

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

Ośrodek Badań Niezawodności i Jakości

Centralna Stacja Prób

Główny wykonawca

Wykonawcy dr inż. St. Budzyński, mgr inż. inż. A. Sawicki, A. Socha,
inż. K. Wojda, tech. tech. W. Czarnecki, H. Michniewicz.

Konsultant

Nr zlecenia
UR-01.02.09

Badanie układów napędowych produkcji I. El.
w robocie IRb-60.

Zlecniodawca problem węzłowy

Pracę rozpoczęto dnia 3.09.84
Kierownik CSP

mgr inż. E. Trepczyński

p.o. Z-cy Dyrektora
d/s Automatyki

dr inż. T. Gałązka

zakończono dnia 27.10.84
Kierownik OBN

dr inż. St. Budzyński

Praca zawiera:

stron 7

rysunków 2

fotografii

tabel 12

tablic

załączników 1 OBN

Rozdzielnik - ilość egz:

Egz. 1 BOINTE

Egz. 2 I. El.

Egz. 3 OBN

Egz. 4 OAE

Egz. 5 OAM

Egz. 6 ZD

Nr rejestr. 5317

Analiza deskrytorowa

ROBOTY PRZEMYSŁOWE + BADANIA

Analiza dokumentacyjna

Praca zawiera wyniki badań sztywności, powtarzalności i serwomechanizmów robota IRb-60 z układami napędowymi prod. I.El. i oryginalnymi.

Tytuły poprzednich sprawozdań

Badania układów napędowych produkcji I.El. w robocie IRb-6. - nr rej.5213.)

338 45 :62(68).002 .1/2 Roboty przemysłowe

UKD

MAP-252/83-6000

2

1. Wstęp

Badania prototypów układów napędowych, opracowanych i wykonanych w Instytucie Elektrotechniki, polegały na badaniu robota szwedzkiego IRb-60 nr fabr. TV 40853586 z wmontowanymi do niego w osiach \odot i \oslash układami napędowymi, po uprzednim przeprowadzeniu identycznych badań tego samego robota z oryginalnymi układami napędowymi.

Uzgodniony z OAE zakres badań w oparciu o normę ZN-80/MERA-018/226 obejmował:

- 1/ badanie sztywności w osiach \odot i \oslash
- 2/ badanie powtarzalności pozycjonowania w osiach \odot i \oslash
- 3/ badanie działania serwomechanizmów obejmujące:
 - pomiar maksymalnych prędkości ruchu osi \odot i \oslash metodą bezpośrednią /pomiar drogi i czasu/,
 - określenie maksymalnych przeregulowań prędkości serwomechanizmów,
 - sprawdzenie przyspieszeń i opóźnień serwomechanizmów
- 4/ badanie działania robota przy podwyższonej temperaturze $+55^{\circ}\text{C}$ w szafie sterowniczej /tylko robot z silnikami i sterownikami I.El./
- 5/ pomiar przyrostu temperatury silników.

Celem badań wg wyżej ustalonego programu było uzyskanie i porównanie wyników pomiarów w/w podstawowych parametrów technicznych robota IRb-60, decydujących m.in. o jakości badanych zespołów /łącznie/.

Po wykonaniu badań robota z oryginalnymi układami napędowymi dokonano wymiany układów napędowych na układy produkcji I.El. W trakcie uruchamiania robota przez pracownika I.El. stwierdzono uszkodzenie sterownika MAK-1a w osi \odot , polegające na pęknięciu ścieżki, która w wyniku próby lutowania odkleiła się od płytki. Po usunięciu tej usterki robot został uruchomiony.

Powtórne uszkodzenie tego samego sterownika nastąpiło podczas próby strojenia robota przez pracownika ZD PIAP /przepalenie tyrystora/. Wobec braku możliwości dokonania naprawy sterownika w PIAP /co zostało stwierdzone przez pracownika I.El./ został on przekazany do naprawy w I.El.

W celu kontynuacji badań wg przyjętego programu oraz w celu sprawdzenia możliwości współpracy silnika produkcji I.El. ze sterownikiem oryginalnym, w miejsce wymontowanego sterownika MAK-1a /oś \odot / wmontowano sterownik oryginalny /I.El. nie dysponował innym dobrym sterownikiem MAK-1a/.

W wyniku prób uruchomienia robota stwierdzono, że jest on niekompatybilny ze sterownikiem MAK-1a.

W związku z powyższym w miejsce sterownika oryginalnego wmontowano sterownik MAK-1, który zapewnił prawidłowe działanie napędu osi \odot .

W trakcie badań powtarzalności pozycjonowania, po 1 h pracy ciągłej w robocie zadziałał stop awaryjny, co powtarzało się przy kolejnych próbach uruchomienia robota.

Przy tym stwierdzono nagrzewanie się silnika w osi \odot do temperatury znacznie wyższej niż temperatura takiego samego silnika w osi \odot . Wezwany konstruktor silnika /pracownik I.El./ stwierdził rozmagnesowanie się silnika i uznał za konieczne wymontowanie go i przekazanie do I.El. celem powtórnego namagnesowania.

Badania wznowiono po zamontowaniu naprawionego sterownika MAK-1a i namagnesowanego silnika, które to zespoły I.El. wrócił jednocześnie.

2. Aparatura użyta do badań

- Woltomierz cyfrowy typ VC533 nr T-8-50-1991
- Rejestrator typ Hellige T-8-50-968
- Dekada oporowa PN-7509
- Czujniki zegarowe o rozdzielczości 0,01 mm i 0,001 mm
- Czujnik zbliżeniowy indukcyjny.

3. Przebieg i wyniki badań

3.1. Badanie sztywności

Badanie sztywności wykonano zgodnie z p.4.2.11 normy ZN-82/MERA-018/226 dla osi \odot , \odot .

Obciążenia poszczególnych osi realizowano przy pomocy obciążników o masach odpowiadających momentom sił podanych w tab.

