przy czym występują pewne charakterystyczne cechy polegające na tym, że po serii pomiarów z rozrzutem rzędu 0,1-0,2 mm. pojawia się pewne przesunięcie o 0,5-1 mm. i następuje ponownie fragment serii pomiarów z małym rozrzutem.

Wytłumaczenie tego zjawiska /a w zasadzie obu wymienionych zjawisk/ można wiązać z różnymi warunkami pomiarów ~~zła~~, a mianowicie z faktem, że dochodzenie do punktu pomiarowego danej osi następowało z bardzo małą prędkością /1,3%/ , gdy pozostałe osie były pozycjonowane przy prędkości zaprogramowanej na 100 %. Tak więc można wysnuć wniosek, że powtarzalność pozycjonowania osi II i III przy prędkości pozycjonowania 100% i mierzona pośrednio przez określenie powtarzalności pozycjonowania osi IV jest bardzo dobra, natomiast bardzo zła , jeżeli osie te są pozycjonowane przy prędkości 1,3 %.

Możliwym do przyjęcia wytłumaczeniem tego zjawiska mogą być z jednej strony zbyt duże luzy w układach przeniesienia napędu, z drugiej zaś strony dość znaczne opory w węzłach łożyskowych. Przy dużych prędkościach, a więc i dużych przyspieszeniach, luzy są kasowane dzięki działaniu znacznego momentu bezwładności.

Nie są one jednak całkowicie kasowane przy prędkościach bardzo małych. Tak więc pozytywnie można ocenić rozwiązania przeniesienia napędów w osiach I i IV i negatywnie dla osi pozostałych.

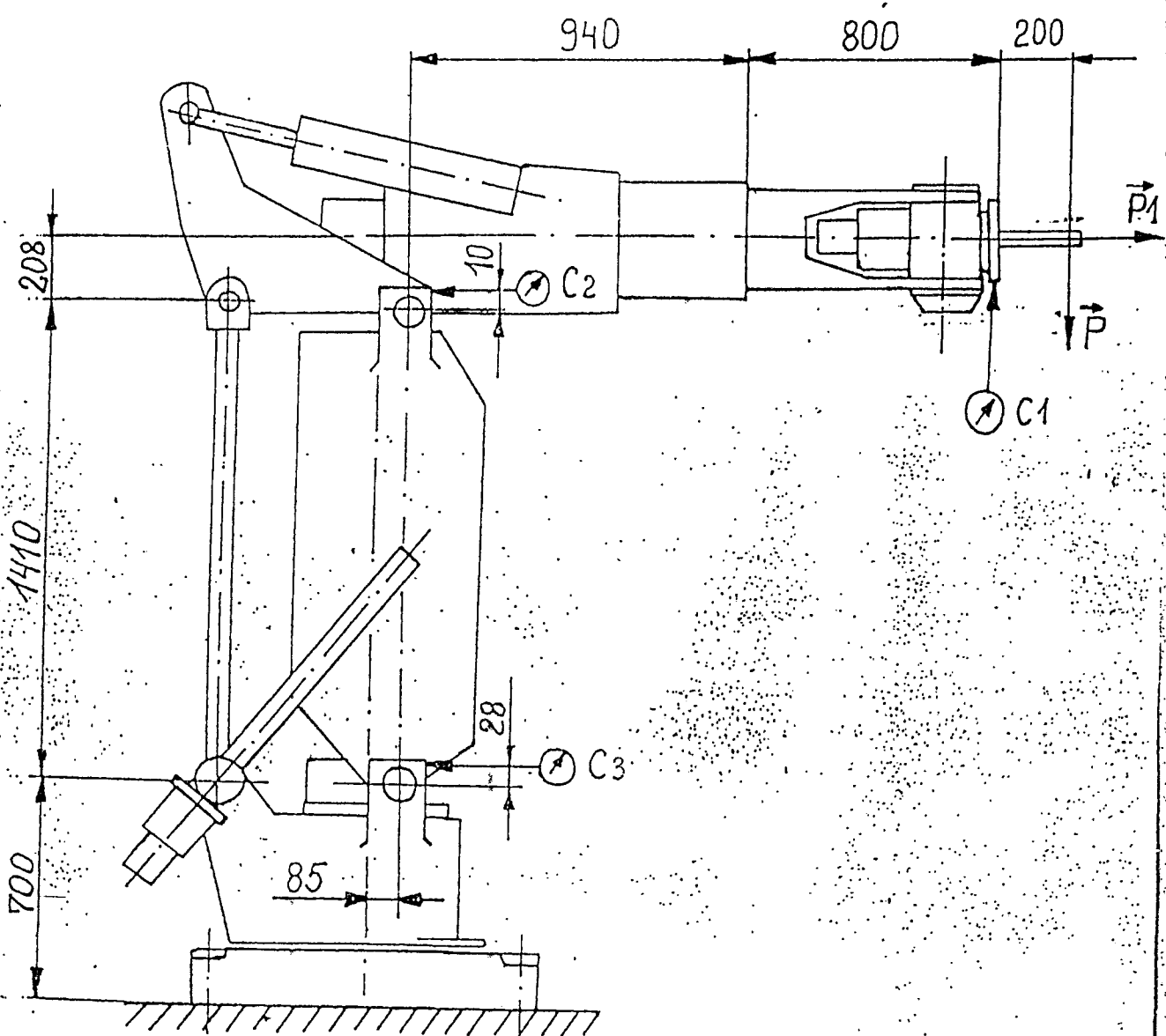
3. Uzyskane wyniki pomiarów sztywności można przyjąć jako wartości dopuszczalne, nieprzekraczalne dla następnych egzemplarzy robotów przegubowych sześciooosiowych, o udźwigu do 2,5 kg.



← — kierunek najazdu

Rys. 1 RP.120. Konfiguracja części manipulacyjnej przy sprawdzeniu pomiarzalności pozycjonowania  
 a) st. swobody: RG (III)  
 b) — II — : RD (II)  
 c) — II — :  $\Phi, t, V1$  (I, V, VI)  
 d) — II — : V2 (IV)

Spis treści



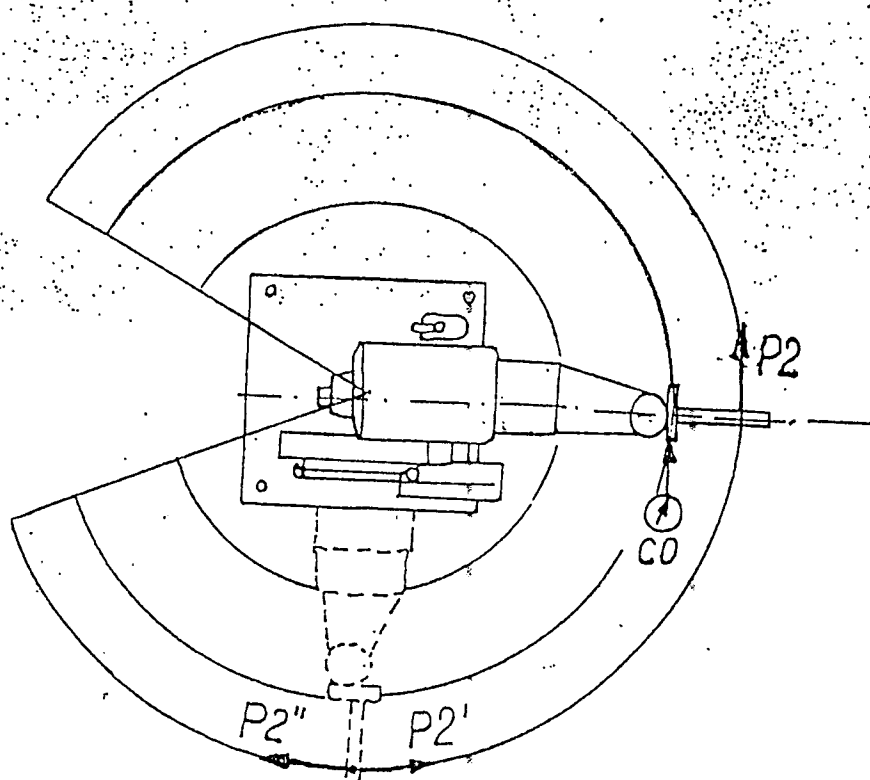
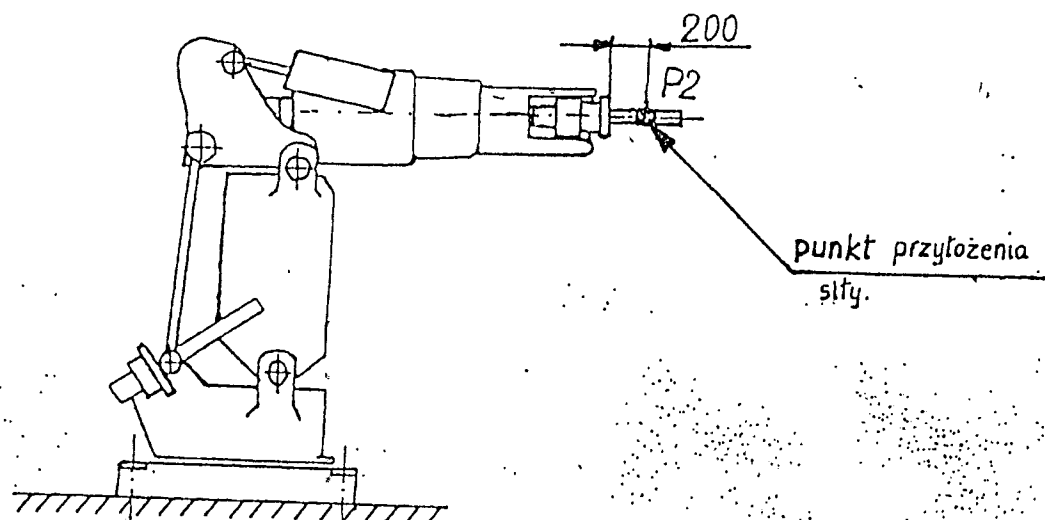
- a) W kierunku pionowym (siła  $\vec{P}$ ).  
 b) W kierunku poziomym (siła  $\vec{P}_1$ ).  
 ⓐ - czujniki zegarowe.

Rys. 2.

