

NIE UDOSTĘPNIAC →

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

Ośrodek Badań Niezawodności i Jakości

074

Centralna Stacja Prób

A

Główny wykonawca

Wykonawcy: dr inż. St. Budzyński, inż. K. Wojda, mgr inż. A. Socha,
mgr inż. Z. Wawerek, tech. tech. H. Michniewicz,
W. Czarnecki, E. Król.

Konsultant

Nr zlecenia
UR.01.02.07

Kompletne układy napędowe dla robotów
IRb-6.

Etap 1.5

Badanie nad możliwością dopasowania właściwości dynamicznych układów napędowych dla robotów IRb-6 do wymagań ZN.

Zleceniodawca problem węzłowy 06.6.

Pracę rozpoczęto dnia 04.06.85
Kierownik CSP

[Signature]
mgr inż. E. Trepczyński

Z-ca Dyrektora
d/n Automatyki

[Signature]
dr inż. T. Gałazka

zakńczono dnia 15.06.85
Kierownik OBN

[Signature]
dr inż. St. Budzyński

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 5
rysunków 10
fotografii
tabel 15
tablic
załączników 2 tylko BOINTE

Egz. 1 BOINTE
Egz. 2 I. El.
Egz. 3 OBN
Egz. 4 OAE
Egz. 5 OAM
Egz. 6 ZD

Nr rejestr. 5432

1

Nie udostępniać - badania będą kontynuowane

Analiza deskrypcyjowa

ROBOTY PRZEMYSŁOWE + BADANIA

1000000 1 10 1000000 1000 1000000

0000 00000 00000000

Analiza dokumentacyjna

Praca zawiera wyniki badań sztywności powtarzalności i serwomechanizmów robota IRb-6 z układami napędowymi złożonymi z silników prod. I.El. i sterowników prod. ZD PIAP wg licencji ASEA oraz tego samego robota z układami napędowymi złożonymi z silników prod. I.El. ze zmienionymi właściwościami dynamicznymi (na podstawie pomiarów sterowników ASEA/

000000 00000000 0000 000000

000000

00000000

0000000000 00000000 00000000
0000000000 0000000000 0000000000
0000000000 0000000000 0000000000

Tytuły poprzednich sprawozdań

- 1/. Badania układów napędowych prod. I.El. w robocie IRb-6. Nr rej. 5213
- 2/ Badania zmodernizowanych układów napędowych prod. I.El. w robocie IRb-6. Nr rej. 5400.

338.45:62 [69].002.1/2 Roboty przemysłowe

62-50 Testy i pomiary funkcjonalne regulacji i sterowania

UKD

PIAP-252/83-6000

2.

1. Przedmiot i cel badań

Badaniom poddano 2 rodzaje układów napędowych, z których jeden złożony był z silników opracowanych i wykonanych w Instytucie Elektrotechniki oraz sterowników wyprodukowanych w ZD PIAP na podstawie licencji ASEA, a drugi rodzaj układów napędowych składał się z tych samych silników oraz sterowników wykonanych w I.El., w których wprowadzono pewne modyfikacje w oparciu o przeprowadzone pomiary sterowników ASEA. Zmiany dokonane w sterownikach opisane są w sprawozdaniu I.El.

Do badań użyto robota IRb-6 nr fabr. 5/79 /część manipulacyjna + szafa sterownicza/.

Celem badań I rodzaju układów było sprawdzenie możliwości współpracy silników I.El. ze sterownikami ASEA oraz jakości działania robota napędzanego tymi układami.

Celem badań układów napędowych ze zmodyfikowanymi sterownikami było sprawdzenie możliwości dopasowania właściwości dynamicznych układów napędowych produkcji I.El. do wymagań ZN, a w szczególności uzyskania wartości czasów rozruchu i hamowania, określonych w normie.

2. Zakres badań

Badania obejmowały:

- sprawdzenie działania serwomechanizmów, tj.:
 - pomiar prędkości maksymalnych,
 - określenie maksymalnych przeregulowań prędkości serwomechanizmów,
 - pomiar czasów rozruchu i hamowania
- sprawdzenie działania pozycjonowania
- sprawdzenie sztywności.

3. Przygotowanie robota do badań

W celu zapewnienia poprawnej pracy układu napędowego złożonego z silnika prod. I.El. i sterownika ASEA należało dokonać zmian wartości następujących elementów sterownika we wszystkich osiach robota:

R48: z 3,3 k 0,5 % na 33,2 k 0,5 %

R89: z 220 k 5 % na 680 k 5 %

C24: z 0,4 u na 33 n

Konieczność wprowadzenia tych zmian wynika z różnych wartości stałej napięciowej prądnicy w zespole napędowym /dotychczasowa 3 V/1000 obr/min; nowa 10 V/1000 obr/min/.

4. Przebieg i wyniki badań

4.1. Badanie serwomechanizmów

Badania wykonano zgodnie z pkt 4.2.8 ZN-82/MERA-048/225 dla wszystkich osi, rejestrując przy pomocy rejestratora Hellige przebieg napięcia prądnic tachometrycznej oraz przebieg spadku napięcia wywołanego przepływem prądu silnika przez opornik 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 1 i 2/ dokonano sprawdzenia prędkości maksymalnej, czasów rozruchu i hamowania oraz przeregulowania prędkości i amplitudy oscylacji sygnału prędkościowego.

Wartości czasów rozruchu t_p i hamowania t_h robota z badanymi układami napędowymi podane w tab. 1. Z porównania danych wynika, że czasy rozruchu t_p osi \odot i \odot dla napędów ze sterownikami I.El. i ASEA są większe od dopuszczalnych o 13,5 % i 75 % /dla osi \odot / oraz o 56 % i 137 % /dla osi \odot /. Przypuszcza się, że przyczyną tych różnic jest częściowe rozmagnesowanie silnika osi \odot . Zostanie on wymontowany i sprawdzony oraz ewentualnie namagnesowany. W przypadku demagnesowania silnika pomiar czasu t_p zostanie powtórzony. Ponadto stwierdzono istotny wpływ na czasy t_p i t_h wartości współczynnika wzmocnienia pętli pozycyjnej k_p i tak np. zmiana k_p z 2,4 V/1 obr na 2 V/1 obr dla osi \odot spowodowała zmianę t_h z 0,1 s na 0,2 s. Tę możliwość regulacji czasów rozruchu i hamowania wykorzystano również do uzyskania wymaganych wartości tych czasów przy badaniu zmodyfikowanych sterowników I.El., które, jak wynika z tab. 1, są zgodne z wartościami wymaganymi w ZN /poza t_p dla osi \odot i \odot /.

Wartości maksymalnych prędkości określono dla osi \odot i \odot robota nieobciążonego metodą bezpośrednią zgodnie z p. 4.2.8.1 ZN. Do pomiaru czasu ruchu danego ramienia robota na drodze o znanej długości użyto rejestratora Hellige. Obliczone wartości prędkości podane w tab. 2.

Z porównania danych wynika, że zarówno dla napędu złożonego z silników I.El. i sterowników ASEA, jak i dla napędu ze sterownikiem I.El. zmodyfikowanym wartości prędkości maksymalnych są porównywalne i mniejsze od wartości wymaganych o:

ok. 2 % dla osi \odot /sterownik ASEA/

ok. 6 % dla osi \odot /sterownik I.El. zmodyfikowany/

ok. 5 % dla osi \odot /sterownik ASEA/

ok. 7 % dla osi \odot /sterownik I.El. zmodyfikowany/.

natomiast większe od prędkości uzyskanych przy napędzie ASEA o:

- ok. 9 % dla osi \odot /sterownik ASEA/
- ok. 5 % dla osi \odot /sterownik I.El. zmodyfikowany/
- ok. 20 % dla osi α /sterownik ASEA/
- ok. 17 % dla osi α /sterownik I.El. zmodyfikowany/

Sprawdzenie maksymalnego przeregulowania prędkości wykonane zgodnie z pkt-em 4.2.8 ZN wykorzystując zarejestrowane przebiegi napięcia prądnicy tachometrycznej zamieszczone w załącznikach nr 1 i 2 do n/sprawozdania. Z analizy wykresów wynika, że maksymalne przeregulowania prędkości serwomechanizmów dla obu rodzajów badanych napędów nie przekraczają wartości dopuszczalnych.

Również amplitudy oscylacji sygnału prędkościowego odczytane z przebiegów napięcia prądnicy tachometrycznej /załączniki 1 i 2/ nie przekraczają wartości dopuszczalnych.

4.2. Badanie powtarzalności pozycjonowania

Badanie powtarzalności pozycjonowania wykonano dla wszystkich osi tylko dla napędu ze sterownikiem ASEA zgodnie z p. 4.2.10 ZN w 120 cyklach pomiarowych, będących sekwencją następujących ruchów robota: cykl roboczy - najazd osi 1, cykl roboczy - najazd osi 2 itd.

Prędkość najazdu wynosiła 1,3 % prędkości maksymalnej.

Badanie wykonano na robocie obciążonym ciężarkiem o masie 6 kg. 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 tab.3. Graficzne przedstawienie zależności powtarzalności pozycjonowania w funkcji liczby cykli /czasu/ zawierają rys. 1 + 5.

Wymagania odnośnie powtarzalności pozycjonowania, zdefiniowanej w p.1.2.7 ZN, są spełnione dla wszystkich osi robota napędzanego układem złożonym ze sterownika prod. I.El. i sterownika ASEA. Z porównania wyników pomiarów oraz wykresów zależności powtarzalności pozycjonowania w funkcji liczby cykli wynika, że dla osi φ , \odot , α , i \vee odchylenia wartości początkowej pozycjonowania /dryft/ z upływem czasu są większe dla napędów z silnikami prod. I.El. niż dla napędów z silnikami francuskimi /sterowniki w obu przypadkach ASEA/.

Podobną właściwością charakteryzują się również uprzednio badane napędy złożone z silników i sterowników I.El. Podczas badania powtarzalności pozycjonowania w osi \vee w 61 cyklu wartość współrzędnej osiągnęła 0,34 mm, tj. prawie 2,5 raza większą niż w następnych kolejnych cyklach. Tego rodzaju nieprawidłowość nie wystąpiła w żadnych dotychczas prowadzonych badaniach i trudne jest podanie jej przyczyny.