Do pomiaru zmiany położenia robota /odchylenia/ użyto czujniki zegarowe o działce elementarnej 0,01 mm i skoku 10 mm. Przesunięcie ramion dla osi sprawdzono zarówno w dodatnim jak i ujemnym kierunku ruchu dla każdej badanej osi.

Pomiar wykonywano trzykrotnie.

W czasie dokonywania pomiaru przemieszczeń robot znajdował się w stanie "PRACA".

Wyniki pomiarów podano w tab.1-6, w których oznaczono:

M [Nm] - moment obciążający robota

$B_{1,2,3}$ [mm; rad] - pomierzone wartości przesunięć

B_{sr} [mm; rad] = $\frac{B_1 + B_2 + B_3}{3}$ - wartość średnia przesunięć.

W tab.7 zestawiono wartości średnie przesunięć osi dla robota z oryginalnymi układami napędowymi i wykonanymi przez I.El. oraz w tabeli 8 podano średnie wartości przesunięć dla obciążeń równych 10 % i 100 % obciążenia maksymalnego.

3.2. Badanie powtarzalności pozycjonowania

Badanie powtarzalności pozycjonowania wykonano zgodnie z p.4.2.10 normy ZN-82/MERA-018/226 w 120 cyklach pomiarowych, będących sekwencją zaprogramowanych ruchów robota i zapisanych w pamięci kasetowej.

Średnia prędkość ruchu wynosiła 75 % prędkości maksymalnej, szybkość najazdu wynosiła 1,3 % szybkości maksymalnej. Robota obciążono ciężarkami o masie 40 kg.

Powtarzalność pozycjonowania sprawdzano przy pomocy czujników zegarowych dla osi θ i ϕ o działce elementarnej 0,01 mm.

Pomiary prowadzono od momentu uruchomienia robota do chwili wykonania 120 cykli pomiarowych, tj. przez okres ok. 12 h /czas 1 cyklu ok. 6 min/.

Wyniki pomiarów zestawiono w tabelach 9 i 10.

Graficzne przedstawienie zależności powtarzalności pozycjonowania w funkcji liczby cykli /czasu/ zawierają rys.1 i 2.

3.3. Badanie serwomechanizmów

Badanie serwomechanizmów wykonano zgodnie z p.4.2.8 ZN-82/MERA-018/226 dla osi θ i ϕ rejestrując przy pomocy rejestratora m-ki Hellige przebieg napięcia prądnicy tachometrycznej oraz przebieg spadku napięcia wywołanego przepływem prądu silnika przez opornok prądowego sprzężenia zwrotnego.

Rejestracji dokonano podczas pracy robota nieobciążonego w reżimie pracy AUTO, zaprogramowanego tak, aby mierzona oś robota wykonywała powtarzalne ruchy w kierunku dodatnim i ujemnym w całym zakresie ruchu z prędkością maksymalną.

Na podstawie wykresów /załączniki do nin.sprawozdania/ dokonano sprawdzenia prędkości maksymalnych, czasów przyspieszenia i opóźnienia oraz przeregulowania prędkości i amplitudy oscylacji sygnału prędkościowego.

Wyniki pomiarów podano w tabelach 11 i 12.

3.3.1. Określenie maksymalnych prędkości robota

Wartości maksymalnych prędkości określono dla osi θ i ϕ robota nieobciążonego metodą bezpośrednią zgodnie z p.4.2.8.1 ZN-82/MERA-018/226.

Do pomiaru czasu ruchu danego ramienia robota na drodze o znanej długości użyto rejestratora Hellige.

Obliczone wartości prędkości podano w tabeli 11.

3.3.2. Sprawdzenie przyspieszeń i opóźnień

Sprawdzenie wykonano zgodnie z p.4.2.8.3 ZN. Z zarejestrowanych przebiegów napięcia prądnicy tachometrycznej odczytano:

- a/ czas, po upływie którego napięcie prądnicy tachometrycznej osiąga 63 % wartości napięcia w stanie ustalonym od momentu rozpoczęcia ruchów $/t_{p_{gr}}/$,
- c/ czas, po upływie którego napięcie prądnicy tachometrycznej osiąga 37 % wartości napięcia w stanie ustalonym od momentu rozpoczęcia hamowania $/t_{h_{gr}}/$

Wyniki pomiarów podano w tabeli 12.

3.3.3. Sprawdzenie maksymalnego przeregulowania prędkości

Sprawdzenie to wykonano zgodnie z p.4.2.8.2 ZN wykorzystując zarejestrowane przebiegi napięcia prądnicy tachometrycznej, zamieszczone w załączniku do nin.sprawozdania.

3.4. Sprawdzenie amplitudy oscylacji sygnału prędkościowego

Sprawdzenie wykonano dla osi θ i α robota nieobciążonego za pomocą rejestracji przebiegów napięcia prądnicy tachometrycznej zgodnie z p. 4.2.9.2 ZN.

3.5. Sprawdzenie działania w podwyższonej temperaturze

Badaniu poddano kompetny robot z 2 polskimi układami napędowymi wg programu testu próby 150 h.

W czasie 8 h w szafie sterowniczej wytwarzano temp. +55 C za pomocą urządzenia grzewczego wyposażonego w układ sterowania i regulacją temperatury.

Po 4 h pracy robot zatrzymał się, ale po ponownym uruchomieniu pracował przez dalsze 4 h bez zatrzymywania się. Po 8 h pracy robot ponownie zatrzymał się z zapaloną lampką stopu awaryjnego. Po skasowaniu stopu awaryjnego robot dał się uruchomić.

3.6. Sprawdzenie nagrzewania

Próby wykonano w normalnych warunkach pracy robota przy obciążeniu znamionowym oraz pracy wg programu testu próby 150 h pracy.

Przyrost temperatury mierzono na komutatorze silnika metodą dotykową przy użyciu miernika z czujnikiem oporowym.