43

Opracował				Kier. Pracowni			
Sprawił				Kier. Zakładu			
	Nazwisko	Po	Data		Nazwisko	Podpis	Data

Spis treści



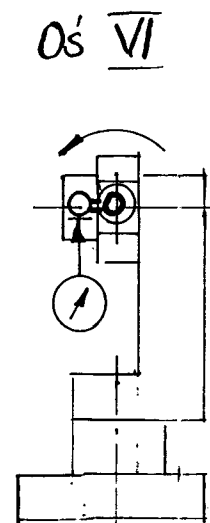
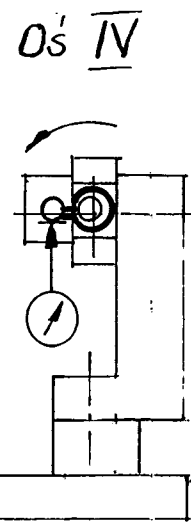
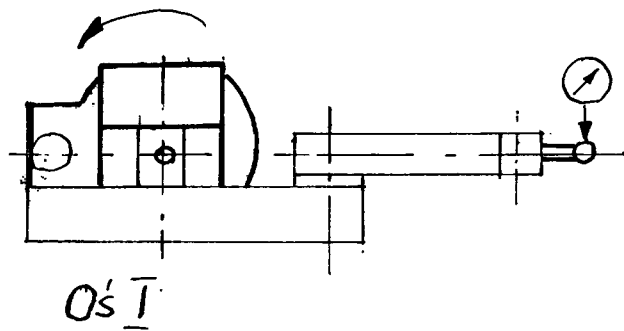
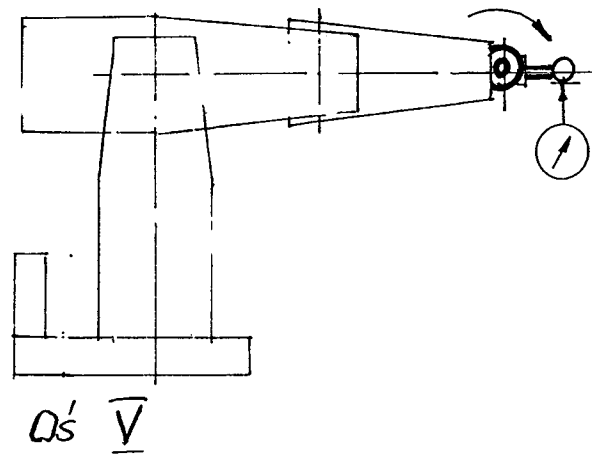
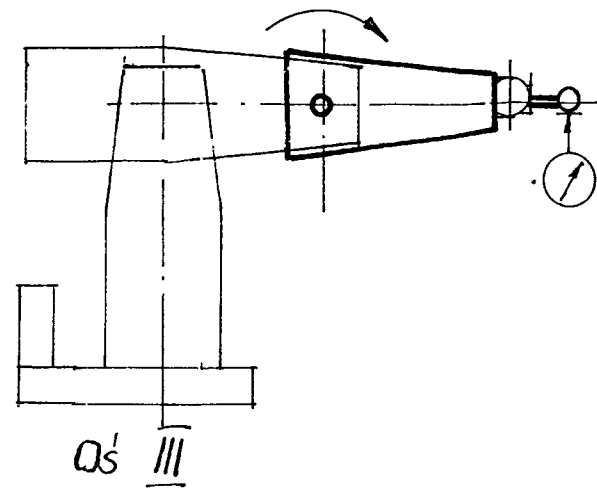
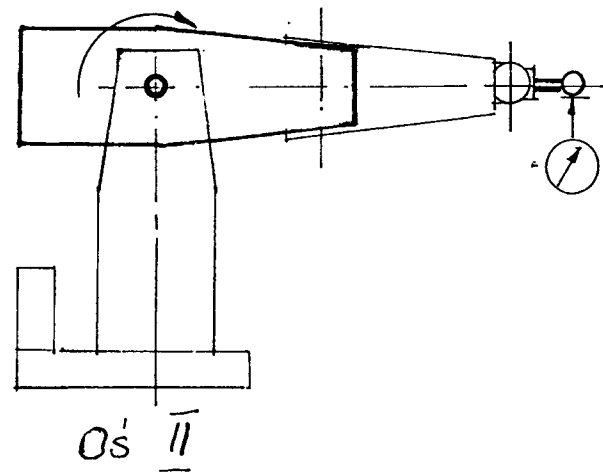
Rys. 3.

4/4

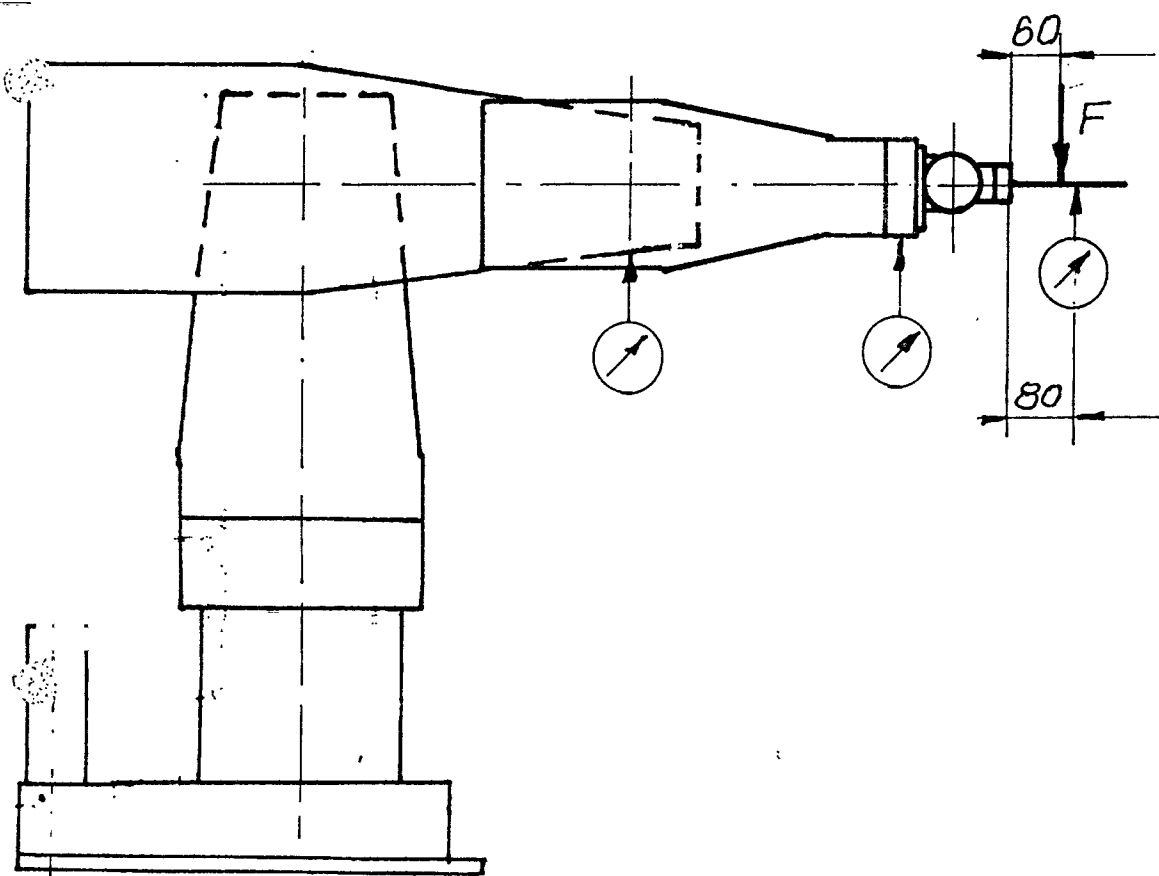
Opracował				Kier. Pracowni			
Sprawdził				Kier. Zakładu			
	Nazwisko	Podpis	Data		Nazwisko	Podpis	Data



3



Rys. 4. Miejsce i sposób najazdu na czujniki zegarowe



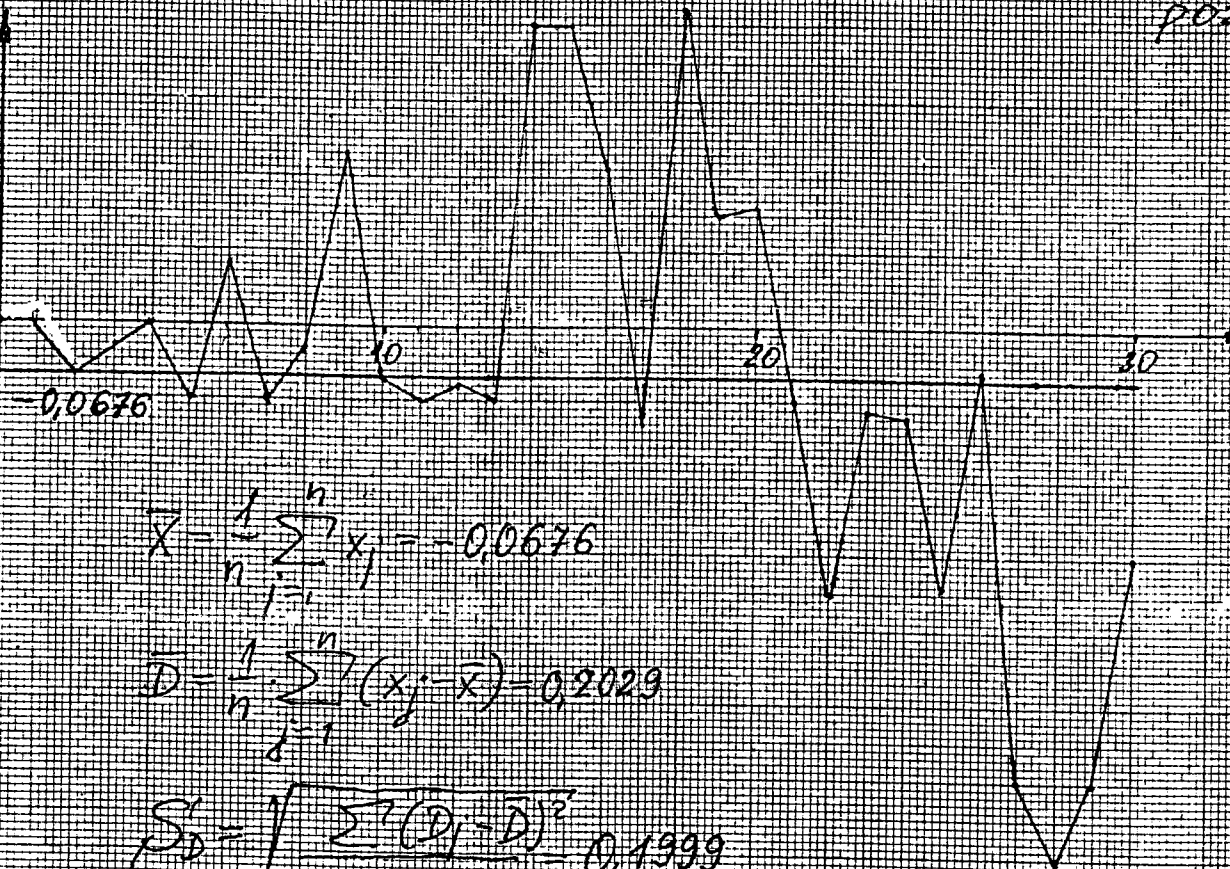
Rys. 5. Położenie ramion i miejsca umieszczenia czujników przy badaniu sztywności robota

Sprawdzenie powtarzalności  
pozygenowania RP 120 S

Stopień swobody: 17

[mm]

