

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

440
Główny wykonawca

Wykonawcy inż. J. Derendowski, mgr inż. E. Trępczyński,
tech.tech. H. Michniewicz, Wł. Szymański.

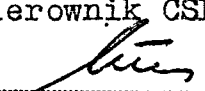
Konsultant

Nr zlecenia
9430

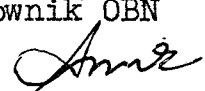
Wykonanie przekładni falowych do robo-
ta IRb-60 o przełożeniu 1:200 i do ro-
bota IRb-6 o przełożeniu 1:128 i 1:158.
etap 5e
Badania przekładni o przełożeniu 1:158
i 1:128 w robocie IRb-6 - próby 5000 h
pracy.

Zleceniodawca praca własna

Pracę rozpoczęto dnia 15.05.87
Kierownik CSP


mgr inż. E. Trępczyński

zakończono dnia 30.06.88
Kierownik OBN


dr inż. St. Budzyński

Praca zawiera:

stron 5

rysunków

fotografii

tabel 29

tablic

załączników

Rozdzielnik - ilość egz:

Egz. 1 BOINTE

Egz. 2 DW

Egz. 3 OBN

Egz. 4 OAR

Egz. 5 DW

Egz. 6

Nr rejestr. 6085

Nie udostępniać - udostępnienie wymaga zgody zlecającego.

Analiza deskryptorowa

ROBOTY PRZEMYSŁOWE IRb, PRZEKŁADNIA FALOWE w BADANIACH W ROBOCIE IRb.

PRZEKŁADNIA FALOWA, BADANIA, ROBOT PRZEMYSŁOWY IRb

Analiza dokumentacyjna

Praca zawiera opis i wyniki badań przekładni falowych o przełożeniu 1:128 i 1:158 w robocie IRb-6.

Tytuły poprzednich sprawozdań

Opracowanie projektu normy zakładowej dla przekładni falowej.
- nr rej. 5372

Wykonanie pomiarów geometrycznych i zdjęcie charakterystyk.
- nr rej. 5278

Opracowanie programu prób i badań przekładni falowych.
- nr rej. 5380

Badanie przekładni falowej o przełożeniu 1:128 - nr rej. 5751

Badanie przekładni falowej o przełożeniu 1:158 - nr rej. 5842

Badanie przekładni o przełożeniu 1:128 w robocie IRb
- nr rej. 5850

Badanie przekładni 1:200 w robocie IRb-60 - nr rej. 6018.

338,45: 62/69].002.1/2.001.5 Roboty przemysłowe
- badania

UKD

PIAP-252/62-6000

1. Przedmiot i zakres badań

Przedmiotem badań były prototypy przekładni falowych produkcji DW PIAP o przełożeniu 1:128 - 2 szt. (nr 006 i 005) i o przełożeniu 1:158 - 1 szt. (nr 008).

Celem badań było sprawdzenie jakości przekładni w przeładowanej próbie trwałości do 5000 h pracy, zamontowanych do robota IRb-6. (nr fabr. 5/79):

- przekładnie 1:128 zamontowano w osi "V" i "t"
- przekładnię 1:158 zamontowano w osi "ψ"

Badania były kontynuacją badań prowadzonych w ramach etapu 5c zgodnie z wnioskiem komisji odbioru pracy i decyzją DN.

Oceną jakości przekładni były n/w parametry uzyskiwane przez robota w oparciu o ZN-88/MERA-018/255:

- parametry ruchu
- powtarzalność pozycjonowania
- sztywność

Sprawdzenia wykonano:

- przed rozpoczęciem próby 5000 h (spr.wstępne)
- po 2500 h pracy przekładni
- po 5000 h pracy przekładni.

2. Wyniki badań

2.1. Sprawdzenia wstępne

2.1.1. Sprawdzenie parametrów ruchu

Sprawdzenie wykonano dla kompletnego robota określając dla osi ψ, t, i V maksymalne prędkości, przeregulowania prędkości oraz przyspieszenie (tp) i opóźnienie (th).

2.1.1.1. Sprawdzenie maksymalnej prędkości ruchu

Sprawdzenie wykonano zg. z p.4.2.10.1 ZN dla robota nieobciążonego w systemie pracy AUTO metodą bezpośrednią.

Uzyskano wyniki:

os ψ	- 89°/s	- wg ZN	95°/s
os V	- 109°/s		115°/s
	109°/s		115°/s

2.1.1.2. Sprawdzenie maksymalnego przeregulowania prędkości

Sprawdzenie wykonano zg. z p. 4.2.10.2 ZN rejestrując przebieg napięcia prądnicy tachometrycznej w warunkach jak w sprawdzeniu wg p. 2.1.1.1 n/sprawozdania.

Na podstawie uzyskanych wykresów nie stwierdzono przeregulowania prędkości.