W wyniku pomiarów uzyskano następujące wartości przyrostu temperatury:

	przyrost temperatury /°C/		
	po 1 h	po 2 h	po 3 h
silnik w osi \odot	39	41	39
"- \mathcal{L}	31	31	31

4. Omówienie wyników badań

4.1. Sztywność

Na podstawie analizy wyników badań sztywności zawartych w tabelach 1-7 można stwierdzić, że sztywności w kierunkach osi \odot i \mathcal{L} robota z oryginalnymi układami napędowymi oraz z układami wykonanymi w I.El są porównywalne a ich wartości w całym zakresie obciążenia odpowiadają wymaganiom ZN. Z porównania danych zawartych w tabeli 8, dot. wartości sztywności dla obciążeń równych 10 % i 100 % obciążenia maksymalnego, wynika, że wartości te różnią się między sobą nie więcej niż 0 15 %.

4.2. Powtarzalność pozycjonowania

Wymagania odnośnie powtarzalności pozycjonowania, zdefiniowanej w p.1.2.7 ZN są spełnione przez robot z układami napędowymi produkcji I.El. Z porównania wyników pomiarów powtarzalności pozycjonowania, zestawionych w tabelach 9 i 10 oraz wykresów 1 i 2 zależności powtarzalności pozycjonowania w funkcji liczby cykli /czasu/ wynika jednak, że charakter zmian pozycjonowania robota z układami napędowymi I.El. w kierunku osi \odot jest zupełnie inny niż zmiany pozycjonowania robota z układami oryginalnymi i nie spotykany w dotychczas przeprowadzonych badaniach robotów zarówno IRb-6 jak i IRb-60. Odmiennosc ta polega na przyjmowaniu przez ramię \odot najpierw położeń ujemnych względem p.pomiarowego, a następnie, po ok. 40 cyklach /4 godzinach/ położeń dodatnich i ujemnych, Nie zaobserwowano przy tym tendencji do stabilizacji pozycjonowania.

Charakter zmian pozycjonowania w kierunku osi \mathcal{L} dla obu układów napędowych jest podobny z tym, że odchylenia wartości początkowej pozycjonowania po upływie 120 cykli /12 h/ są większe o ok. 50 % dla układów napędowych produkcji I.E. i obserwuje się tendencję do dalszego ich powiększania z upływem czasu. W celu określenia czasu, po upływie którego nastąpi pełna stabilizacja pozycjonowania w kierunku osi \mathcal{L} /również \odot / należałoby przedłużyć czas badań powtarzalności pozycjonowania np. o 12 h.

4.3. Maksymalne prędkości robota

Z danych zawartych w tabeli 11 wynika, że wartości prędkości dla obu badanych osi są identyczne dla robota z układami napędowymi polskimi i oryginalnymi.

Dla osi \mathcal{L} prędkość max jest o 30 % mniejsza, a dla osi \mathcal{O} o 20 % mniejsza od wartości wymaganych w ZN.

4.4. Przyspieszenia i opóźnienia

Z danych zawartych w tabeli 12 wynika, że dla osi \mathcal{L} przy ruchu w kierunku "+" wartości czasów przyspieszenia $t_{p_{gr}}$ są porównywalne dla robota z układami napędowymi oryginalnymi i polskimi, jednak mniejsze od wartości wymaganych w ZN.

Wartości czasów hamowania $t_{h_{gr}}$ dla osi \mathcal{L} w kierunku "+" są identyczne dla obu układów napędowych i mieszczą się w wartościach wymaganych w ZN, natomiast w kierunku "-" wartość czasu hamowania dla układu polskiego jest mniejsza od wartości podanych w ZN.

Dla osi \mathcal{O} w kierunku "+" wartości czasów przyspieszenia i opóźnienia dla obu układów napędowych są porównywalne i mieszczą się w wartościach wymaganych w ZN, natomiast w kierunku "-" czasy przyspieszenia obu układów napędowych są mniejsze od podanych w ZN, a czasy hamowania mieszczą się w wartościach wymaganych w ZN.

4.5. Maksymalne przeregulowanie prędkości serwomechanizmów

Z analizy wykresów przedstawiających przebiegi napięcia prądnic tachometrycznej, zamieszczonych w załączniku do n/sprawozdania, wynika, że maksymalne przeregulowania prędkości serwomechanizmów nie przekraczają wartości dopuszczalnych w ZN, natomiast szczególnie w kierunku ruchu "-" dla osi \mathcal{O} występuje silna oscylacja, widoczna również wizualnie.

W ogóle zauważa się znaczne różnice w przebiegach prądowych układów oryginalnych i polskich dla obu osi, polegające na występowaniu silnych oscylacji prądu silnika w układach polskich.

4.6. Amplituda oscylacji sygnału prędkościowego

Z analizy wykresów przedstawiających przebiegi napięcia prądnic tachometrycznej, zamieszczonych w załączniku do n/sprawozdania, wynika, że oscylacje nie przekraczają wartości dopuszczonych w ZN.

4.7. Działanie w podwyższonej temperaturze

Ocena próby działania w podwyższonej temperaturze, zg. z p.4.2.18 ZN, jest ujemna, ponieważ nastąpiło dwukrotne zatrzymanie się robota.

8

4.3. Przyrost temperatury silników

Temperatury silników /mierzone na komutatorze wirnika metodą dotykową/ osiągnęły maksymalne wartości po upływie ok.1 h pracy robota obciążonego, realizującego program testu próby 150 h pracy i wynosiły 39-41°C dla silnika w osi \odot oraz 31°C dla silnika w osi \odot .

5. Wnioski

1/ Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że:

- robot z układami napędowymi produkcji I.El. spełnia wymagania ZN odnośnie sztywności i powtarzalności pozycjonowania,
- w zakresie dynamicznych przebiegów występują odchylenia od normy ZN oraz różnice pomiędzy układami oryginalnymi i polskimi,
- przebieg prądu silnika w układach polskich wykazuje oscylacyjny charakter /niepłynny ruch w osi \odot /;

2/ Stwierdza się:

- niedogodność pomiarów napięcia prądnicy tachometrycznej spowodowaną brakiem wyprowadzeń pkt-ów pomiarowych,
- zastosowanie zbyt cienkich przewodów łączących obwody drukowane z listwą zaciskową, ^{sterownik} co powoduje występowanie groźnych zakłóceń w pracy robota,
- niską jakość płyt drukowanych w sterownikach;

3/ Uzyskane wyniki badań serwomechanizmów wskazują na potrzebę wprowadzenia zmian konstrukcyjnych układów, eliminujących oscylacyjny charakter przebiegów prądowych przy zachowaniu wymaganych przyspieszeń i opóźnień robotów;

4/ Pełna ocena jakości i możliwości wykorzystania układów napędowych w produkcji robotów IRb-60 może być dokonana po przeprowadzeniu badań pełnych układów oraz próby trwałości 150 h robota wyposażonego w poprawione układy napędowe w pięciu osiach.