0.2  
0.1  
0.00  
-0.1  
-0.2  
-0.3  
-0.4  
-0.5  
-0.6



Ilość cykli

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j = -0,0676$$

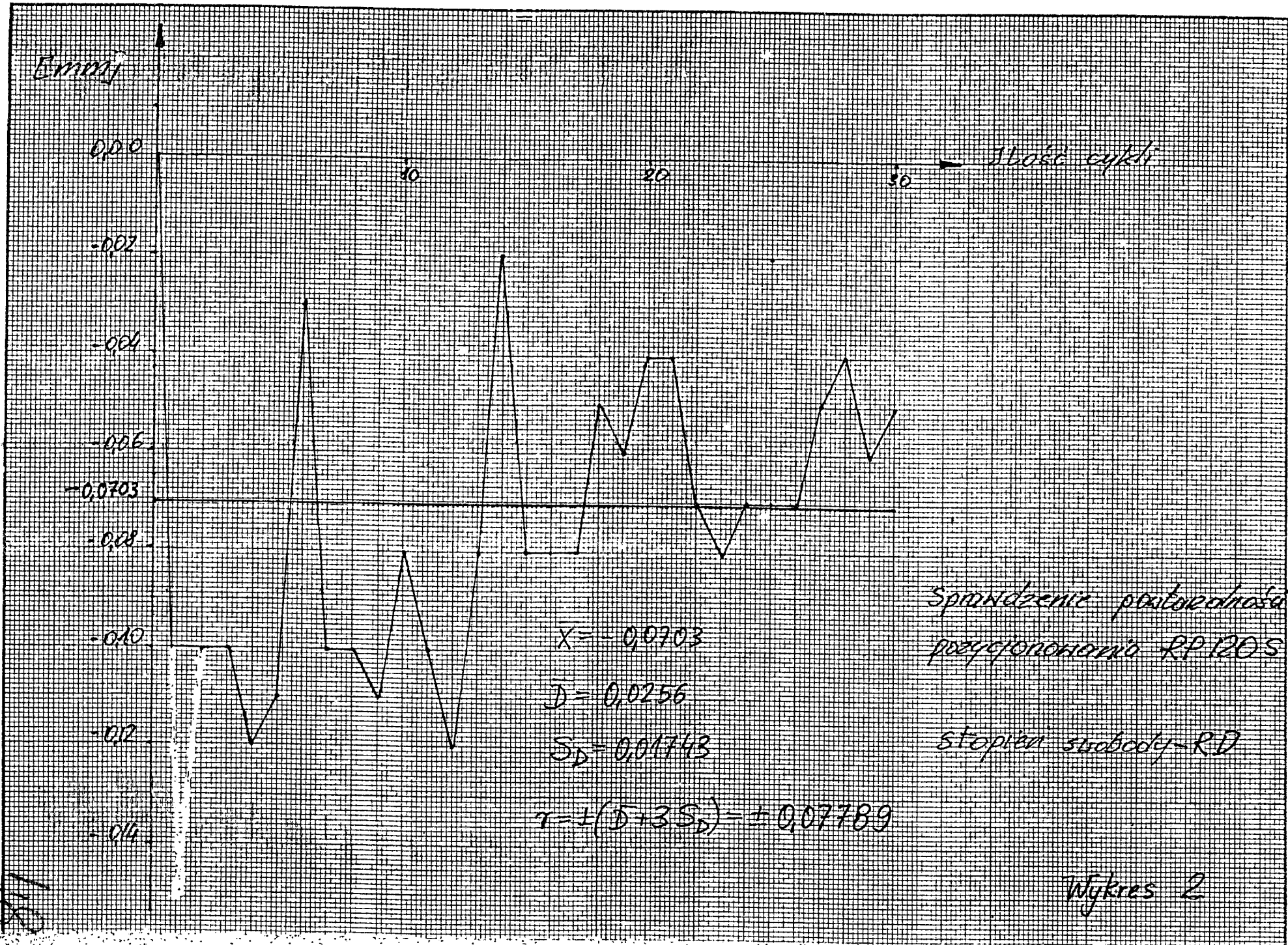
$$D = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 = 0,2029$$

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (D_j - \bar{D})^2}{n-1}} = 0,1399$$

$$r = \pm (\bar{D} + 3 \cdot S_D) = \pm 0,8026$$

Wykres 1

12/17





[mm]

0.04  
0.02  
0.00  
-0.02  
-0.04  
-0.043  
-0.06  
-0.08  
-0.10

10 20 30

→ Ilość cykli

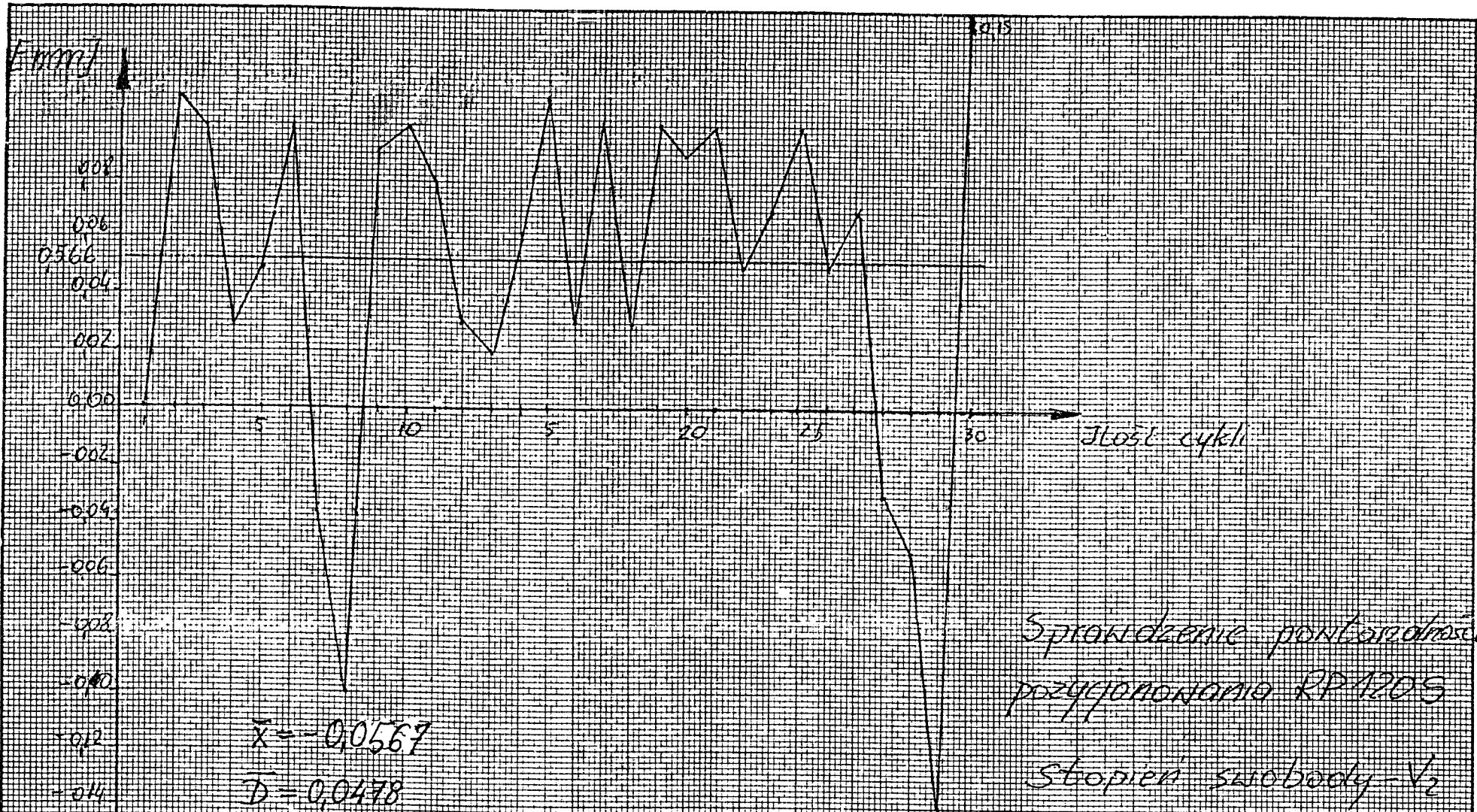
Sprawdzenie powtarzalności  
przycjonowania RP-120 S

Stopień swobody RB

$$\bar{x} = -0,043, \quad \bar{D} = 0,0346, \quad S_D = 0,01836$$
$$r = \pm (\bar{D} + 3S_D) = \pm 0,0897$$

Wykres 3

647



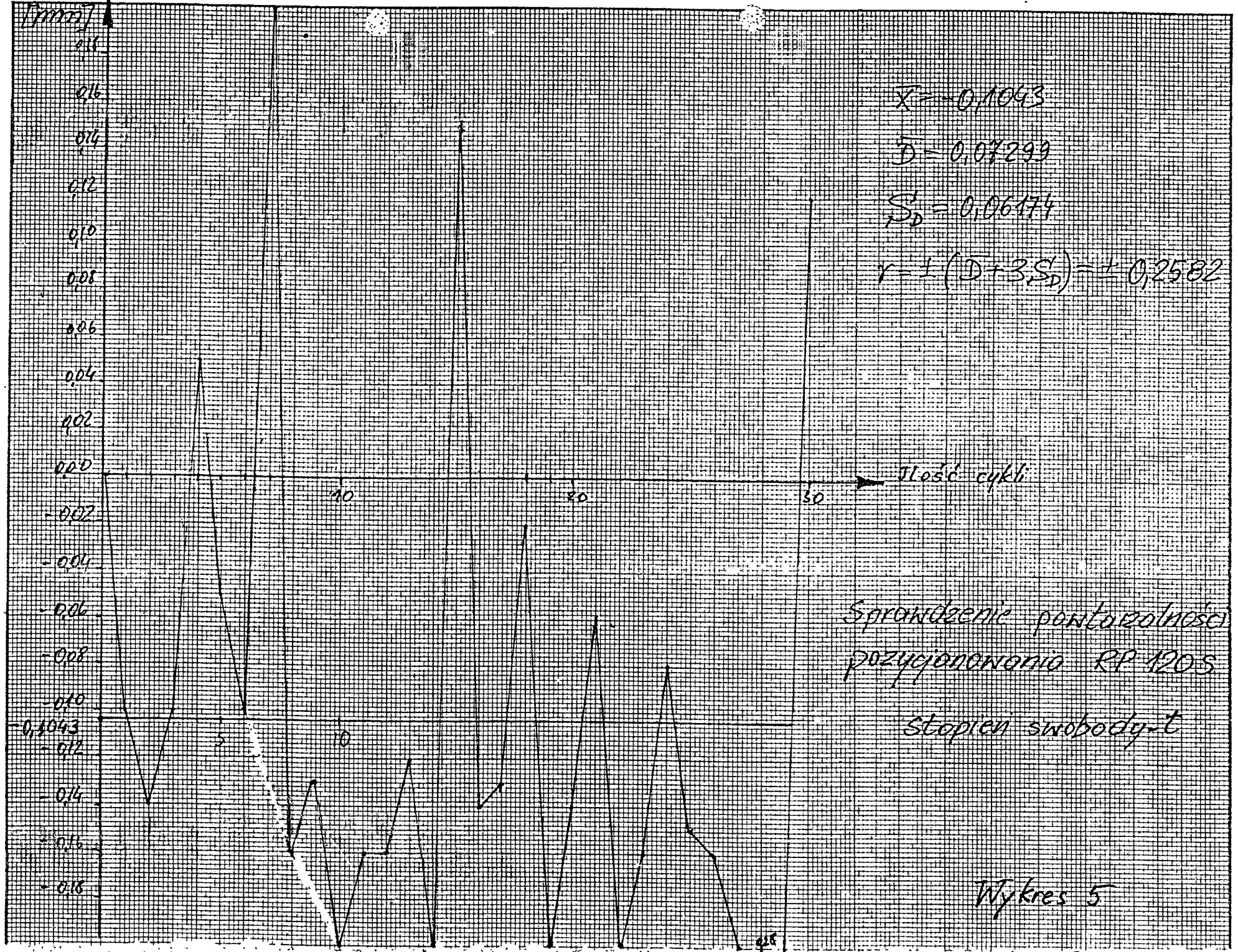
Sprawdzenie poprawności  
 pozycjonowania RP1209  
 stopień swobody -  $\nu_2$