4.3. Badanie sztywności

Badanie sztywności wykonane zgodnie z p. 4.2.11 ZN dla wszystkich osi robota z napędami złożonymi z silników I.El. i sterowników ASEA. Obciążenia poszczególnych osi realizowano przy pomocy obciążników i rolek o masach odpowiadających momentom sił podanych w tab.1 p.2.2.10 ZN.

Do pomiaru zmiany położenia danej osi robota /odchylenia/ użyto czujników zegarowych o rozdzielczości 0,01 mm i skoku 10 mm. Przesunięcia ramion robota mierzone w funkcji momentu siły. Pomiaru powtarzano trzykrotnie. W czasie dokonywania pomiarów robot znajdował się w stanie "PRACA".

Wyniki pomiarów podane w tabelach 4 + 8, w których oznaczono:

M /Nm/ - moment obciążający ramię robota

$B_{1,2,3}$ /mm i rad/ - pomierzone wartości przesunięć

$$B_4 \text{ /mm i rad/} - B_4 = \frac{B_1 + B_2 + B_3}{3} - \text{wartości średnie przesunięć}$$

W tabeli 9 podano wartości średnie przesunięć dla obciążeń równych 10 % i 100 % obciążenia maksymalnego.

W oparciu o uzyskane wyniki pomiarów wykreślono /rys. 6 + 10/ zależności sztywności i funkcji momentu obciążającego. Linia kreskowaną przedstawiono zależność dla napędu ASEA.

Z porównania danych zawartych w tabelach 4-9 oraz przebiegów sztywności w funkcji momentu obciążającego na rys. 6-10 wynika, że robot z badanymi układami napędowymi charakteryzuje się sztywnością zbliżoną do sztywności robota z napędami ASEA. Poza dwoma przypadkami /osie φ i t dla obciążenia 100 %/ robot spełnia wymagania ZN odnośnie sztywności w zakresie całego obciążenia. Dla obciążenia 100 % sztywność jest mniejsza od wymaganej o ok. 5 % dla osi φ i ok. 9 % dla osi t .

5. Badania dodatkowe

Modyfikacja sterowników I.El. oraz odpowiednie regulacje przeprowadzone w robocie w czasie jego uruchomienia zapewniły ciągłość działania robota w dwóch kolejnych dniach po 12 h, co umożliwiło wykonanie badań powtarzalności pozycjonowania oraz sztywności robota dla wszystkich osi.

Wyniki badań powtarzalności zamieszczono w tabeli 10, a jej przebieg w funkcji liczby cykli /czasu/ przedstawiono na rys. 1-5.

Dla wszystkich osi powtarzalność pozycjonowania jest zgodna z wymaganiami ZN. Wyniki badań sztywności dla poszczególnych osi zestawiono w tabelach 11-15. Wymagania odnośnie powtarzalności są spełnione dla wszystkich osi i obciążeń 10 i 100 % z wyjątkiem obciążenia 100 % osi t , dla którego pomierzona sztywność wynosi $36,42 \text{ rad} \cdot 10^{-3}$ wobec dopuszczalnej $32 \text{ rad} \cdot 10^{-3}$ /dla napędu złożonego z silnika I.El. i sterownika ASEA wynosiła $34,99 \text{ rad} \cdot 10^{-3}$.

Przekroczenie wartości wymaganej dla obu rodzajów napędów sugeruje, że przyczyna związana jest z częścią mechaniczną a nie z układami napędowymi robota. Również bardzo podobne kształty krzywych obrazujących przebiegi zmian sztywności w funkcji momentu obciążającego dla różnych układów napędowych /rys. 6-10/ stanowią potwierdzenie powyższej sugestii.

6. Wnioski

- 1/ Badania wykazały możliwość poprawnego działania robota IRb-6, napędzanego układami napędowymi złożonymi z silników prod. I.El. i sterowników ASEA.
- 2/ Układy te zapewniają uzyskanie przez robot właściwości dynamicznych zgodnych z wymaganiami ZN.
- 3/ Powtarzalności pozycjonowania i sztywności robota są porównywalne dla obu badanych układów napędowych.
- 4/ W wyniku modyfikacji sterowników prod. I.El. oraz odpowiedniej regulacji w pętli pozycjonowania możliwe jest uzyskanie wartości czasów rozruchu i hamowania zgodnych z wymaganiami ZN.

Porównanie czasów rozruchu t_p i hamowania t_h Tab. 1
robota YRb-6 z różnymi układami napędowymi

os	ASEA		JEL [PJ]		JEL [PJ] zmodyfikowany		silniki JEL sterownik ASEA		wg ZN		Kp
	t_p	t_h	t_p	t_h	t_p	t_h	t_p	t_h	t_p	t_h	
φ	0,137	0,20	0,16	0,14	0,135	0,18	0,13	0,20	0,126 ÷ 0,154 (0,14)	0,180 ÷ 0,220 (0,20)	2**
θ	0,13	0,127	0,195	0,11	0,175	0,14	0,21	0,18	0,108 ÷ 0,132 (0,12)	0,126 ÷ 0,154 (0,14)	
α	0,093	0,153	0,11	0,065	0,11	0,130	0,11	0,14	0,09 ÷ 0,11 (0,10)	0,135 ÷ 0,165 (0,15)	2
t			0,09	0,085	0,125	0,140	0,19	0,12	0,072 ÷ 0,088 (0,08)	0,135 ÷ 0,165 (0,15)	2
ψ			0,085	0,14	0,095	0,14	0,14	0,15	0,081 ÷ 0,099 (0,09)	0,126 ÷ 0,154 (0,14)	2,4*

*) $K_p = 3,1$ dla prób ze sterownikiem ASEA [współczynnik wzmocnienia pętli pozycyjnej]

**) Dla $K_p = 2,4$ czasy $t_p = 0,14$ s i $t_h = 0,10$ s dla napędu ze sterownikiem ASEA

Tabl. 2

Wartości maksymalnych prędkości robota z różnymi układami napędowymi					
[m/s]					
oś	napęd ASEA	napęd IEL	silnik IEL napęd: sterow.ASEA	silnik IEL napęd: sterow. IEL zmodyfikowany	wg ZN
θ	0,674	0,670	0,736	0,706	0,75
α	0,870	0,905	1,043	1,018	1,1

Pomiary powtarzalności robotów YRb-6
z silnikami JEL i sterownikami ASEA

Tabela 3

Lp	oś Θ	oś α	oś φ	oś ψ	oś t
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	-0,01	-0,01	0,01	0,02	0,01
3	0,02	-0,02	0,01	0,03	0,02
4	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02
5	0,01	0,02	0,04	0,05	0,02
6	-0,01	-0,04	0,04	0,06	0,02
7	0,01	-0,02	0,05	-0,01	-0,04
8	0,02	-0,04	0,05	-0,01	-0,03
9	0,00	-0,04	0,05	-0,02	-0,01
10	0,01	-0,04	0,05	-0,04	-0,07
11	0,03	-0,05	0,08	-0,02	-0,08
12	0,04	-0,05	0,08	0,02	-0,07
13	0,01	-0,06	0,08	0,05	-0,05
14	0,03	-0,07	0,08	-0,04	-0,06
15	0,02	-0,07	0,08	-0,04	-0,06
16	0,02	-0,07	0,09	-0,01	-0,10
17	0,03	-0,07	0,09	0,01	-0,07
18	0,02	-0,10	0,09	0,01	-0,06
19	-0,02	-0,10	0,09	0,00	-0,08
20	0,06	-0,10	0,11	0,00	-0,10
21	0,04	-0,10	0,10	0,00	-0,09
22	0,05	-0,12	0,12	0,02	-0,10
23	0,04	-0,13	0,11	0,04	-0,08
24	0,04	-0,14	0,12	0,08	-0,09
25	0,03	-0,15	0,10	0,06	-0,08

210

Lp	$\delta \theta$	$\delta \alpha$	$\delta \varphi$	$\delta \nu$	δt
26	0,00	- 0,14	0,09	0,03	- 0,08
27	-0,04	- 0,16	0,10	0,11	- 0,09
28	0,01	- 0,15	0,10	0,05	- 0,08
29	0,00	- 0,17	0,10	0,07	- 0,09
30	-0,02	- 0,17	0,10	0,02	- 0,08
31	- 0,01	- 0,17	0,11	0,03	- 0,10
32	0,00	- 0,16	0,11	0,02	- 0,06
33	-0,01	- 0,17	0,12	0,02	- 0,07
34	0,00	- 0,18	0,12	0,03	- 0,07
35	-0,01	- 0,12	0,11	0,07	- 0,06
36	- 0,02	- 0,16	0,11	0,06	- 0,06
37	- 0,05	- 0,18	0,11	0,07	- 0,04
38	- 0,04	- 0,19	0,11	0,10	- 0,07
39	0,02	- 0,16	0,11	0,10	- 0,04
40	0,01	- 0,21	0,09	0,07	- 0,02
41	- 0,01	- 0,19	0,11	0,05	- 0,05
42	0,02	- 0,21	0,10	0,10	- 0,04
43	0,01	- 0,17	0,09	0,10	- 0,04
44	0,02	- 0,20	0,10	0,07	- 0,04
45	0,01	- 0,21	0,15	0,12	- 0,04
46	0,02	- 0,18	0,12	0,10	- 0,03
47	0,03	- 0,20	0,10	0,09	- 0,02
48	0,01	- 0,22	0,11	0,11	- 0,04
49	0,01	- 0,22	0,11	0,12	- 0,04
50	0,03	- 0,24	0,10	0,10	- 0,04