Wartości czasów przyspieszenia i opóźnienia

Tab. 12.

Stopień swobodny	silniki francuskie				silniki JEL.				wartości dopuszczalne n 2N			
	Czas osiągnięcia 63% Vmax t _p [s]		Czas spadku Vmax do 37% Vmax t _h [s]		Czas osiągnięcia 63% Vmax t _p [s]		Czas spadku Vmax do 37% Vmax t _h [s]		t _p [s]		t _h [s]	
	kierunek +	kierunek -	kierunek +	kierunek -	kierunek +	kierunek -	kierunek +	kierunek -	kier. +	kier. -	kier. +	kier. -
α	0,18	0,44	0,45	0,43	0,20	0,56	0,45	0,37	0,27 ÷ 0,33	0,42 ÷ 0,51	0,42 ÷ 0,51	0,42 ÷ 0,51
θ	0,25	0,31	0,44	0,45	0,24	0,36	0,48	0,44	0,26 ÷ 0,31	0,38 ÷ 0,46	0,43 ÷ 0,51	0,38 ÷ 0,47

01

Maksymalne prędkości ruchu

Tab. 11.

L.p.	Rodzaj członu - oś	silniki francuskie		silniki IEL	
		Max prędkość ruchu	Wg 2N. min. wartości V_{max}	Max prędkość ruchu	Wg 2N. min. wartości V_{max}
1	L-pionowy ruch ramienia	$1,00 \frac{m}{s}$	$1,5 \frac{m}{s}$	$1,00 \frac{m}{s}$	$1,5 \frac{m}{s}$
2	θ-poziomny ruch ramienia	$0,80 \frac{m}{s}$	$1,0 \frac{m}{s}$	$0,80 \frac{m}{s}$	$1,0 \frac{m}{s}$

W

Lp	θ	α	Uwagi
	[mm]		
101	-0,02	-0,86	
102	0,00	-0,87	
103	+0,08	-0,86	
104	-0,02	-0,87	
105	-0,02	-0,88	
106	+0,02	-0,87	
107	+0,06	-0,88	
108	-0,01	-0,88	
109	+0,02	-0,89	
110	+0,02	-0,89	
111	-0,01	-0,89	
112	-0,02	-0,89	
113	+0,06	-0,89	
114	+0,05	-0,89	
115	+0,04	-0,89	
116	-0,02	-0,89	
117	+0,08	-0,89	
118	+0,04	-0,90	
119	-0,02	-0,90	
120	+0,05	-0,91	

12

Lp	θ	α	Uwagi
76	+ 0,04	- 0,75	
77	+ 0,01	- 0,78	
78	+ 0,03	- 0,78	
79	+ 0,07	- 0,79	
80	+ 0,02	- 0,79	
81	- 0,02	- 0,79	
82	+ 0,02	- 0,80	
83	+ 0,01	- 0,80	
84	+ 0,01	- 0,79	
85	+ 0,04	- 0,82	
86	+ 0,03	- 0,80	
87	+ 0,02	- 0,81	
88	+ 0,05	- 0,82	
89	+ 0,01	- 0,82	
90	- 0,02	- 0,82	
91	+ 0,02	- 0,83	
92	- 0,02	- 0,83	
93	- 0,02	- 0,84	
94	+ 0,01	- 0,84	
95	- 0,01	- 0,86	
96	+ 0,01	- 0,86	
97	+ 0,05	- 0,86	
98	+ 0,07	- 0,85	
99	- 0,01	- 0,85	
100	0,00	- 0,86	

Lp	σ	α	Uwagi
	[mm]		
51	- 0,03	- 0,59	
52	- 0,05	- 0,60	
53	- 0,01	- 0,62	
54	0,00	- 0,62	
55	+ 0,01	- 0,67	
56	+ 0,03	- 0,67	
57	+ 0,04	- 0,63	
58	+ 0,02	- 0,65	
59	+ 0,02	- 0,66	
60	+ 0,02	- 0,69	
61	+ 0,09	- 0,69	
62	+ 0,03	- 0,69	
63	0,00	- 0,69	
64	+ 0,02	- 0,71	
65	+ 0,05	- 0,71	
66	+ 0,05	- 0,71	
67	+ 0,04	- 0,71	
68	+ 0,05	- 0,72	
69	+ 0,08	- 0,72	
70	+ 0,01	- 0,73	
71	+ 0,09	- 0,74	
72	+ 0,02	- 0,76	
73	+ 0,05	- 0,75	
74	+ 0,08	- 0,76	
75	+ 0,04	- 0,77	

14

Pomiary powtarzalności robota JRB-60
[silnik YEL.]

Tabela 10cd.

Lp	[mm]		Uwagi
	⊖	α	
26	-0,06	-0,26	
27	-0,05	-0,28	
28	-0,04	-0,30	
29	-0,03	-0,31	
30	-0,05	-0,33	
31	-0,05	-0,35	
32	-0,05	-0,38	
33	-0,05	-0,40	
34	-0,06	-0,42	
35	-0,08	-0,44	
36	-0,04	-0,44	
37	-0,07	-0,46	
38	-0,06	-0,48	
39	-0,06	-0,49	
40	-0,05	-0,50	
41	-0,03	-0,55	
42	+0,04	-0,52	
43	-0,04	-0,53	
44	-0,01	-0,54	
45	-0,03	-0,55	
46	-0,03	-0,55	
47	-0,04	-0,56	
48	+0,04	-0,60	
49	-0,04	-0,59	
50	-0,05	-0,59	

Pomiary powtarzalności robota JRB-60
[silnik JEL.]