Nyktes 4

50



57



[mm]

0.06  
0.04  
0.02  
0.00  
-0.02  
-0.04  
-0.06  
-0.08  
-0.10  
-0.12  
-0.14  
-0.16  
-0.18  
-0.20

5 10 15 20 25 30

Ilość cykli

-0.0783

$$\bar{x} = -0.0783$$

$$D = 0.05974$$

$$S'_D = 0.07574$$

$$r = 6(D + 3S'_D) = \pm 0.2849$$

Sprawdzenie poprawności  
pozycjonowania RPZOS

stopień swobody  $\nu_1$

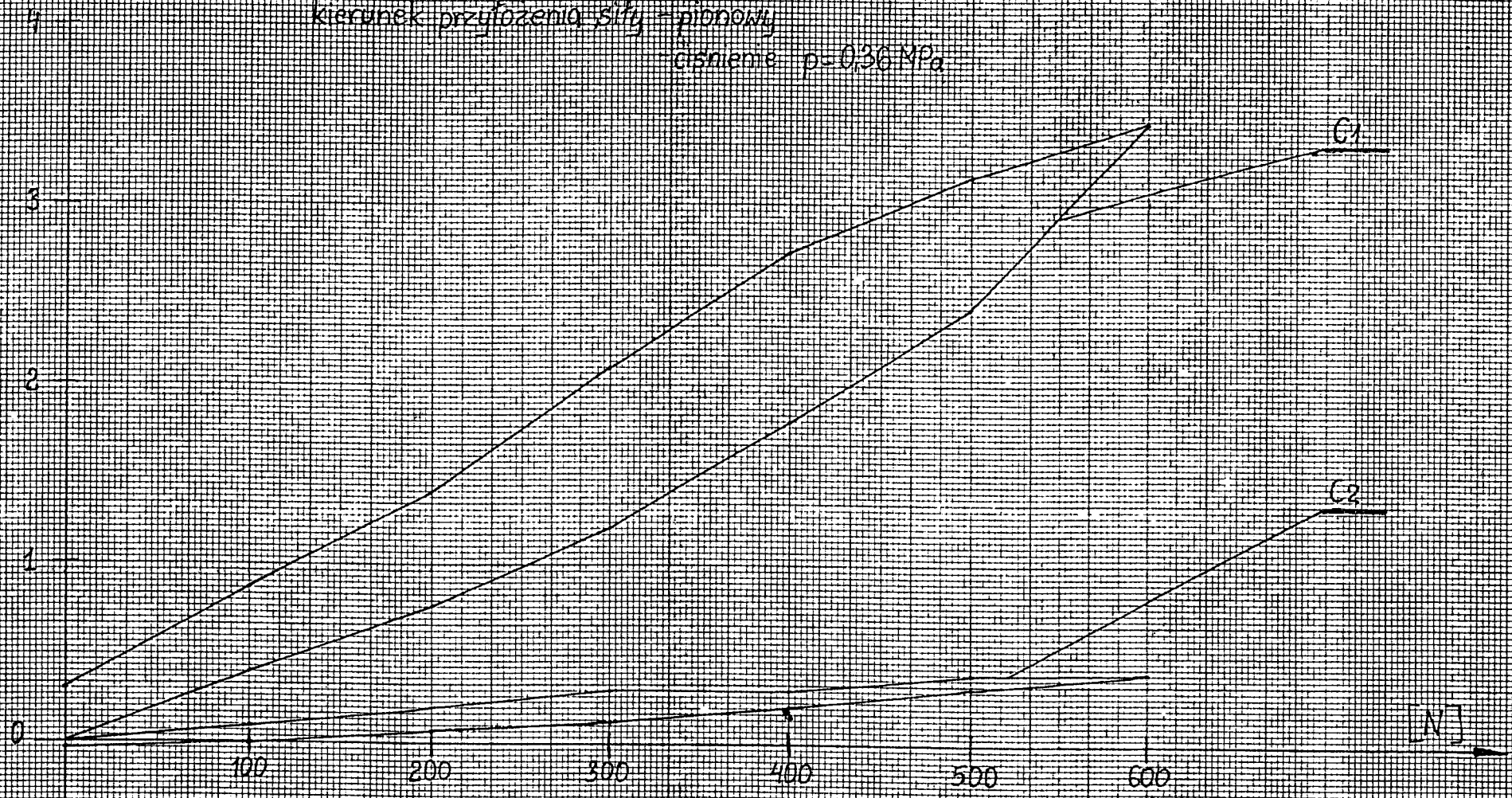
Wykres 6

PC



Ugięcie  
[mm]

Robot RP-120.3  
Sprawdzenie sztywności  
kierunek przyłożenia siły - pionowy  
ciśnienie  $p=0,36 \text{ MPa}$

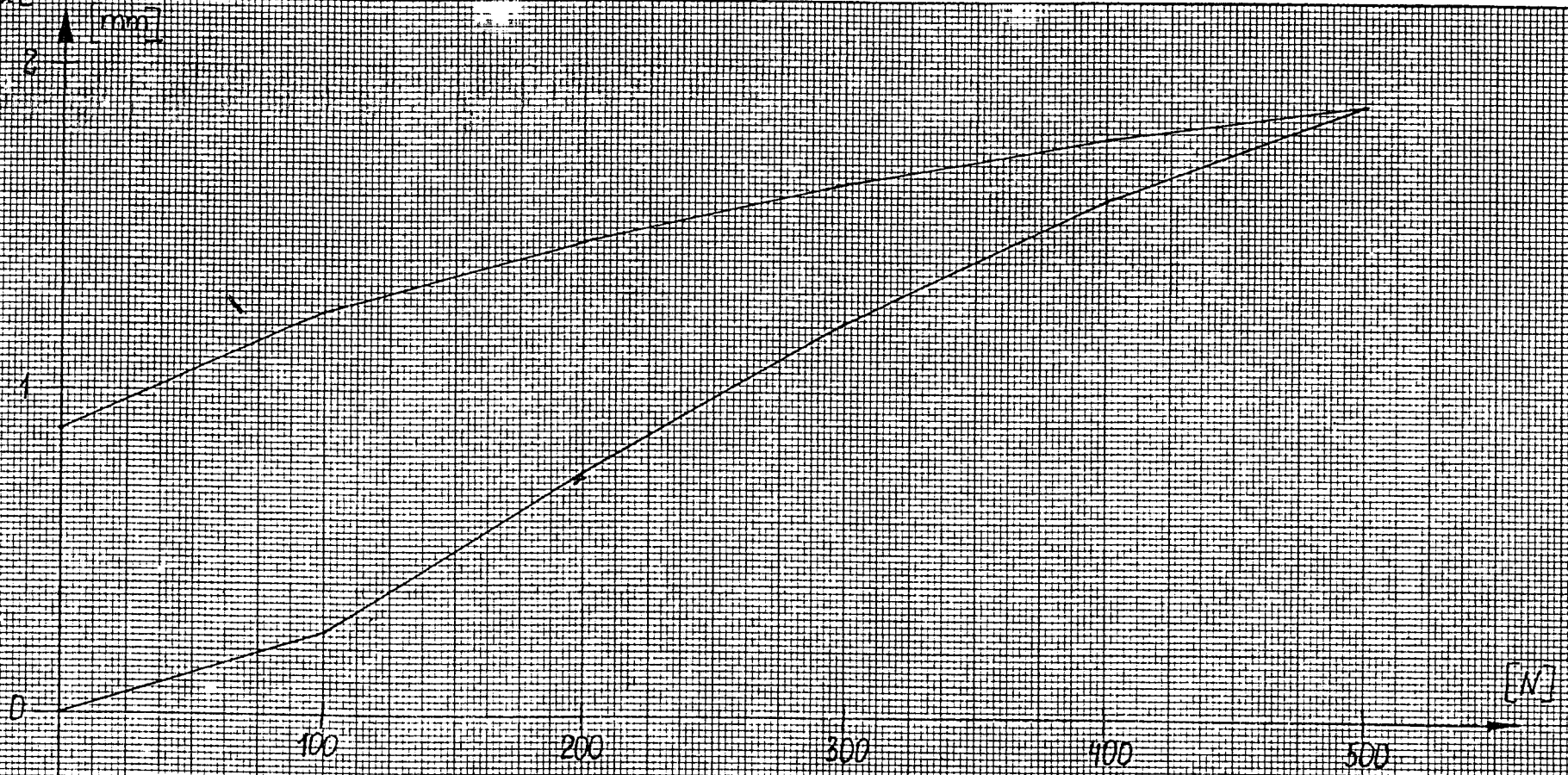


Rys. 7

53

Ugięcie

[mm]