11

Lp	$\delta\theta$	$\delta\alpha$	$\delta\varphi$	$\delta\psi$	δt
51	0,02	-0,22	0,11	0,13	-0,05
52	0,02	-0,23	0,09	0,13	-0,02
53	0,03	-0,23	0,10	0,14	-0,04
54	0,02	-0,23	0,10	0,13	-0,03
55	0,02	-0,24	0,09	0,15	-0,01
56	0,01	-0,23	0,09	0,16	-0,02
57	0,02	-0,24	0,10	0,15	-0,01
58	0,07	-0,23	0,09	0,15	-0,03
59	0,02	-0,23	0,10	0,15	-0,02
60	0,02	-0,25	0,09	0,17	-0,01
61	0,01	-0,24	0,08	0,34	-0,03
62	0,04	-0,23	0,09	0,16	-0,04
63	0,02	-0,22	0,09	0,18	-0,04
64	0,03	-0,18	0,10	0,16	-0,03
65	0,03	-0,23	0,09	0,17	-0,03
66	0,04	-0,24	0,09	0,20	-0,05
67	0,03	-0,22	0,08	0,23	-0,02
68	0,04	-0,23	0,08	0,19	-0,02
69	0,04	-0,23	0,08	0,19	-0,02
70	0,05	-0,24	0,08	0,20	-0,02
71	0,05	-0,23	0,08	0,18	-0,03
72	0,04	-0,24	0,09	0,18	-0,05
73	0,04	-0,24	0,09	0,19	-0,02
74	0,04	-0,23	0,09	0,17	-0,04
75	0,03	-0,24	0,08	0,16	-0,03

12

Lp	os θ	os α	os φ	os ψ	ost
76	0,04	-0,23	0,08	0,17	-0,04
77	0,05	-0,24	0,08	0,16	0,00
78	0,02	-0,24	0,08	0,15	-0,03
79	0,03	-0,24	0,08	0,15	-0,02
80	0,03	-0,23	0,08	0,12	-0,02
81	0,03	-0,25	0,08	0,14	-0,01
82	0,04	-0,25	0,08	0,12	-0,01
83	0,03	-0,23	0,09	0,12	-0,02
84	0,05	-0,24	0,08	0,13	-0,02
85	0,05	-0,24	0,09	0,15	-0,03
86	0,03	-0,25	0,07	0,11	-0,02
87	0,04	-0,24	0,08	0,16	-0,01
88	0,04	-0,25	0,09	0,13	-0,03
89	0,04	-0,24	0,08	0,14	-0,05
90	0,04	-0,24	0,08	0,13	-0,03
91	0,06	-0,25	0,08	0,14	-0,03
92	0,05	-0,25	0,08	0,13	-0,03
93	0,05	-0,23	0,07	0,14	-0,04
94	0,03	-0,23	0,08	0,14	-0,06
95	0,06	-0,23	0,08	0,14	-0,04
96	0,05	-0,23	0,08	0,14	-0,05
97	0,06	-0,25	0,08	0,13	-0,04
98	0,05	-0,23	0,07	0,15	-0,05
99	0,05	-0,24	0,08	0,13	-0,04
100	0,07	-0,24	0,07	0,10	-0,043

Lp	os θ	os α	os φ	os ν	ost
101	0,09	-0,24	0,06	0,10	-0,04
102	0,04	-0,25	0,07	0,12	-0,05
103	0,04	-0,20	0,07	0,12	-0,07
104	0,05	-0,22	0,08	0,13	-0,06
105	0,03	-0,25	0,07	0,12	-0,03
106	0,06	-0,24	0,08	0,13	-0,02
107	0,04	-0,25	0,09	0,14	-0,04
108	0,05	-0,25	0,07	0,15	-0,04
109	0,05	-0,25	0,08	0,15	-0,02
110	0,06	-0,23	0,07	0,12	-0,03
111	0,05	-0,24	0,08	0,15	-0,02
112	0,05	-0,23	0,07	0,12	-0,02
113	0,07	-0,24	0,09	0,13	-0,03
114	0,04	-0,25	0,08	0,14	-0,02
115	0,04	-0,22	0,06	0,14	-0,02
116	0,08	-0,22	0,06	0,16	-0,02
117	0,05	-0,24	0,07	0,14	-0,03
118	0,04	-0,21	0,10	0,13	-0,02
119	0,04	-0,25	0,07	0,12	-0,03
120	0,06	-0,25	0,08	0,12	-0,03

Pomiary sztywności osi φ +
silnik J.E.L., sterownik ASEA

Tabl. 4

L.p	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B ₄	B ₄
	Nm	mm	rd. $\cdot 10^{-3}$	mm	rd. $\cdot 10^{-3}$	mm	rd. $\cdot 10^{-3}$	mm	rd. $\cdot 10^{-3}$
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	11,8	0,41	0,54	0,34	0,45	0,36	0,48	0,37	0,49
3	59,0	2,13	2,82	2,10	2,78	2,10	2,78	2,11	2,79
4	118,0	3,90	5,17	4,05	5,36	4,00	5,30	3,98	5,27
5	59,0	2,47	3,27	2,35	3,11	2,40	3,18	2,40	3,18
6	11,8	0,66	0,87	0,54	0,72	0,53	0,70	0,58	0,77
7	0	+0,08	0,11	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,02	0,03

Pomiary sztywności osi α +
silnik J.E.L., sterownik ASEA

Tabl. 5

L.p	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B ₄	B ₄
	Nm	mm	rd. $\cdot 10^{-3}$	mm	rd. $\cdot 10^{-3}$	mm	rd. $\cdot 10^{-3}$	mm	rd. $\cdot 10^{-3}$
1	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	9,8	0,11	0,16	0,10	0,15	0,08	0,12	0,10	0,15
3	51,0	0,80	1,19	0,69	1,03	0,70	1,04	0,73	1,08
4	98,0	1,41	2,10	1,29	1,92	1,31	1,96	1,34	1,99
5	51,0	0,90	1,34	0,77	1,15	0,78	1,16	0,81	1,21
6	9,8	0,24	0,36	0,09	0,13	0,11	0,16	0,14	0,21
7	0,0	+0,14	0,21	-0,02	0,03	+0,01	0,01	0,04	0,06

Pomiary sztywności osi $\theta +$
silnik J.E.L, sterownik ASEA

Tabl. 6

L.p.	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B ₄	B ₄
	Nm	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³
1	0,0	0	0	0	0	0	0	0 /	0
2	11,0	0,14	0,30	0,15	0,32	0,15	0,32	0,15	0,32
3	55,0	0,80	1,70	0,76	1,60	0,75	1,60	0,77	1,70
4	110,0	1,47	3,19	1,43	3,11	1,42	3,09	1,44	3,10
5	55,0	0,87	1,89	0,82	1,78	0,81	1,76	0,83	1,80
6	11,0	0,30	0,65	0,25	0,54	0,23	0,50	0,26	0,56
7	0,0	+0,05	0,10	+0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,04

Pomiary sztywności osi ψ - pot. I.
silnik J.E.L, sterownik ASEA

Tabl. 7

L.p.	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B ₄	B ₄
	Nm	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³
1	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2,0	0,22	4,40	0,13	2,60	0,14	2,80	0,16	3,20
3	10,0	1,26	25,20	1,08	21,60	1,12	22,40	1,15	23,00
4	20,0	2,22	44,40	2,19	43,80	2,20	44,00	2,20	44,00
5	10,0	1,50	30,00	1,43	28,60	1,36	27,20	1,46	29,20
6	2,0	0,48	9,60	0,50	10,00	0,55	11,00	0,51	10,20
7	0,0	+0,20	4,00	+0,03	0,60	+0,03	0,60	0,07	1,40

Pomiary sztywności osi t° -

Tabl. 8

silnik J. EL., sterownik ASEA

L.p	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B ₄	B ₄
	Nm	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³
1	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3,0	0,72	2,53	0,74	2,60	0,65	2,28	0,70	2,47
3	15,0	5,29	18,56	5,30	18,60	5,22	18,32	5,27	18,49
4	29,5	11,10	35,44	9,97	34,98	9,85	34,56	9,97	34,99
5	15,0	6,12	21,47	5,86	20,56	5,81	20,39	5,93	20,80
6	3,0	1,25	4,39	0,89	3,12	0,97	3,40	1,04	3,64
7	0,0	+0,23	0,81	+0,06	0,21	-0,02	0,07	0,27	0,94

Porównanie sztywności - [$\text{rd} \cdot 10^3$] robota YRB-6 z różnymi układami napędowymi

Tabl. 9

Lp	oś	obciążenie [%]	ASEA	Silniki JEL sterowniki ASEA	wg NZ
1	+φ	10	0,6	0,49	1,0
		100	5,0	5,27	5,0
2	+θ	10	0,4	0,22	1,1
		100	2,9	2,14	6,0
3	+α	10	0,2	0,14	0,7
		100	1,8	1,99	2,0
4	-t°	10	3,10	2,47	4,0
		100	31,74	34,99	32,0
5	-2γ	10	5,0	3,20	10,0
		100	69,48	44,99	70,0

Bardziej powtarzalności robota JRB-6

silniki - JEL. sterowniki osi θ, α, t, V JEL. zmodyfikacja Tabela 10

Lp	os θ	os α	os φ ster. ASEA	os V	os t
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	-0,04	-0,01	-0,05	0,00
3	0,01	-0,06	-0,03	-0,01	0,02
4	0,01	-0,08	-0,04	-0,04	-0,10
5	0,00	-0,13	0,03	0,02	-0,09
6	0,01	-0,16	0,03	0,00	-0,35
7	0,00	-0,15	0,04	0,03	-0,38
8	-0,04	-0,16	0,04	0,05	-0,40
9	-0,03	-0,45	0,05	0,10	-0,42
10	-0,04	-0,40	0,05	0,11	-0,44
11	-0,03	-0,42	0,06	0,07	-0,44
12	-0,04	-0,35	0,06	0,08	-0,13
13	-0,01	-0,42	0,04	0,10	-0,42
14	-0,02	-0,42	0,05	0,08	-0,49
15	-0,04	-0,30	0,06	0,10	-0,52
16	-0,05	-0,38	0,06	0,14	-0,53
17	-0,03	-0,44	0,06	0,12	-0,53
18	-0,04	-0,46	0,06	0,10	-0,54
19	-0,04	-0,45	0,07	0,15	-0,55
20	-0,05	-0,46	0,06	0,09	-0,56
21	-0,03	-0,46	0,06	0,15	-0,57
22	-0,05	-0,47	0,06	0,10	-0,55
23	-0,02	-0,48	0,08	0,05	-0,57
24	-0,04	-0,49	0,07	0,07	-0,56
25	-0,03	-0,48	0,06	0,06	-0,54