Tabela 10

Lp	Ø	d	Uwagi
	[mm]		
1	0,00	0,00	
2	+0,01	0,00	
3	-0,08	-0,01	
4	-0,05	-0,01	
5	-0,07	-0,02	
6	-0,05	-0,03	
7	-0,05	-0,04	
8	-0,05	-0,04	
9	-0,05	-0,04	
10	-0,06	-0,06	
11	-0,06	-0,05	
12	-0,05	-0,05	
13	-0,05	-0,06	
14	-0,01	-0,07	
15	-0,03	-0,09	
16	-0,03	-0,10	
17	-0,05	-0,12	
18	-0,03	-0,13	
19	-0,04	-0,14	
20	-0,04	-0,17	
21	-0,01	-0,18	
22	-0,02	-0,20	
23	+0,03	-0,21	
24	-0,04	-0,23	
25	-0,05	-0,25	

16

TK

[silnik oryginalny]

Lp	⊙	α	Uwagi
	[mm]		
101	- 0,12	- 0,59	
102	- 0,13	- 0,59	
103	- 0,12	- 0,59	
104	- 0,12	- 0,59	
105	- 0,11	- 0,59	
106	- 0,12	- 0,59	
107	- 0,12	- 0,64	
108	- 0,12	- 0,60	
109	- 0,13	- 0,60	
110	- 0,12	- 0,60	
111	- 0,12	- 0,60	
112	- 0,13	- 0,60	
113	- 0,12	- 0,60	
114	- 0,12	- 0,65	
115	- 0,12	- 0,60	
116	- 0,12	- 0,61	
117	- 0,13	- 0,61	
118	- 0,13	- 0,61	
119	- 0,13	- 0,61	
120	- 0,12	- 0,61	

[silnik oryginalny]

Lp	⊙	α	Uwagi
	[mm]		
76	-0,10	-0,53	
77	-0,10	-0,58	
78	-0,11	-0,54	
79	-0,10	-0,54	
80	-0,11	-0,54	
81	-0,11	-0,54	
82	-0,11	-0,54	
83	-0,11	-0,54	
84	-0,11	-0,55	
85	-0,11	-0,55	
86	-0,11	-0,56	
87	-0,11	-0,56	
88	-0,11	-0,61	
89	-0,12	-0,61	
90	-0,11	-0,56	
91	-0,11	-0,57	
92	-0,12	-0,57	
93	-0,11	-0,58	
94	-0,12	-0,58	
95	-0,11	-0,58	
96	-0,12	-0,58	
97	-0,11	-0,58	
98	-0,11	-0,58	
99	-0,12	-0,63	
100	-0,12	-0,59	

[silnik oryginalny]

Lp	θ	α	Uwagi
	[mm]		
51	-0,08	-0,45	
52	-0,10	-0,45	
53	-0,09	-0,46	
54	-0,09	-0,47	
55	-0,09	-0,47	
56	-0,09	-0,47	
57	-0,09	-0,48	
58	-0,09	-0,48	
59	-0,10	-0,49	
60	-0,09	-0,49	
61	-0,09	-0,49	
62	-0,10	-0,49	
63	-0,10	-0,50	
64	-0,10	-0,50	
65	-0,10	-0,50	
66	-0,10	-0,51	
67	-0,10	-0,51	
68	-0,10	-0,52	
69	-0,10	-0,51	
70	-0,10	-0,52	
71	-0,10	-0,52	
72	-0,10	-0,52	
73	-0,10	-0,53	
74	-0,10	-0,53	
75	-0,10	-0,53	

[silnik oryginalny]

Lp	\varnothing	α	Uwagi
	[mm]		
26	- 0,05	- 0,26	
27	- 0,06	- 0,27	
28	- 0,06	- 0,28	
29	- 0,07	- 0,30	
30	- 0,07	- 0,30	
31	- 0,07	- 0,31	
32	- 0,06	- 0,32	
33	- 0,08	- 0,33	
34	- 0,07	- 0,34	
35	- 0,07	- 0,35	
36	- 0,07	- 0,35	
37	- 0,08	- 0,38	
38	- 0,07	- 0,37	
39	- 0,08	- 0,38	
40	- 0,07	- 0,38	
41	- 0,08	- 0,39	
42	- 0,08	- 0,40	
43	- 0,08	- 0,40	
44	- 0,09	- 0,41	
45	- 0,08	- 0,42	
46	- 0,08	- 0,43	
47	- 0,07	- 0,43	
48	- 0,09	- 0,44	
49	- 0,08	- 0,44	
50	- 0,08	- 0,44	

Pomiary pontażalności robota YRB-60
[silnik oryginalny]

Tabela 9

Lp	θ	α	Uwagi
1	0,00	0,00	
2	0,00	-0,01	
3	0,00	-0,02	
4	0,00	-0,04	
5	0,00	-0,05	
6	-0,01	-0,07	
7	-0,02	-0,08	
8	-0,01	-0,10	
9	-0,03	-0,11	
10	-0,02	-0,12	
11	-0,02	-0,13	
12	-0,03	-0,15	
13	-0,04	-0,15	
14	-0,03	-0,17	
15	-0,03	-0,17	
16	-0,03	-0,17	
17	-0,04	-0,19	
18	-0,04	-0,20	
19	-0,05	-0,21	
20	-0,05	-0,21	
21	-0,05	-0,22	
22	-0,05	-0,23	
23	-0,05	-0,25	
24	-0,05	-0,25	
25	-0,05	-0,26	

Porównanie sztywności z wymaganiami ZN

Tabela 8

Przemieszczenia [$\text{rad} \cdot 10^{-3}$]						
Obciążenie	oś \ominus					
	wg badań				wg ZN	
	oryginalny		JEL		+	-
	" + "	" - "	" + "	" - "	" + "	" - "
10%	0,17	0,14	0,16	0,30	0,50	0,40
100%	2,30	2,05	2,06	2,36	2,80	2,60
oś α						
10%	—	0,16	—	0,18	0,30	0,50
100%	—	2,11	—	2,03	2,80	3,00

Porównanie sztywności robota JRb-60 z układem napędowym oryginalnym i JEL.