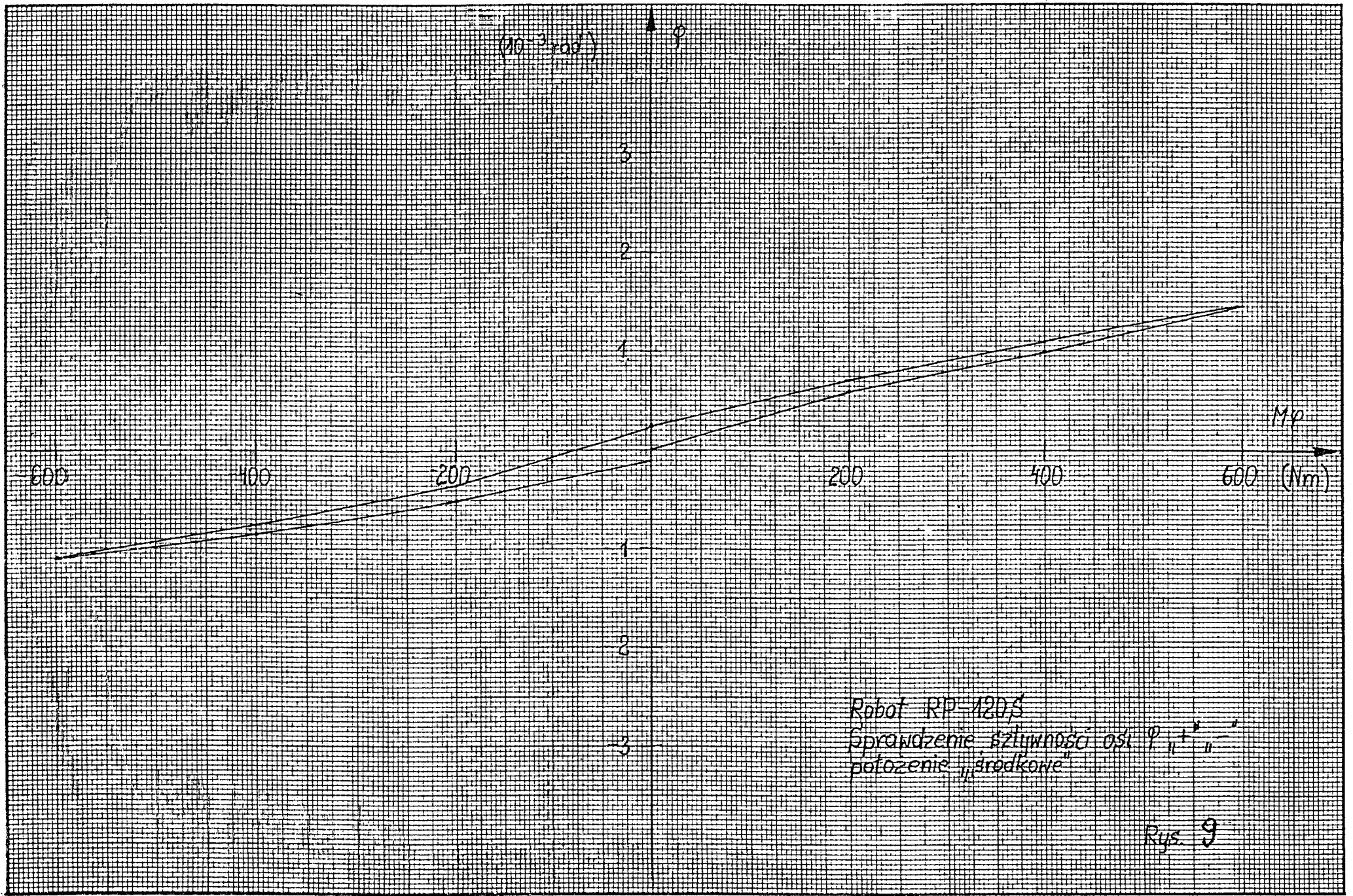


Robot RP-120s  
Sprawdzenie sztywności  
Kierunek przyłożenia siły - poziomy  
ciśnienie  $p = 0,36 \text{ MPa}$

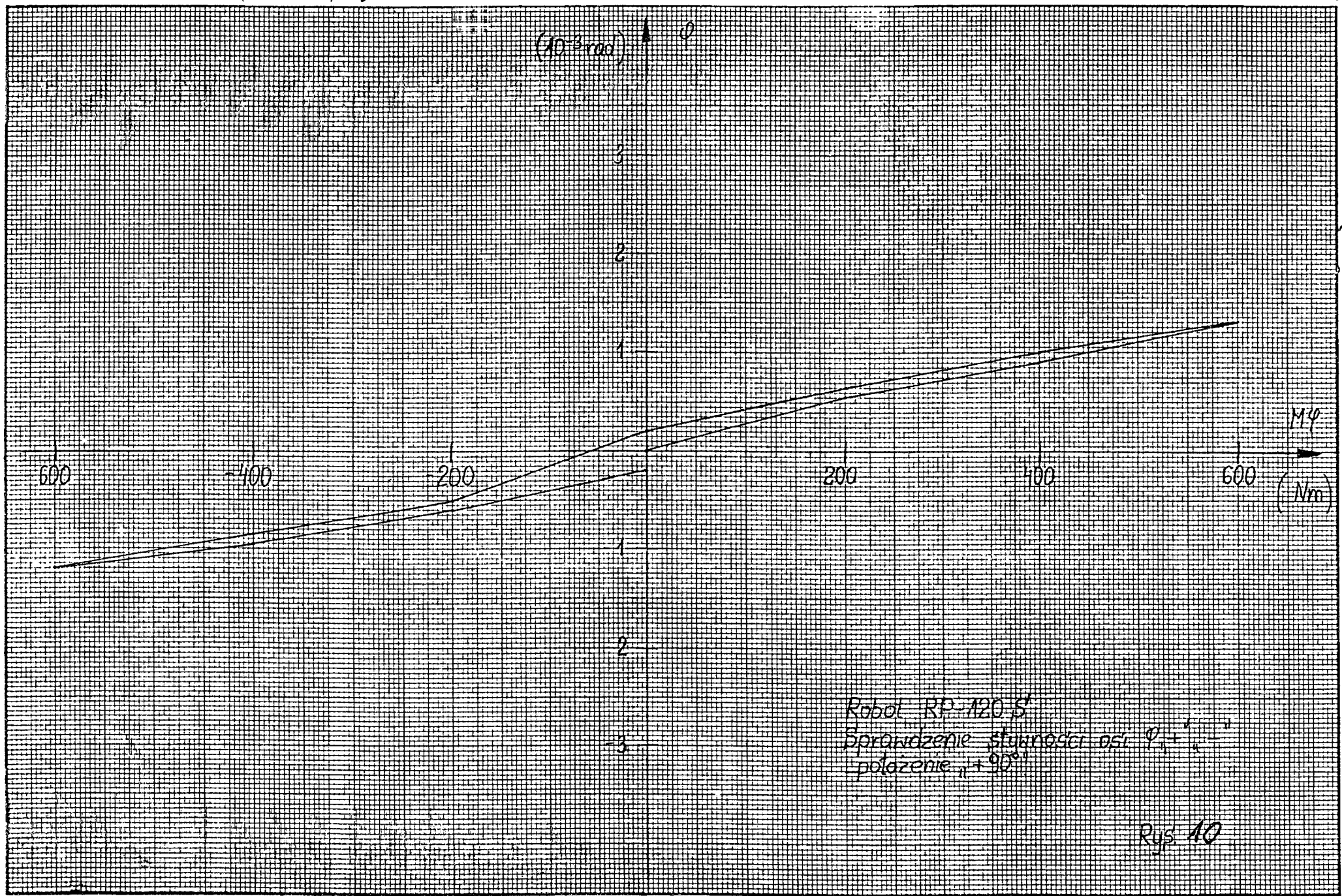
Rys. 8

54





55

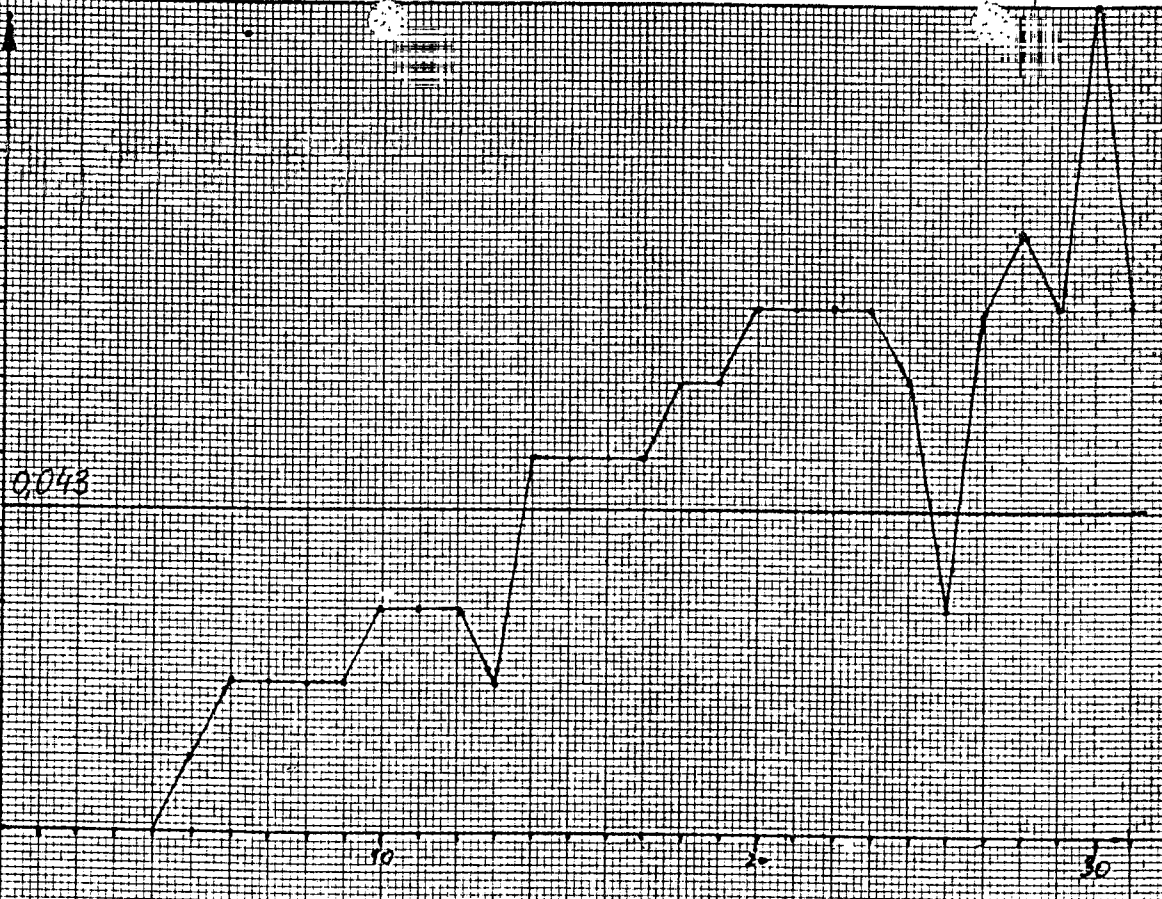


Rys. 10

56



[mm] 0,10  
0,09  
0,08  
0,07  
0,06  
0,05  
0,043  
0,04  
0,03  
0,02  
0,01  
0,00



Sprawdzenie postępułości  
rozciąganią MR 2,5/6

I

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j = 0,043$$

$$\bar{D} = 0,02513$$

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (D_j - \bar{D})^2}{n-1}} = 0,01306$$

$$r = \pm (\bar{D} + 3S_D) = \pm 0,0643$$

Wykres 11

57

[mm]

0,0

20

30

liczba cykli

-0,3

-0,709

-1,00

-1,10

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = -0,709$$

$$\bar{D} = 0,564$$

$$S_D = 0,1478$$

$$T = \pm (\bar{D} + 3S_D) =$$

$$T = \pm 1,0075$$

Sprawdzenie prawidłowości  
pozycjonowania MR 25/16

II



Wykres 12

09



Emm]