Lp	os θ	os α	os φ	os ψ	os t
26	-0,04	-0,38	0,07	0,05	-0,50
27	-0,03	-0,52	0,08	0,08	-0,54
28	-0,03	-0,52	0,07	0,05	-0,55
29	-0,03	-0,52	0,08	0,04	-0,53
30	-0,02	-0,52	0,09	0,08	-0,52
31	-0,04	-0,50	0,09	0,08	-0,51
32	-0,04	-0,54	0,07	0,10	-0,52
33	-0,04	-0,56	0,09	0,07	-0,53
34	-0,03	-0,56	0,08	0,11	-0,51
35	-0,03	-0,57	0,06	0,11	-0,50
36	-0,03	-0,58	0,08	0,13	-0,49
37	-0,05	-0,57	0,09	0,11	-0,49
38	-0,03	-0,57	0,06	0,14	-0,50
39	-0,03	-0,58	0,06	0,15	-0,49
40	-0,03	-0,58	0,06	0,14	-0,52
41	-0,04	-0,59	0,07	0,15	-0,51
42	-0,03	-0,59	0,06	0,14	-0,49
43	-0,03	-0,59	0,07	0,13	-0,50
44	-0,03	-0,59	0,07	0,12	-0,52
45	-0,04	-0,60	0,07	0,15	-0,53
46	-0,02	-0,60	0,08	0,16	-0,53
47	-0,01	-0,61	0,06	0,17	-0,50
48	-0,03	-0,62	0,04	0,20	-0,50
49	-0,03	-0,62	0,05	0,13	-0,50
50	-0,03	-0,63	0,08	0,16	-0,53
51	-0,04	-0,63	0,06	0,15	-0,55

Tab. 10 c.d.

LP	σ_{θ}	σ_{α}	σ_{ψ} ster. ASEA	σ_{ν}	σ_t
52	- 0,02	- 0,62	0,07	0,16	-0,54
53	- 0,03	- 0,63	0,07	0,20	-0,55
54	- 0,03	- 0,63	0,06	0,20	-0,53
55	- 0,03	- 0,63	0,05	0,22	-0,53
56	- 0,03	- 0,64	0,07	0,18	-0,52
57	- 0,02	- 0,63	0,06	0,20	-0,53
58	- 0,03	- 0,64	0,08	0,21	-0,53
59	- 0,03	- 0,65	0,07	0,20	-0,54
60	- 0,02	- 0,64	0,09	0,20	-0,55
61	- 0,03	- 0,64	0,07	0,20	-0,53
62	- 0,03	- 0,65	0,06	0,21	-0,53
63	- 0,03	- 0,65	0,08	0,21	-0,52
64	- 0,02	- 0,65	0,06	0,18	-0,50
65	- 0,02	- 0,65	0,05	0,19	-0,49
66	- 0,02	- 0,65	0,06	0,19	-0,47
67	- 0,04	- 0,65	0,05	0,18	-0,48
68	- 0,03	- 0,65	0,06	0,18	-0,47
69	- 0,02	- 0,64	0,06	0,20	-0,47
70	- 0,04	- 0,64	0,05	0,18	-0,47
71	- 0,04	- 0,65	0,06	0,21	-0,48
72	- 0,04	- 0,65	0,06	0,20	-0,50
73	- 0,01	- 0,65	0,06	0,21	-0,49
74	- 0,03	- 0,64	0,05	0,20	-0,52
75	- 0,03	- 0,65	0,04	0,22	-0,52
76	- 0,03	- 0,65	0,05	0,22	-0,53
77	- 0,04	- 0,66	0,07	0,24	-0,54

Tab. 10 c.d.

Lp	oš θ	oš α	oš φ sterovník ASET	oš ν	oš t
78	-0,03	-0,65	0,06	0,24	-0,52
79	-0,04	-0,66	0,04	0,21	-0,53
80	-0,02	-0,65	0,05	0,20	-0,53
81	-0,02	-0,66	0,06	0,20	-0,52
82	-0,02	-0,66	0,09	0,20	-0,45
83	-0,03	-0,66	0,04	0,19	-0,45
84	-0,01	-0,67	0,05	0,16	-0,46
85	-0,02	-0,67	0,05	0,16	-0,46
86	-0,01	-0,67	0,05	0,15	-0,45
87	-0,01	-0,67	0,05	0,16	-0,46
88	-0,02	-0,68	0,07	0,20	-0,45
89	-0,02	-0,67	0,05	0,16	-0,45
90	-0,01	-0,67	0,05	0,16	-0,47
91	-0,03	-0,66	0,04	0,15	-0,46
92	-0,02	-0,67	0,06	0,16	-0,48
93	-0,03	-0,68	0,05	0,15	-0,46
94	-0,01	-0,67	0,07	0,16	-0,46
95	-0,02	-0,67	0,06	0,18	-0,46
96	-0,02	-0,67	0,05	0,17	-0,48
97	-0,03	-0,67	0,06	0,18	-0,48
98	-0,02	-0,68	0,05	0,20	-0,48
99	-0,03	-0,67	0,04	0,16	-0,48
100	-0,01	-0,67	0,07	0,16	-0,48
101	+0,01	-0,68	0,06	0,21	-0,48
102	-0,02	-0,68	0,04	0,17	-0,46
103	+0,01	-0,68	0,04	0,17	-0,46

Tab. 10. c.d.

Lp	oš θ	oš α	oš φ stavun. ASEA	oš ν	oš t
104	-0,01	-0,68	0,05	0,16	-0,46
105	0,00	-0,68	0,04	0,21	-0,47
106	-0,01	-0,68	0,04	0,17	-0,48
107	+0,02	-0,69	0,07	0,17	-0,49
108	0,00	-0,69	0,06	0,15	-0,48
109	+0,01	-0,70	0,04	0,21	-0,46
110	-0,01	-0,70	0,04	0,17	-0,47
111	-0,01	-0,69	0,03	0,19	-0,47
112	+0,01	-0,69	0,04	0,14	-0,48
113	-0,01	-0,69	0,04	0,22	-0,48
114	-0,01	-0,69	0,04	0,19	-0,48
115	-0,01	-0,69	0,07	0,15	-0,48
116	+0,01	-0,69	0,06	0,16	-0,48
117	-0,01	-0,70	0,06	0,22	-0,48
118	-0,01	-0,70	0,04	0,22	-0,49
119	0,00	-0,70	0,03	0,21	-0,48
120	-0,01	-0,70	0,04	0,17	-0,48

Bmiary sztywności osi $\varphi +$

Tab. 11

Robot IRb-6 silnik kwajowy sterownik ASEH.

L.p	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B _{śr.}	B _{śr.}
	Nm	mm	rd. $\cdot 10^{-3}$	mm	rd. $\cdot 10^{-3}$	mm	rd. $\cdot 10^{-3}$	mm	rd. $\cdot 10^{-3}$
1	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0
2	11,80	0,40	0,52	0,50	0,67	0,50	0,67	0,47	0,62
3	59,00	2,34	3,09	2,35	3,11	2,45	3,25	2,38	3,15
4	118,00	4,41	5,84	4,42	5,86	4,45	5,89	4,43	5,87
5	59,00	2,35	3,11	2,40	3,18	2,35	3,11	2,37	3,13
6	11,80	0,67	0,89	0,62	0,82	0,63	0,83	0,64	0,85
7	0	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01

Pomiary sztywności osi L^+

Tabl. 12

Robot IRb-6 silnik i sterownik krajowy (zmodyfikowany)

L.p.	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B _{śr}	B _{śr}
	Nm	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	9,80	0,11	0,16	0,11	0,16	0,10	0,15	0,11	0,16
3	51,00	0,67	1,00	0,68	1,00	0,69	1,03	0,68	1,01
4	98,00	1,21	1,80	1,20	1,79	1,19	1,78	1,20	1,79
5	51,00	0,75	1,12	0,75	1,12	0,75	1,12	0,75	1,18
6	9,80	0,14	0,20	0,14	0,20	0,13	0,19	0,14	0,21
7	0	0	0	0,02	0,03	0	0	0,01	0,01

Pomiary sztywności osi Q^+

Tabl. 13

Robot IRb-6 silnik i sterownik krajowy (zmodyfikowany)