Tabela 7

Lp	oś α			oś θ				
	M	kierunek ruchu „-”		M	kierunek ruchu „+”		kierunek ruchu „-”	
		Bśr oryg.	Bśr JEL		Bśr oryg.	Bśr JEL	Bśr oryg.	Bśr JEL
	Nm	rad·10 ⁻³	rad·10 ⁻³	Nm	rad·10 ⁻³	rad·10 ⁻³	rad·10 ⁻³	rad·10 ⁻³
1	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2	74	0,16	0,18	92	0,17	0,16	0,14	0,30
3	186	0,41	0,42	257	0,77	0,55	0,50	0,72
4	372	0,95	0,91	422	1,16	0,96	0,86	1,12
5	558	1,60	1,60	587	1,52	1,27	1,25	1,52
6	744	2,11	2,03	752	1,90	1,62	1,62	1,96
7	558	1,73	1,67	917	1,96	2,01	2,00	2,32
8	372	1,26	1,24	937	2,30	2,06	2,05	2,36
9	186	0,51	0,51	917	2,26	2,05	2,00	2,34
10	74	0,11	0,19	752	2,22	1,98	1,94	2,24
11	0	0,01	0,00	587	2,15	1,89	1,87	2,18
12				422	1,72	1,62	1,52	1,76
13				257	1,23	0,96	0,96	1,05
14				92	0,68	0,45	0,37	0,60
15				0	0,01	0,07	0,00	0,03

23

Pomiary sztywności osi - α (układ napędowy JEL)

Obciążenie ↗

Tabela 6

Lp	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B _{śr}	B _{śr}
	Nm	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	74	0,20	0,17	0,21	0,18	0,21	0,18	0,21	0,18
3	186	0,47	0,41	0,50	0,43	0,48	0,42	0,48	0,42
4	372	1,03	0,89	1,07	0,93	1,05	0,91	1,05	0,91
5	558	1,83	1,59	1,84	1,60	1,85	1,61	1,84	1,60
6	744	2,35	2,04	2,30	2,00	2,36	2,05	2,34	2,03

Obciążenie ↗

1	0	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	74	0,29	0,25	0,26	0,22	0,10	0,08	0,22	0,19
3	186	0,62	0,54	0,59	0,51	0,56	0,49	0,59	0,51
4	372	1,42	1,23	1,42	1,23	1,45	1,26	1,43	1,24
5	558	1,92	1,67	1,93	1,67	1,90	1,65	1,92	1,67
6	744	2,35	2,04	2,30	2,00	2,36	2,05	2,34	2,03

Pomiary sztywności osi - B (układ napędowy JEL.)

obciążenie /

Tabela 5

Lp	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B _{sr}	B _{sr}
	Nm	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	92	0,24	0,30	0,23	0,29	0,24	0,30	0,24	0,30
3	257	0,58	0,72	0,57	0,71	0,59	0,74	0,58	0,72
4	422	0,90	1,12	0,90	1,12	0,90	1,12	0,90	1,12
5	587	1,23	1,54	1,22	1,52	1,22	1,52	1,22	1,52
6	752	1,59	1,99	1,57	1,96	1,54	1,92	1,57	1,96
7	917	1,88	2,35	1,84	2,30	1,85	2,31	1,86	2,32
8	937	1,95	2,44	1,86	2,32	1,86	2,32	1,89	2,36

obciążenie /

1	0	0,07	0,08	0,00	0,00	-0,02	0,03	0,02	0,03
2	92	0,52	0,65	0,47	0,58	0,46	0,57	0,48	0,60
3	257	1,01	1,26	0,95	1,21	0,55	0,68	0,84	1,05
4	422	1,48	1,85	1,42	1,78	1,33	1,66	1,41	1,76
5	587	1,76	2,20	1,74	2,17	1,75	2,18	1,75	2,18
6	752	1,83	2,29	1,79	2,24	1,75	2,18	1,79	2,24
7	917	1,90	2,37	1,85	2,31	1,86	2,32	1,87	2,34
8	937	1,95	2,43	1,86	2,32	1,86	2,32	1,89	2,36

Pomiary sztywności osi + @ (układ napędowy MEL.)

Tabela 4

Obciążenie ↗

Lp	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B _{sr}	B _{sr}
	Nm	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	92	0,12	0,15	0,13	0,16	0,13	0,16	0,13	0,16
3	257	0,42	0,52	0,43	0,53	0,46	0,57	0,44	0,55
4	422	0,87	1,08	0,68	0,85	0,72	0,90	0,77	0,96
5	587	1,13	1,41	0,92	1,15	1,01	1,26	1,02	1,27
6	752	1,39	1,74	1,19	1,48	1,31	1,64	1,30	1,62
7	917	1,70	2,12	1,51	1,88	1,62	2,02	1,61	2,01
8	937	1,76	2,20	1,55	1,94	1,64	2,05	1,65	2,06

obciążenie ↘

1	0	0,18	0,22	-0,03	0,04	0,03	0,04	0,06	0,07
2	92	0,49	0,61	0,29	0,36	0,31	0,39	0,36	0,45
3	257	0,90	1,12	0,75	0,94	0,65	0,81	0,77	0,96
4	422	1,40	1,75	1,29	1,61	1,21	1,51	1,30	1,62
5	587	1,62	2,02	1,37	1,71	1,54	1,92	1,51	1,89
6	752	1,67	2,08	1,51	1,88	1,58	1,97	1,59	1,98
7	917	1,74	2,17	1,55	1,94	1,63	2,04	1,64	2,05
8	937	1,76	2,20	1,55	1,94	1,64	2,05	1,65	2,06

Pomiary sztywności osi - α (układ napędowy oryginal.)