0.0

10

20

30

Ilość cykli

-0.5

-0.495

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j$$

$$\bar{x} = -0.495$$

$$D = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2$$

$$D = 0.3473$$

$$S_D = 0.2484$$

$$r = 1(D + 3S_D)$$

$$r = \pm 1.0925$$

-1.0

-1.5

Sprawdzenie powtarzalności  
pozycjonowania HR 2,5/6

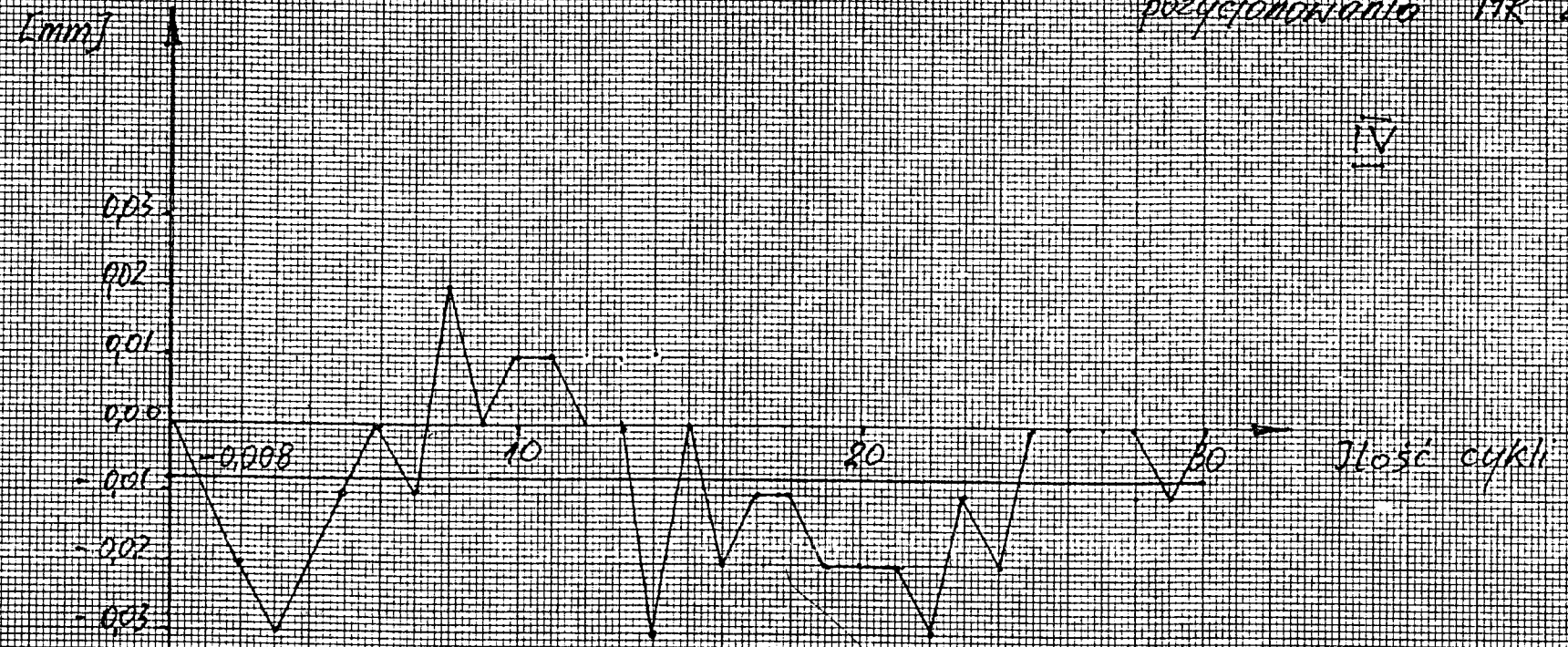
III

Wykres 13

65

Sprawdzenie powtarzalności  
pozycjonowania MK 25/6

IV

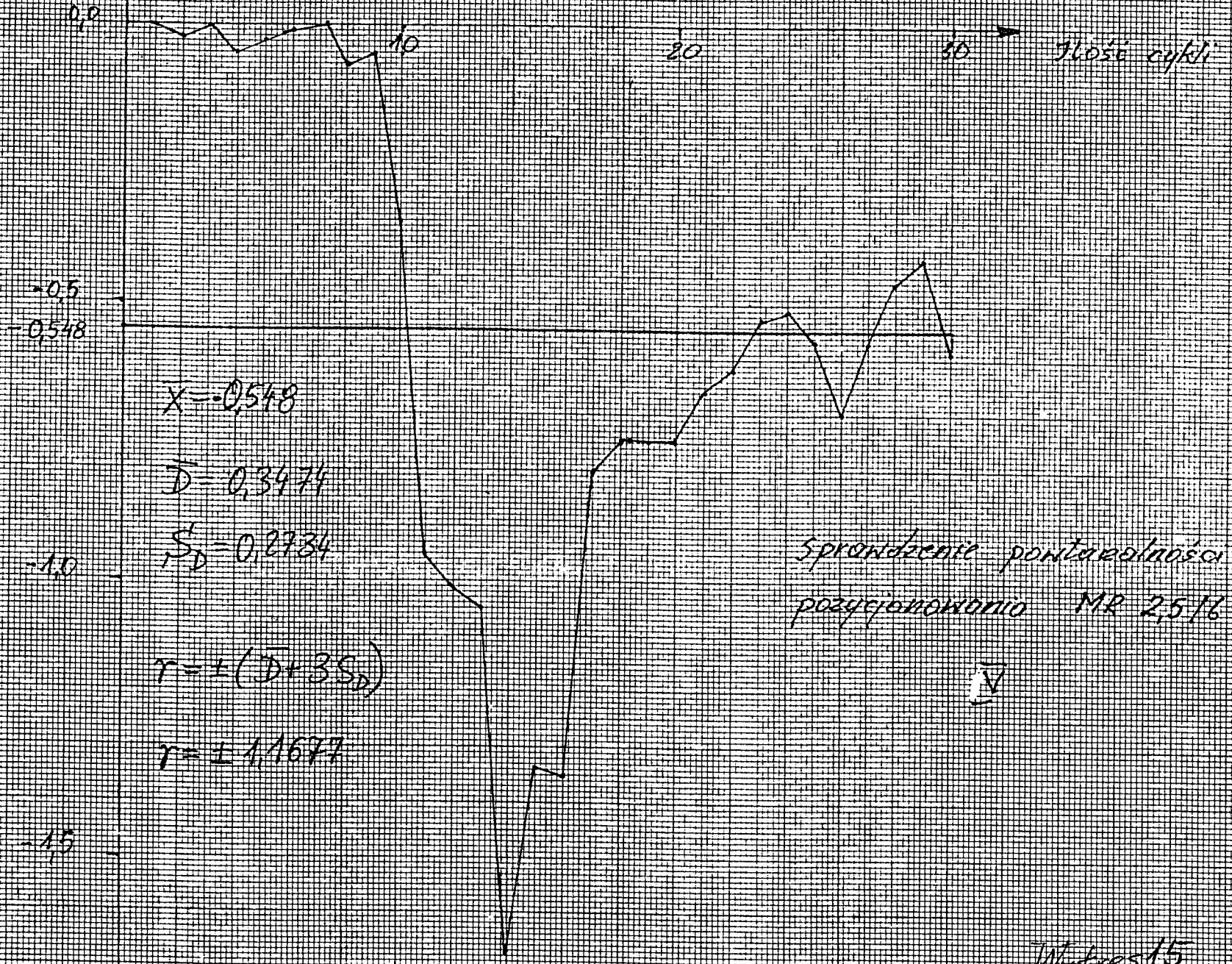


$$\bar{x} = -0,008 \quad D = 0,0245 \quad S_D = 0,00099$$

$$Y = \pm (D + 3S_D) = \pm 0,0275$$

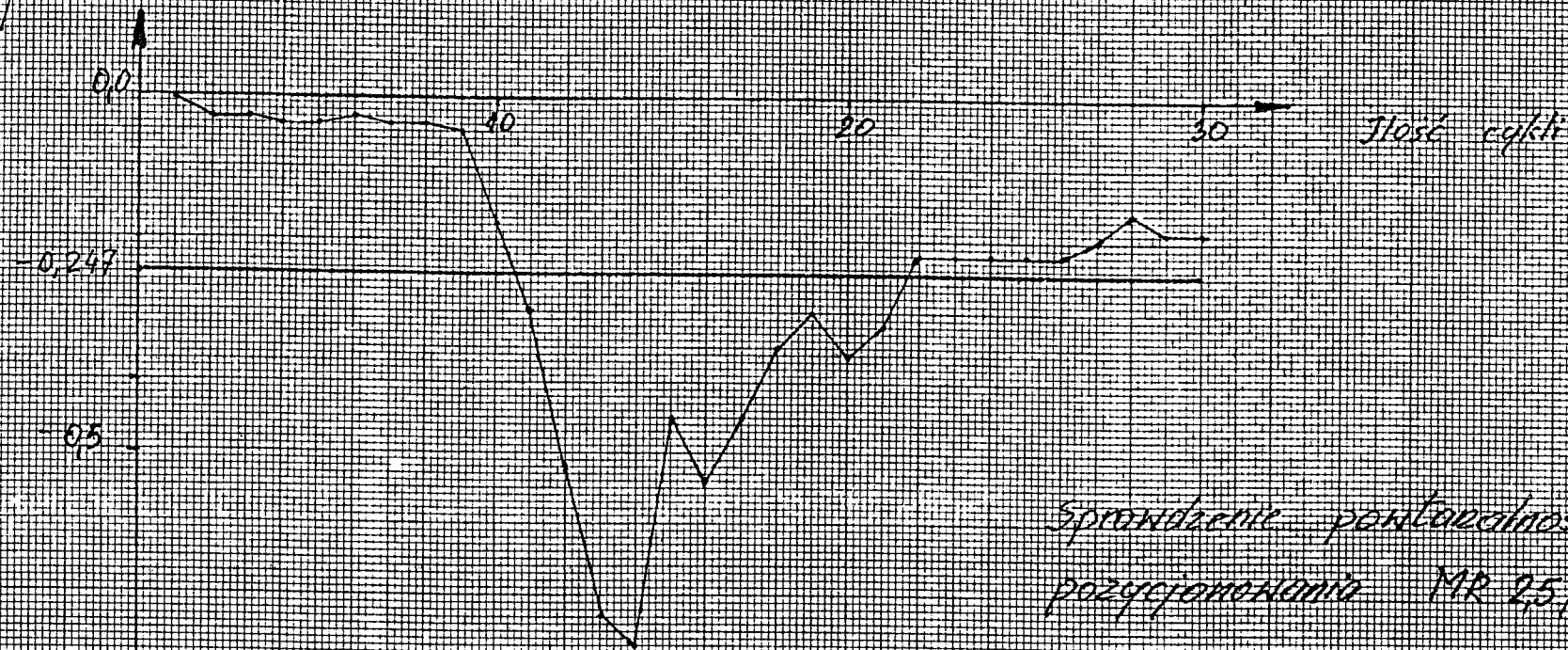


[mm]



61

[mm]