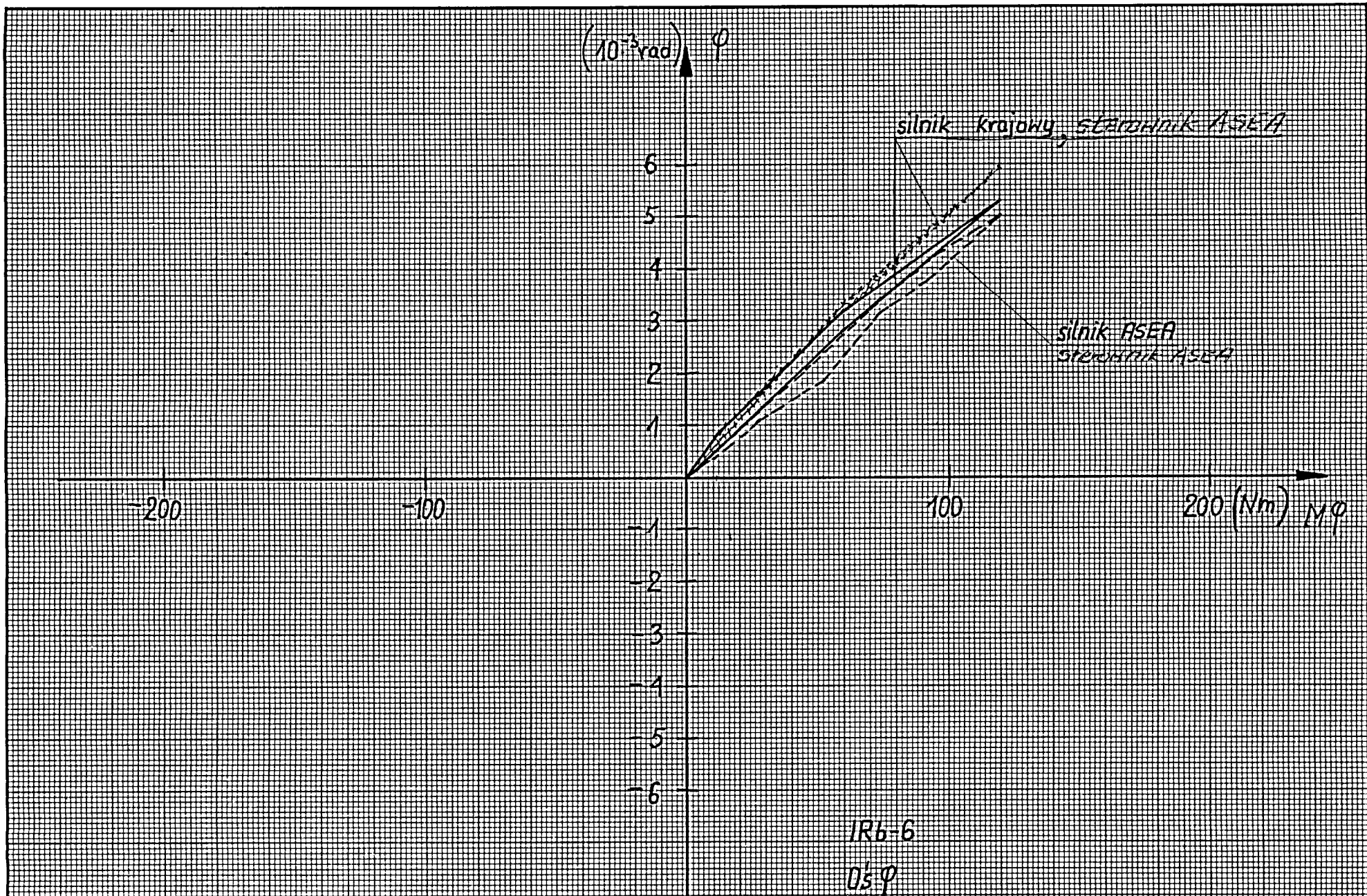
L.p.	M	B ₁	B ₂	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B _{śr}	B _{śr}
	Nm	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³	mm	rd·10 ⁻³
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	11,00	0,12	0,26	0,13	0,20	0,14	0,30	0,13	0,20
3	55,00	0,71	1,54	0,70	1,52	0,70	1,52	0,70	1,52
4	110,00	1,34	2,97	1,32	2,87	1,32	2,87	1,34	2,90
5	55,00	0,85	1,85	0,81	1,76	0,82	1,79	0,82	1,79
6	11,00	0,30	0,65	0,26	0,57	0,25	0,54	0,27	0,59
7	0	0,05	0,10	0	0	0	0	0,02	0,04

Pomiary sztywności osi $\pm 0^\circ$ - Tabl. 14
 Silnik i sterownik kwajowy robot IRb-6 (ster. zmodyfikowany)

L.p	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B _{śr}	B _{śr}
	Nm	mm	rd. · 10 ⁻³	mm	rd. · 10 ⁻³	mm	rd. · 10 ⁻³	mm	rd. · 10 ⁻³
1	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3,00	1,08	3,79	0,90	3,16	1,02	3,57	1,00	3,50
3	15,00	6,00	21,05	5,73	20,11	6,01	21,08	5,91	20,73
4	29,50	10,28	36,07	10,33	36,25	10,53	36,95	10,38	36,42
5	15,00	6,22	21,82	6,22	21,82	6,16	21,61	6,20	21,75
6	3,00	0,62	2,18	0,74	2,60	0,58	2,03	0,65	2,28
7	0	-0,20	0,70	-0,20	0,70	-0,20	0,70	-0,20	-0,70

Pomiary sztywności osi V pół I. Tabl. 15
 Silnik i sterownik kwajowy robot IRb-6 (ster. zmodyfikowany)

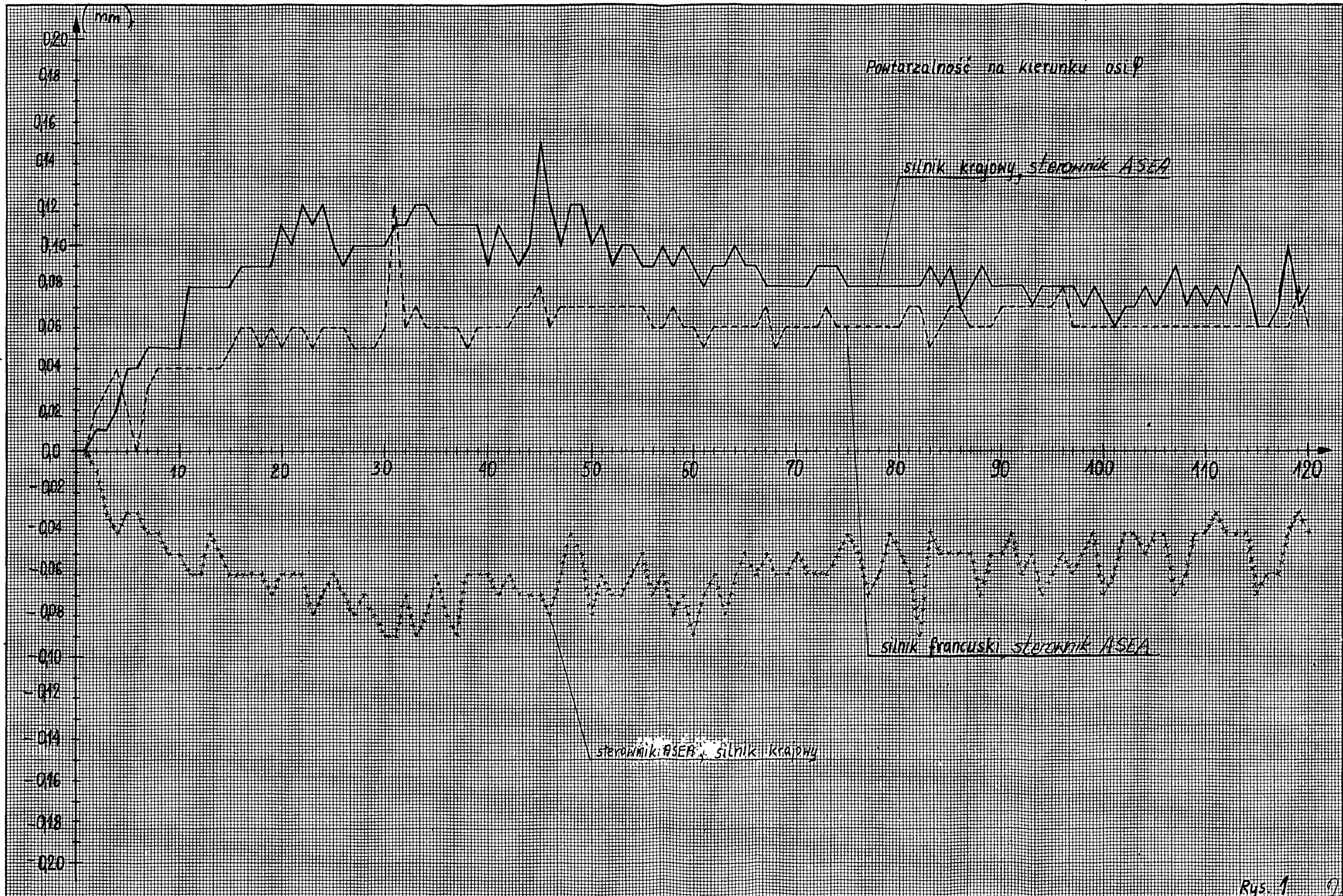
L.p	M	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃	B ₃	B _{śr}	B _{śr}
	Nm	mm	rd. · 10 ⁻³	mm	rd. · 10 ⁻³	mm	rd. · 10 ⁻³	mm	rd. · 10 ⁻³
1	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2,00	0,12	2,40	0,16	3,20	0,18	3,60	0,15	3,00
3	10,00	0,99	19,80	0,90	18,00	1,24	24,80	1,04	20,80
4	20,00	2,04	40,80	2,00	40,00	1,96	39,20	2,00	40,00
5	10,00	1,45	29,00	1,35	27,00	1,37	27,40	1,39	27,80
6	2,00	0,50	10,00	0,37	7,40	0,40	8,00	0,42	8,40
7		0,12	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,80