Obciążenie \nearrow

Tabela 3

Lp	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B _{śr}	B _{śr}
	Nm	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	74	0,18	0,15	0,19	0,16	0,21	0,18	0,19	0,16
3	186	0,44	0,38	0,47	0,41	0,49	0,42	0,47	0,41
4	372	1,07	0,93	1,08	0,94	1,11	0,96	1,09	0,95
5	558	1,82	1,58	1,85	1,60	1,86	1,62	1,84	1,60
6	744	2,47	2,15	2,41	2,09	2,42	2,10	2,43	2,11

Obciążenie \swarrow

1	0	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
2	74	0,10	0,08	0,20	0,17	0,10	0,08	0,13	0,11
3	188	0,64	0,56	0,56	0,49	0,57	0,43	0,59	0,51
4	372	1,50	1,30	1,44	1,25	1,44	1,25	1,46	1,26
5	558	2,03	1,76	1,98	1,72	1,97	1,71	1,99	1,73
6	744	2,47	2,14	2,41	2,09	2,42	2,10	2,43	2,11

24

Pomiary sztywności osi - 6 (układ napęd, oryginal.)

Obciążenie ↙

Tabela 2

Lp	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B _{śr}	B _{śr}
	Nm	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³	mm	rad·10 ⁻³
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	92	0,12	0,15	0,08	0,10	0,13	0,16	0,11	0,14
3	257	0,40	0,50	0,34	0,42	0,45	0,56	0,40	0,50
4	422	0,67	0,83	0,64	0,80	0,75	0,94	0,69	0,86
5	587	1,00	1,25	0,98	1,22	1,04	1,30	1,00	1,25
6	752	1,32	1,42	1,24	1,55	1,35	1,69	1,30	1,62
7	917	1,59	1,49	1,55	1,93	1,66	2,07	1,60	2,00
8	937	1,64	2,05	1,57	1,96	1,70	2,12	1,64	2,05

Obciążenie ↙

1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	92	0,35	0,43	0,21	0,26	0,36	0,45	0,30	0,37
3	257	0,82	1,02	0,71	0,89	0,79	0,98	0,77	0,96
4	422	1,20	1,50	1,19	1,48	1,22	1,55	1,20	1,52
5	587	1,49	1,86	1,46	1,82	1,56	1,95	1,50	1,87
6	752	1,54	1,92	1,51	1,88	1,60	2,00	1,55	1,94
7	917	1,60	2,00	1,56	1,95	1,65	2,06	1,60	2,00
8	937	1,64	2,05	1,57	1,96	1,70	2,12	1,64	2,05

Pomiary sztywności osi + θ (układ napęd. oryginal.)