Sprawdzenie poprawności  
pozytywności MR 2,5/6

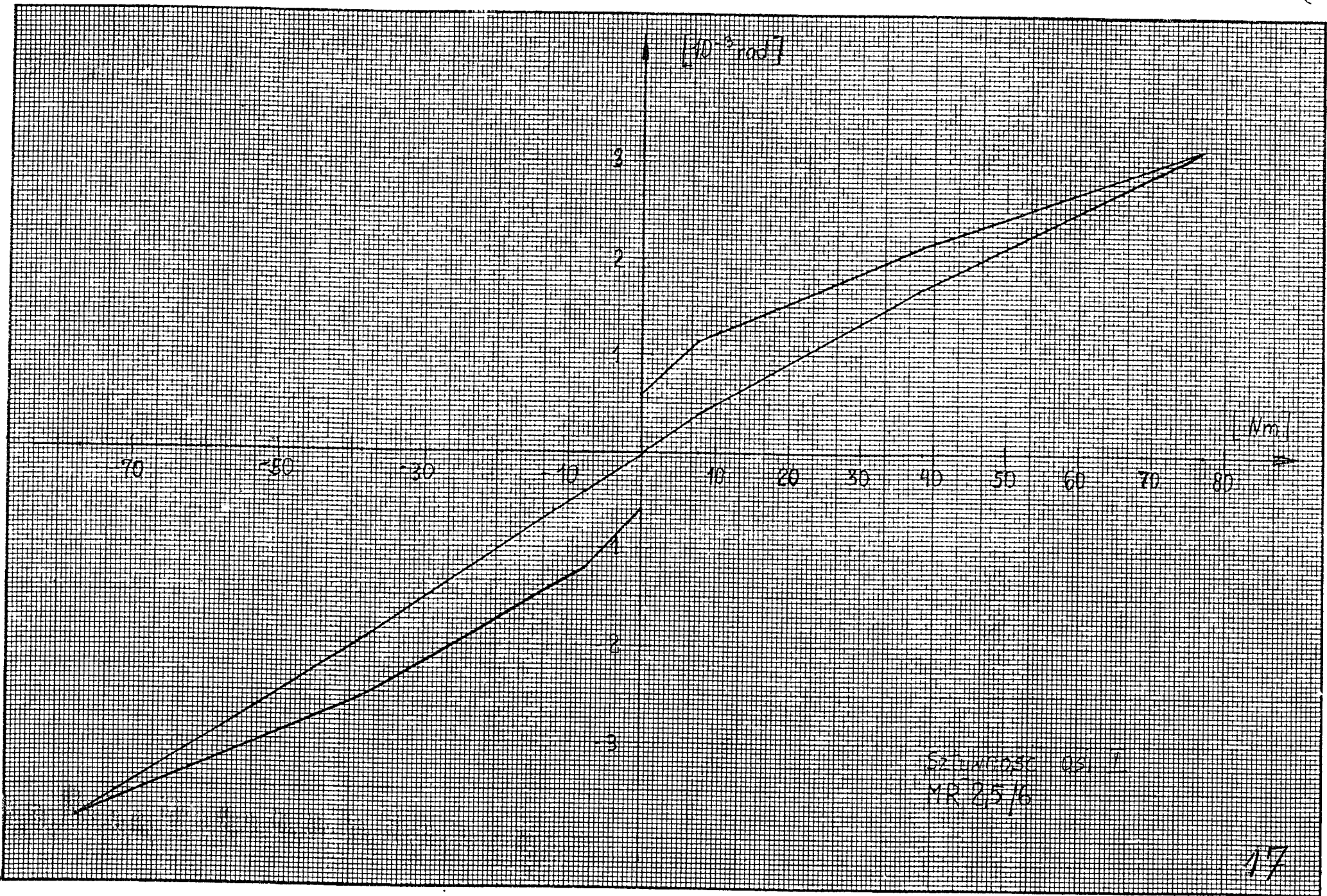
$$\bar{x} = -0,247$$
$$\bar{d} = 0,1672$$
$$S_d = 0,129$$
$$T = \pm (\bar{d} + 3S_d) = \pm 0,556$$