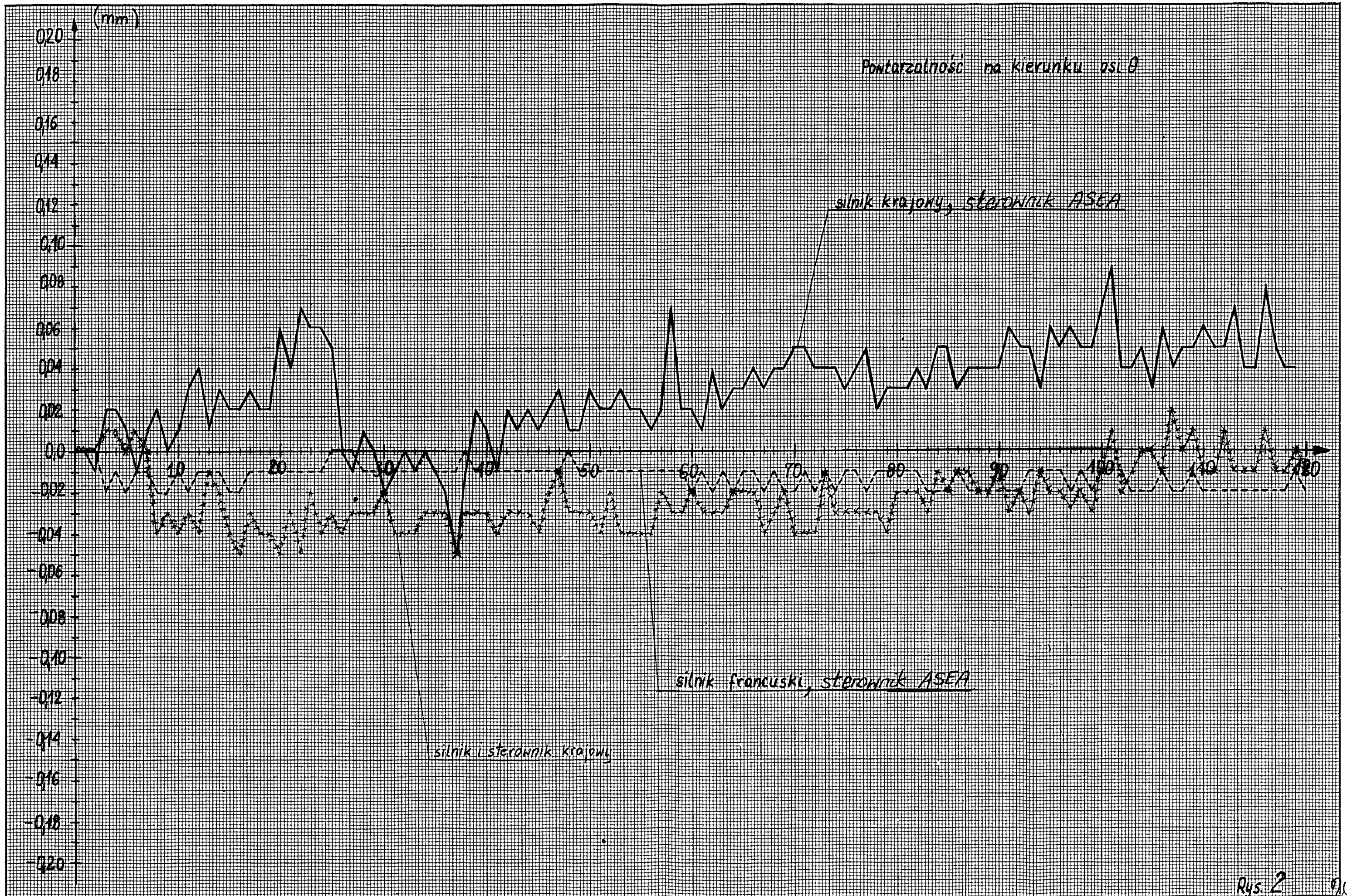


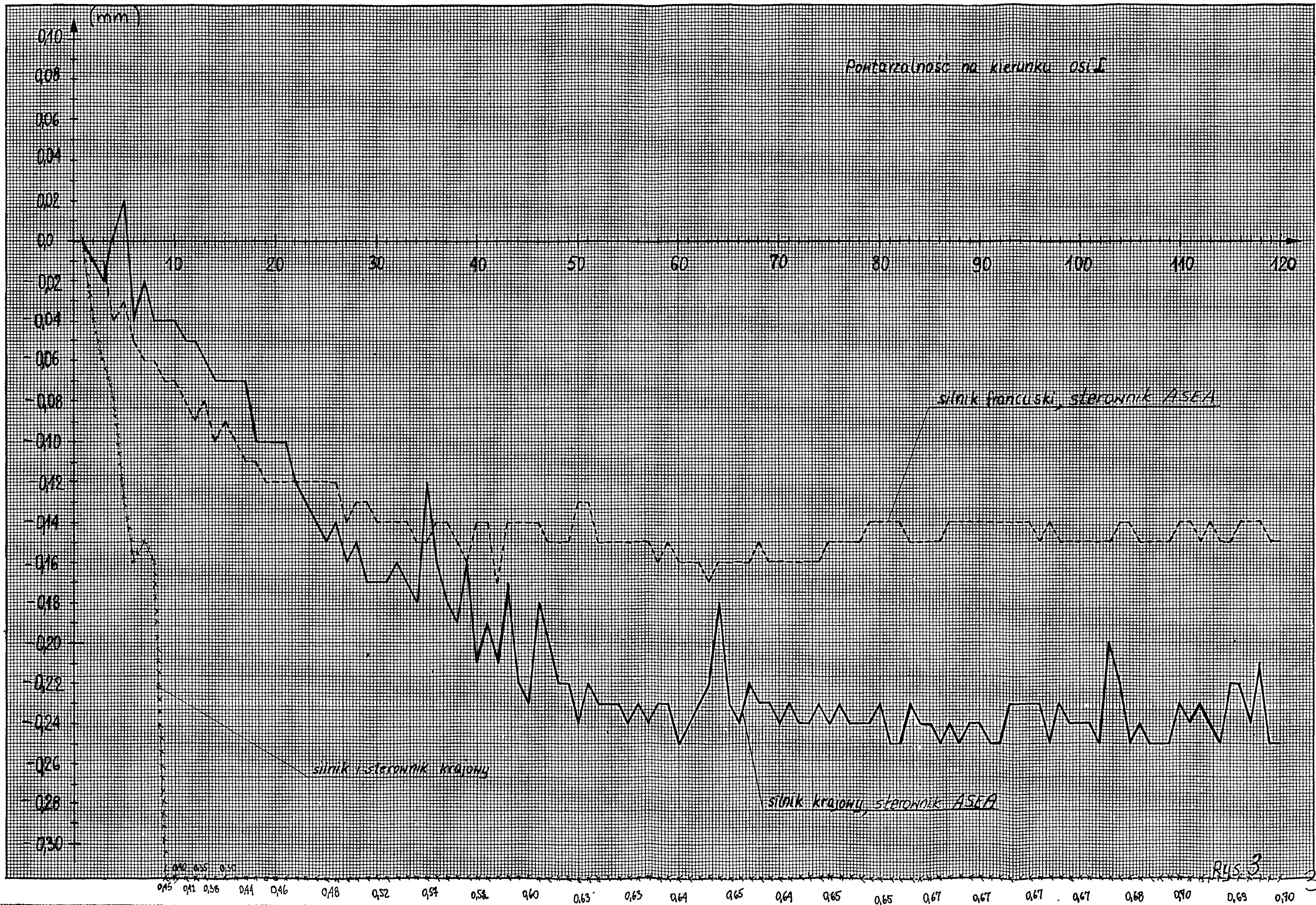
IR6-6
03φ

Rys. 6

28







0,34 (mm)