Obciążenie \uparrow

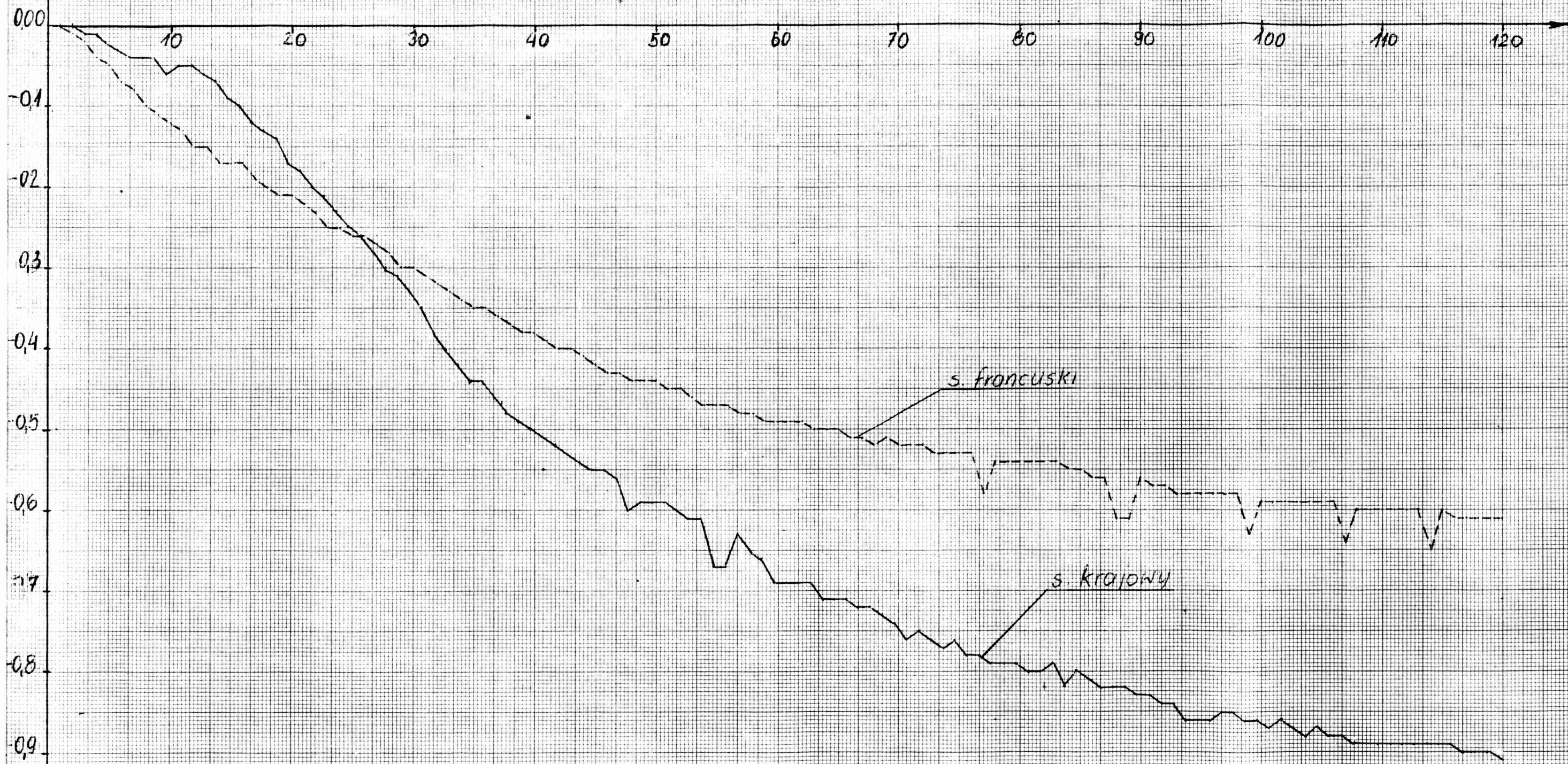
Tabela 1

Lp	M	B_1	B_1	B_2	B_2	B_3	B_3	B_{sr}	B_{sr}
	Nm	mm	rad $\cdot 10^3$	mm	rad $\cdot 10^3$	mm	rad $\cdot 10^3$	mm	rad $\cdot 10^3$
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	92	0,17	0,21	0,13	0,16	0,11	0,14	0,14	0,17
3	257	0,65	0,81	0,61	0,76	0,60	0,75	0,62	0,77
4	422	0,97	1,21	0,92	1,15	0,91	1,13	0,93	1,16
5	587	1,23	1,54	1,21	1,51	1,21	1,51	1,22	1,52
6	752	1,55	1,94	1,50	1,87	1,50	1,87	1,52	1,90
7	917	1,78	2,22	1,75	2,18	1,78	2,22	1,57	1,96
8	937	1,88	2,35	1,86	2,32	1,78	2,22	1,84	2,30

Obciążenie \downarrow

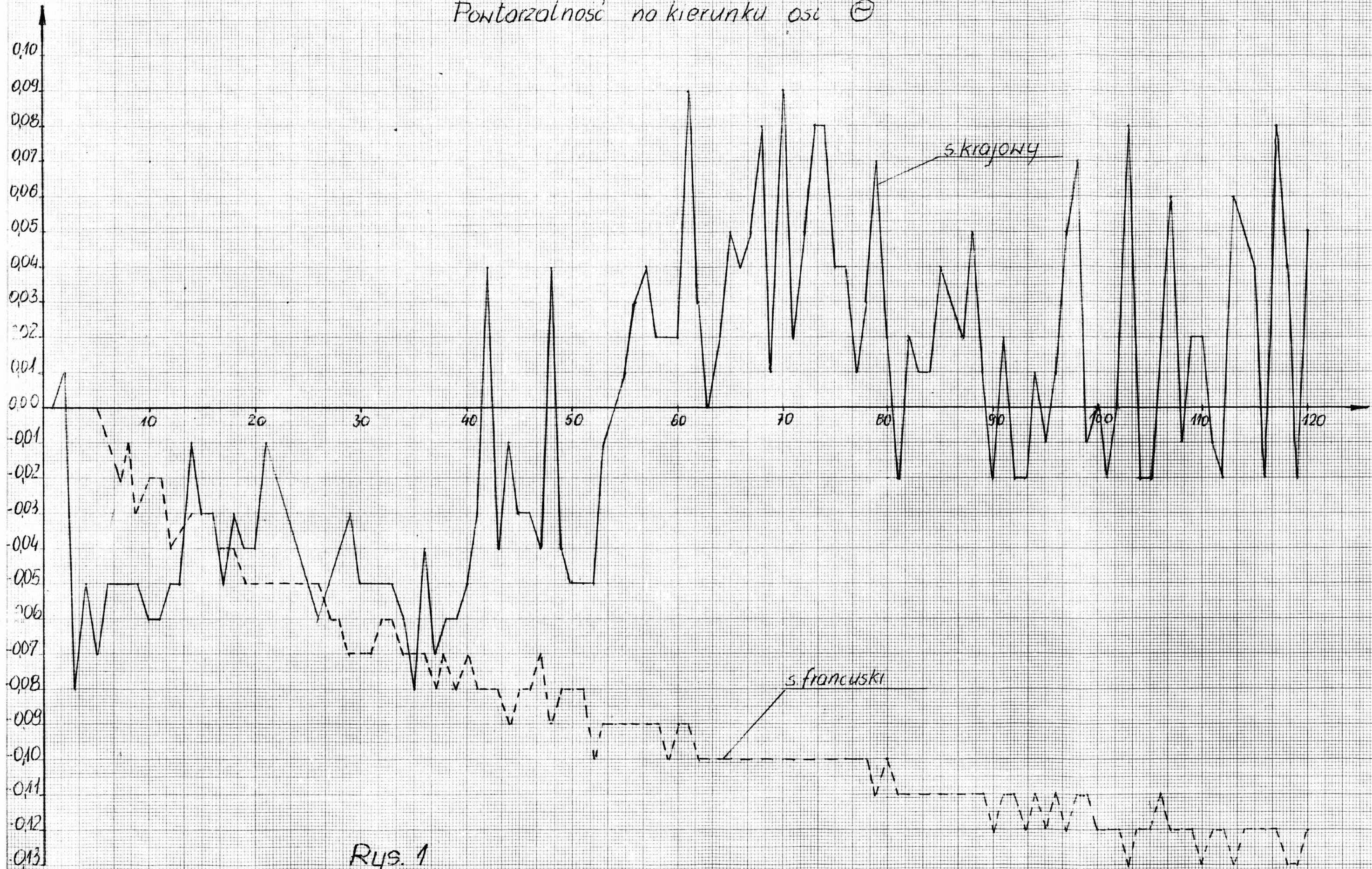
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05	0,01	0,01
2	92	0,59	0,73	0,55	0,68	0,52	0,65	0,55	0,68
3	257	1,04	1,30	0,96	1,20	0,97	1,21	0,99	1,23
4	422	1,46	1,82	1,35	1,68	1,34	1,67	1,38	1,72
5	587	1,79	2,24	1,71	2,13	1,71	2,13	1,72	2,15
6	752	1,82	2,27	1,77	2,21	1,75	2,18	1,78	2,22
7	917	1,84	2,30	1,83	2,28	1,76	2,20	1,81	2,26
8	937	1,88	2,35	1,86	2,32	1,78	2,22	1,84	2,30

Powtarzalność na kierunku osi α



Rys. 2

Powtarzalność no kierunku osi ⊖



Rys. 1