VI

Wykres 16

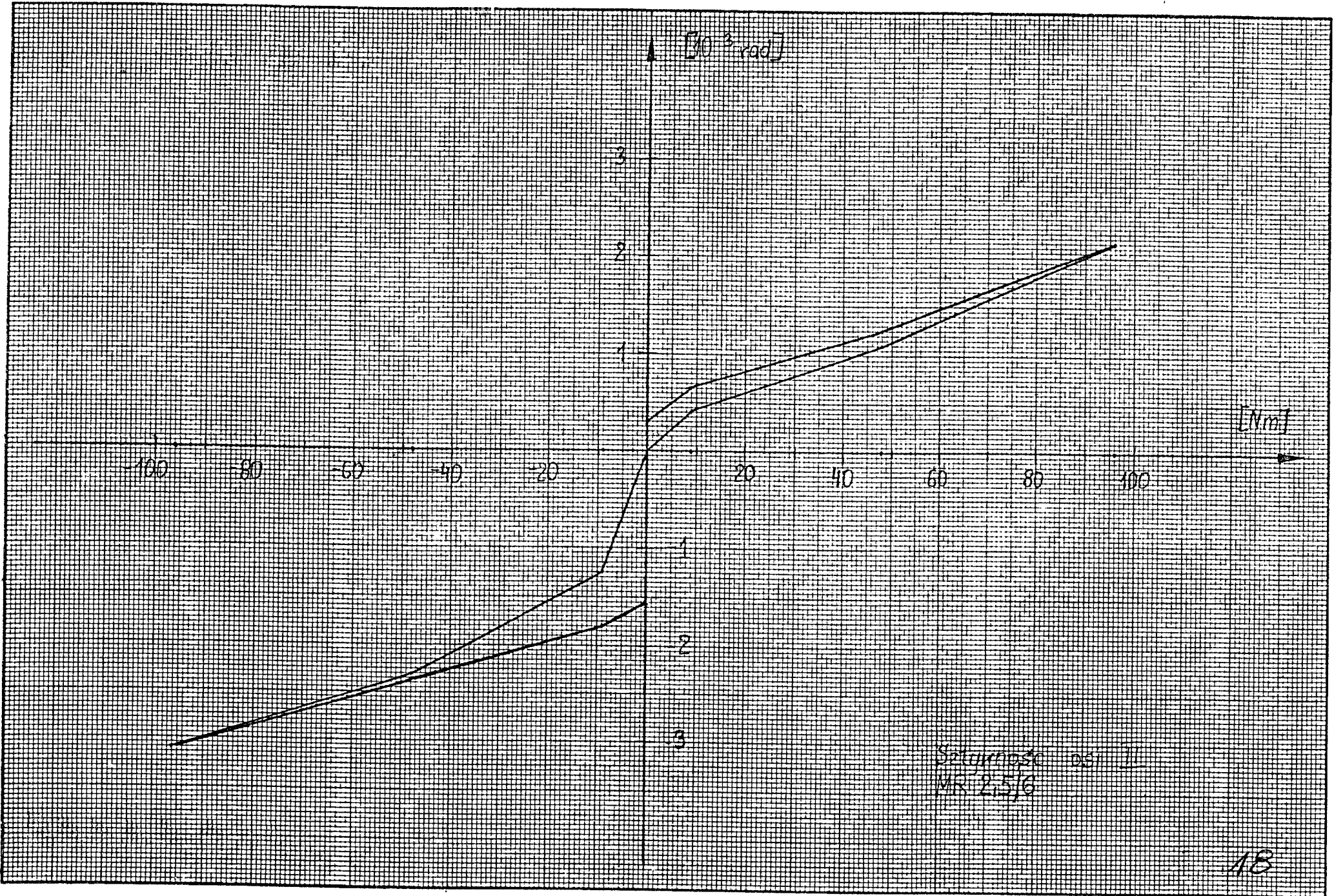
16



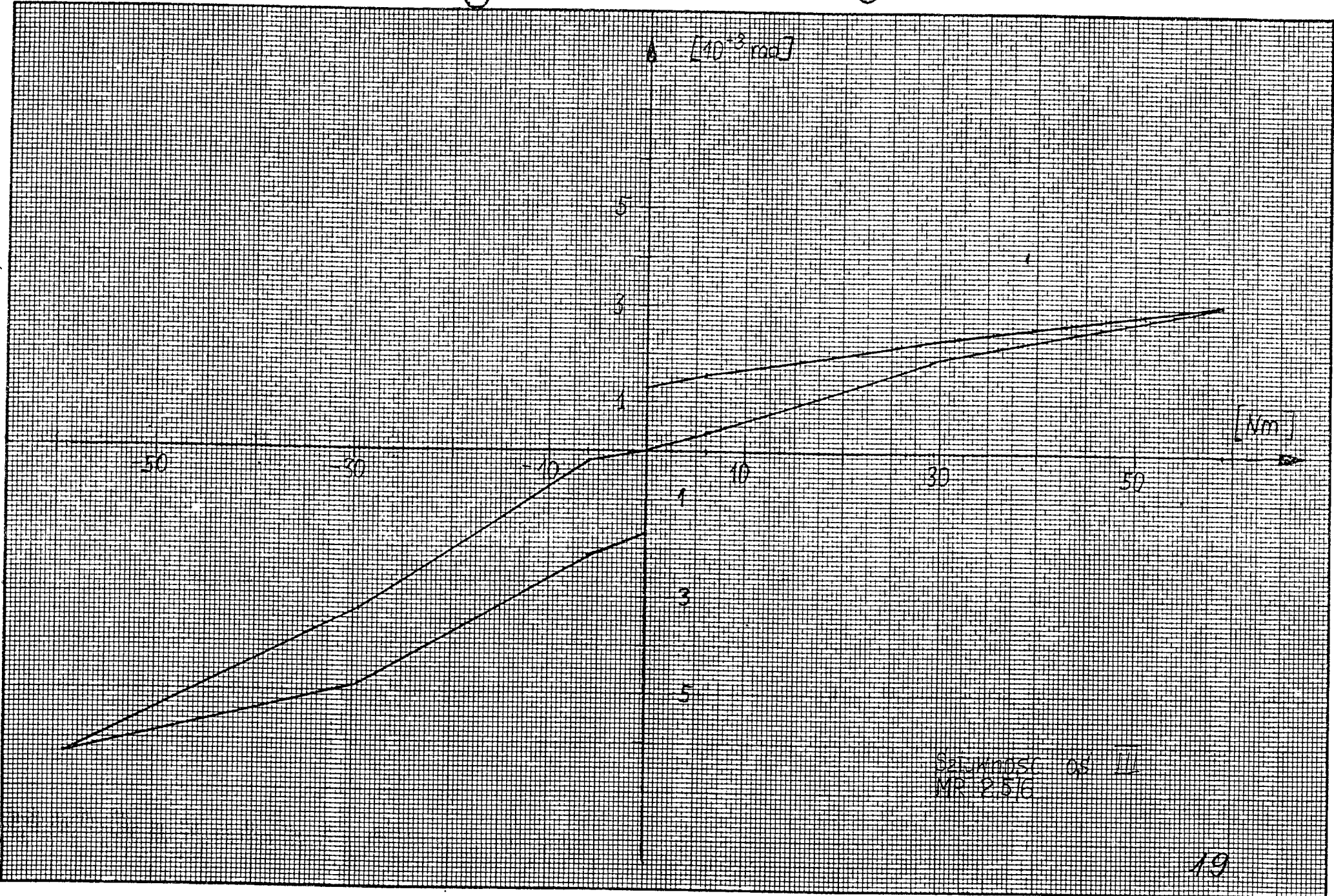


63

17

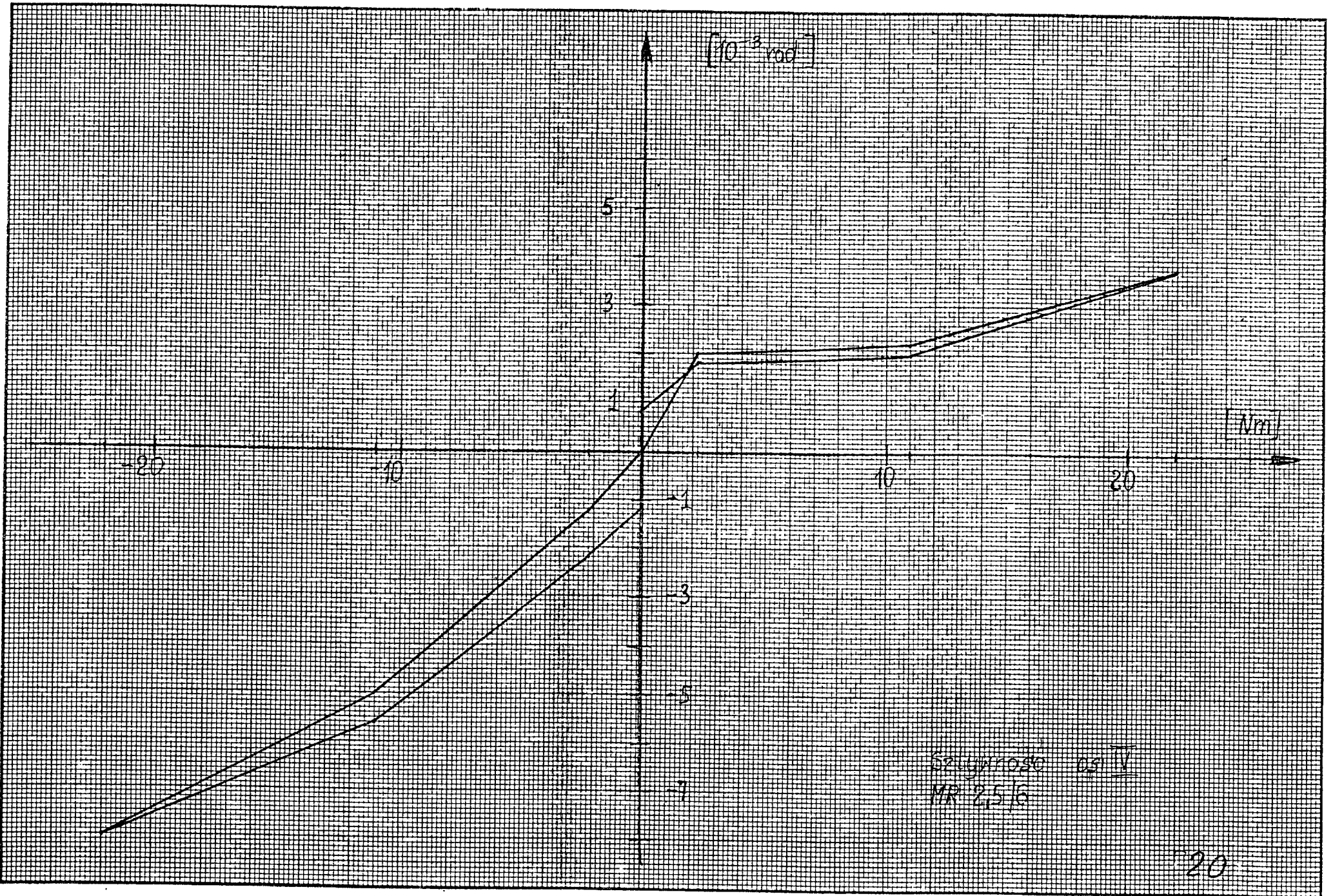






SALVADORE 08 III  
 MR 2.5/6

85

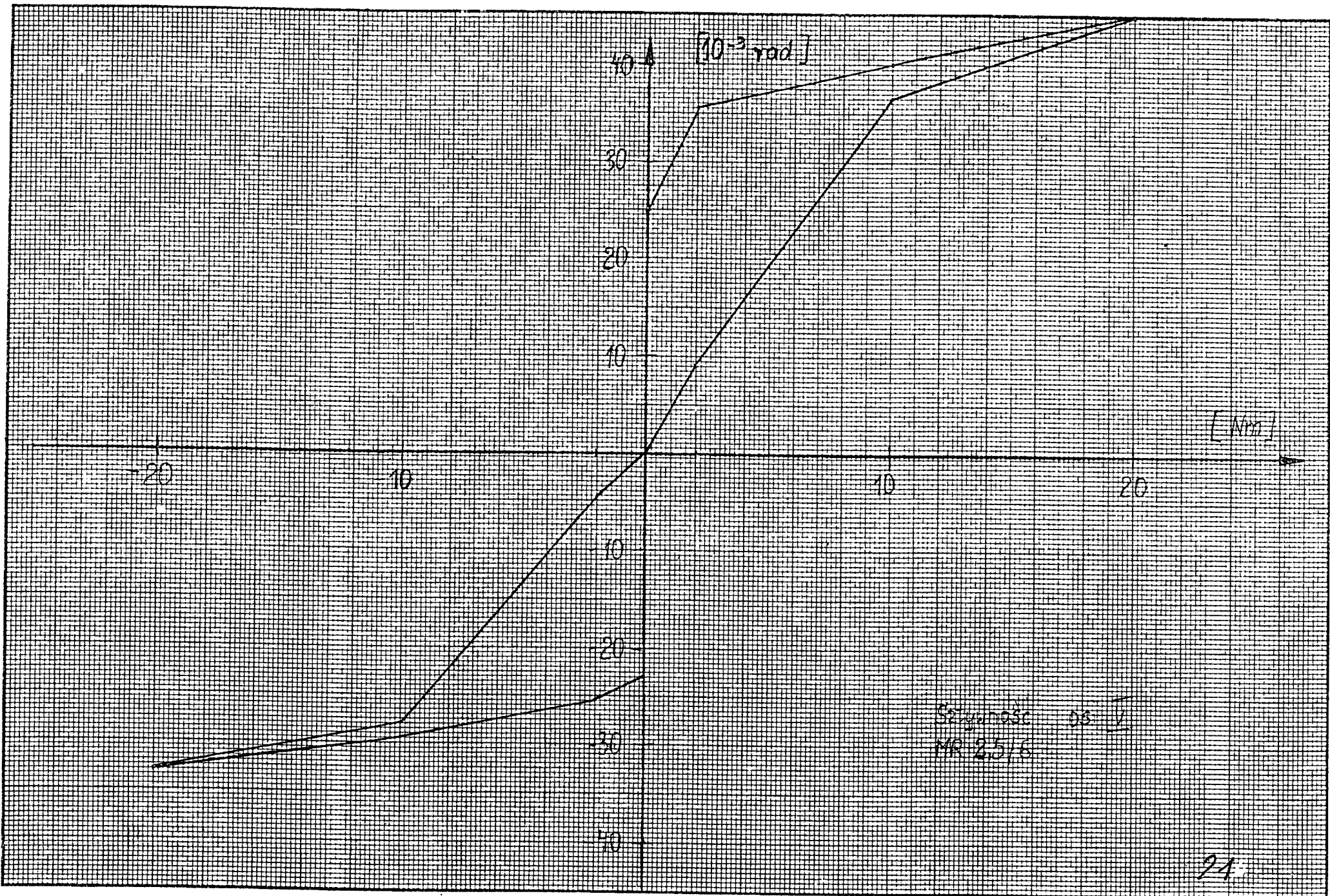


Salyroso 05 IV  
 MR 2,5/6

20

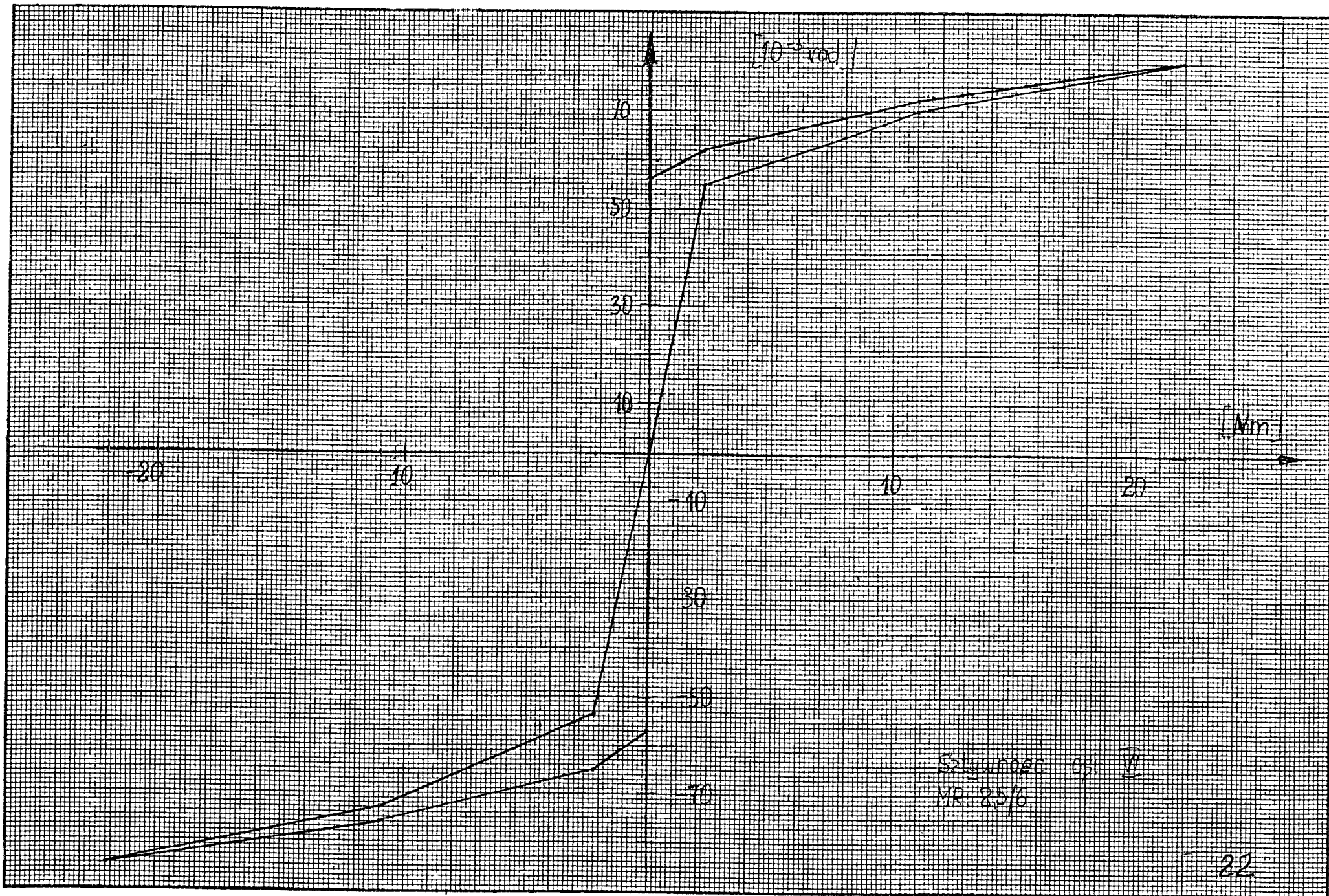
66





69

21



88