0,32

0,30

0,28

0,26

0,24

0,22

0,20

0,18

0,16

0,14

0,12

0,10

0,08

0,06

0,04

0,02

0,00

-0,02

-0,04

-0,06

-0,08

-0,10

-0,12

Powtarzalność na kierunku OSI V

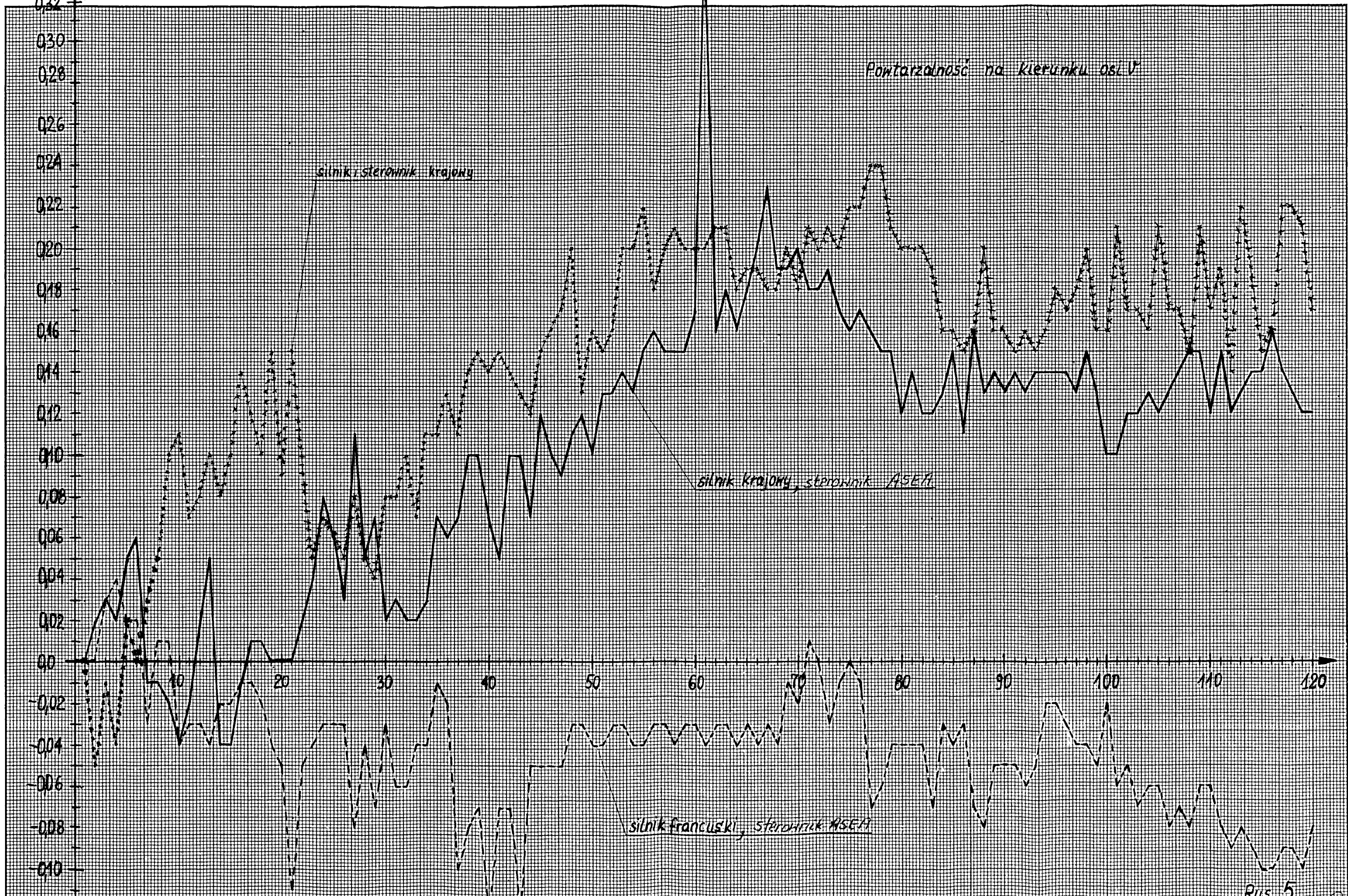
silnik sterownik krajowy

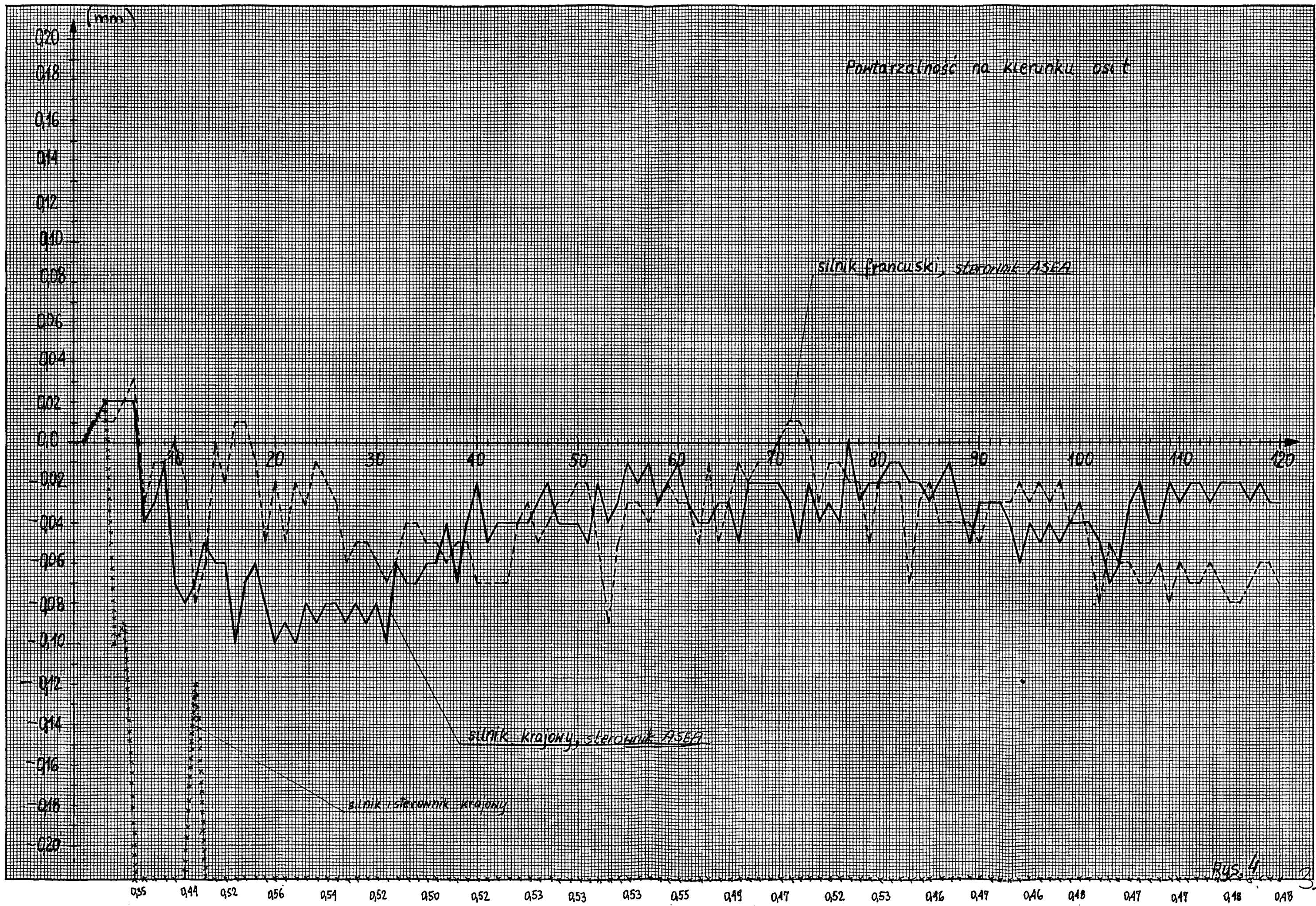
silnik krajowy, sterownik ASEA

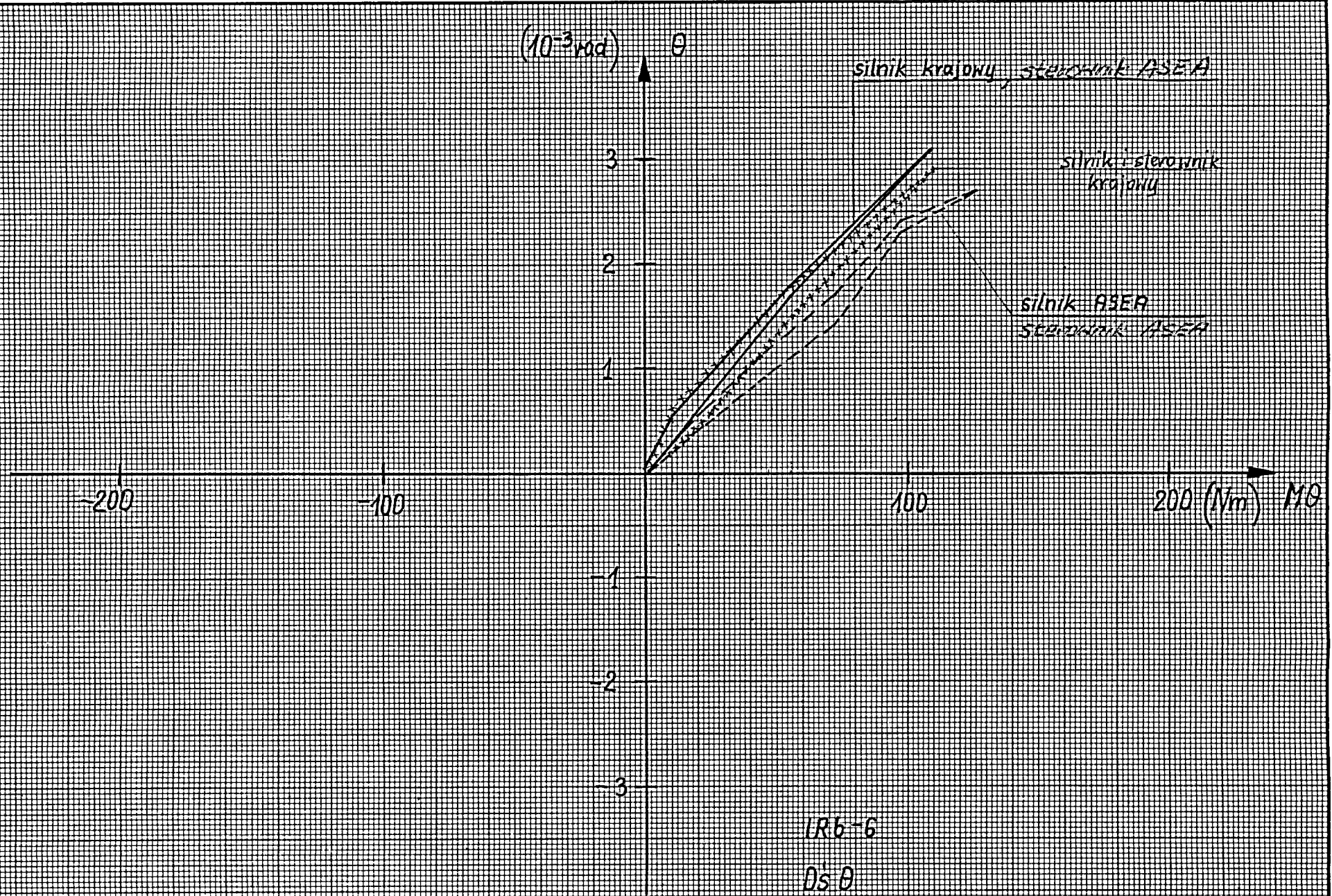
silnik francuski, sterownik ASEA

Rys. 5

21







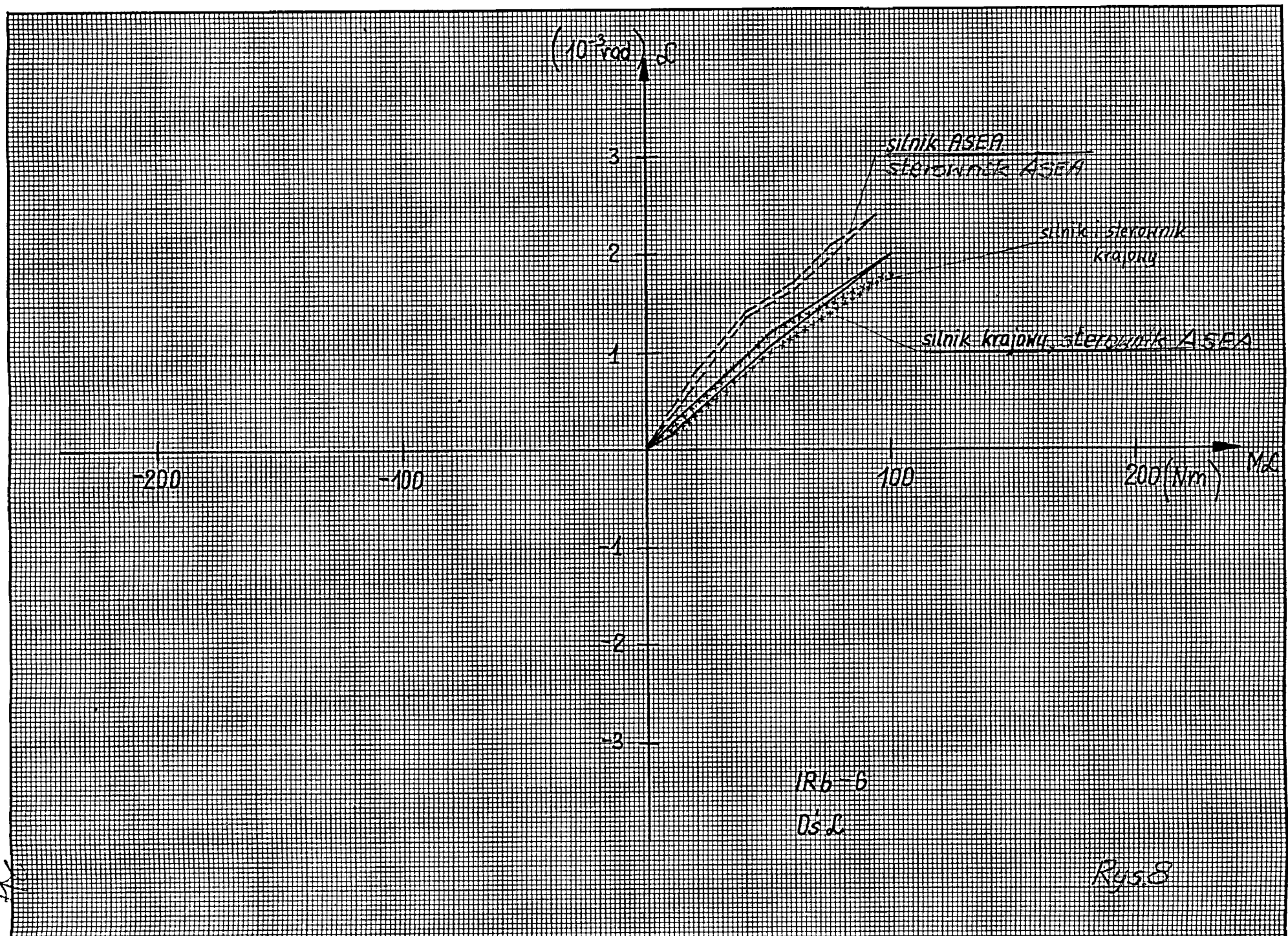
IR6-6

050

Rys. 7

CC

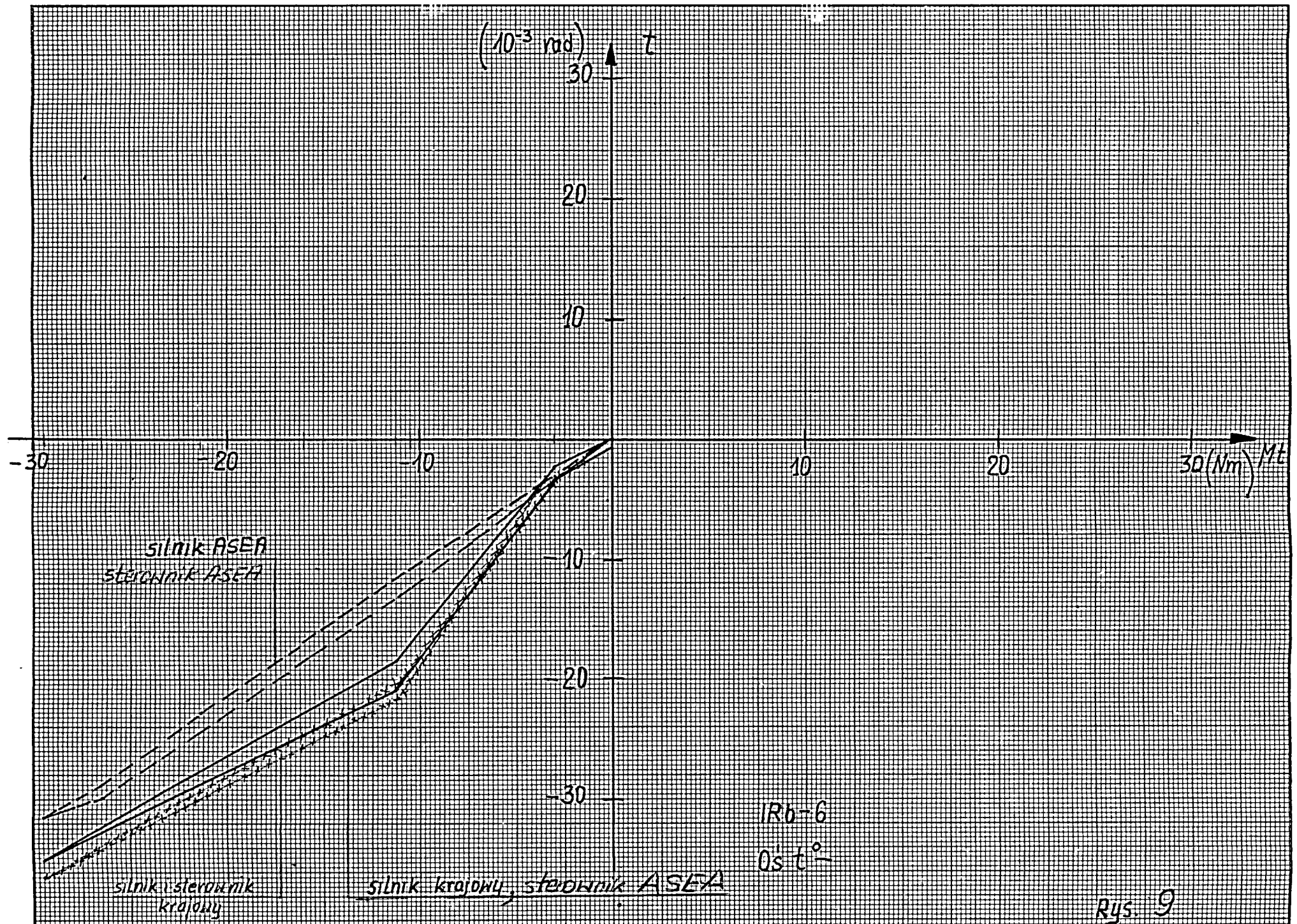
LC



IRb-6

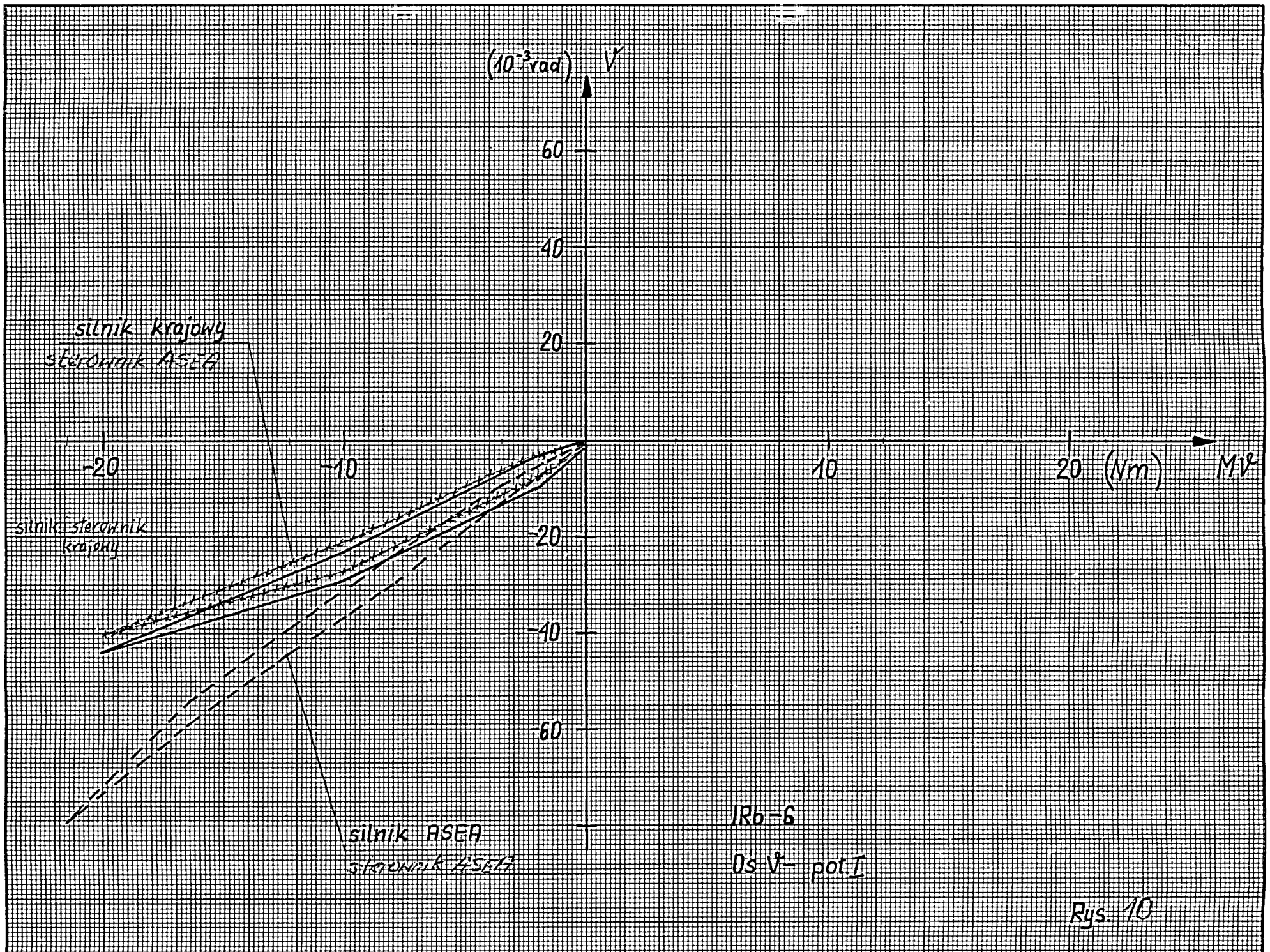
D.S.L.

Rys. 8



35

Rys. 9



22

Rys. 10