2.1.1.3. Sprawdzenie przyspieszenia i opóźnienia ruchu

Sprawdzenie wykonano zg. z p. 4.2.10.3 ZN. Wyznaczając z wykresów przebiegu prądu prądnicy tachometrycznej czas t_p licząc od początku ruchu do uzyskania przez napęd 63 % wartości maksymalnej (ustalonej) oraz czas t_h liczony od początku hamowania do uzyskania przez napęd 37 % wartości prędkości maksymalnej.

Uzyskano wyniki:

os ψ - t_p (s)	+0,046	t_h	+0,112
	-0,045		-0,110

os V_t - t_p (s)	+0,081	t_h	+0,145
	-0,080		-0,143

Czasy są zgodne z wymaganiami ZN.

2.1.2. Sprawdzenie sztywności

Sprawdzenie wykonano zg. z p. 4.2.13 ZN obciążając poszczególne osie w kierunku ujemnym oraz dodatnim momentami 0; 10 %, 50 %, 100 % wartości maksymalnej. Do pomiaru zmiany położenia punktu pomiarowego poszczególnych osi użyto czujnik o działce elementarnej 0,01 mm. Wyniki pomiarów podano w tabeli 1-6.

Pomierzone wartości ~~podano w tabeli~~ sztywności są zgodne z wymaganiami ZN.

2.1.3. Sprawdzenie powtarzalności pozycjonowania

Sprawdzenie wykonano zg. z p. 4.2.12 ZN dla robota obciążonego ciężarem 6 kg w cyklu pracy AUTO zg. z programem podanym w ZN. Po 5-ciu godzinach kontynuowania programu przez robota dokonano pomiarów w 30 cyklach wartości odchyłek przy najazdach robota na czujniki pomiarowe. Wyniki pomiarów podano w tabeli 7.

(odchyłki rejestrowano od początku pracy robota). Powtarzalność pozycjonowania nie przekroczyła wartości dopuszczalnej 0,2 mm.

2.2. Próba trwałości (5000 h)

Próbie przeprowadzono przy obciążeniu robota IRb-6 ciężarem 6 kg przy ruchu ciągłym w reżimie pracy AUTO. Program pracy robota zapewniał:

- równoczesną pracę robota we wszystkich osiach
 - pracę robota w osiach ψ , V, t z prędkością maksymalną (100 %)
- Powyższe warunki tworzyły warunki maksymalnego obciążenia badanych przekładni.

2.2.1. Sprawdzenie po 2500 h pracy

Po 2500 h pracy robota zg. z programem sprawdzono:

- parametry ruchu
- powtarzalność pozycjonowania
- sztywność.

2.2.1.1. Sprawdzenie maksymalnej prędkości ruchu

Badanie wykonano jak w p. 2.1.1.1 n/sprawozdania. Uzyskano wyniki:

- | | | | |
|-------------|----------|-------|--------|
| - oś ψ | - 89°/s | wg ZN | 95°/s |
| - oś t | - 110°/s | | 115°/s |
| - oś V | - 191°/s | | 195°/s |

Uzyskane wyniki pomiarów są zgodne z wymaganiami ZN.

2.2.1.2. Sprawdzenie maksymalnego przeregulowania prędkości

Badania wykonano zg. z p. 2.1.1.2 n/sprawozdania. Na podstawie uzyskanych wykresów nie stwierdzono przeregulowania prędkości.

2.2.1.3. Sprawdzenie przyspieszenia (tp) i opóźnienia ruchu (th)

Badanie wykonano jak w p.2.1.1.3 n/sprawozdania. Uzyskano wyniki:

- | | | | | |
|-------------|--------|--------|----|--------|
| - oś ψ | tp (s) | +0,047 | th | +0,110 |
| | | -0,044 | | -0,110 |
| - oś t | tp (s) | +0,082 | th | +0,144 |
| | | -0,080 | | -0,142 |
| - oś V | tp (s) | +0,090 | th | +0,143 |
| | | -0,089 | | -0,142 |

Uzyskane wyniki mieszczą się w granicach czasów podanych w ZN.

2.2.1.4. Sprawdzenie sztywności

Badania wykonano jak w p. 2.1.2 n/sprawozdania. Wyniki podano w tabeli 8-17.

Sztywność robota mieści się w granicach określonych ZN.

2.2.1.5. Sprawdzenie powtarzalności pozycjonowania

Badania wykonano jak w p. 2.1.3 n/sprawozdania. Wyniki podano w tabeli 18.

Dokładność pozycjonowania mieści się w granicach określonych ZN.

2.2.2. Sprawdzenie po 5000 h pracy

Po 5000 h pracy robota zgodnie z programem sprawdzono:

- parametry ruchu
- powtarzalność pozycjonowania
- sztywność.

2.2.2.1. Sprawdzenie maksymalnej prędkości ruchu

Sprawdzenie wykonano jak w p. 2.1.1.1 n/sprawozdania. Uzyskano wyniki:

- oś ψ - $89^{\circ}/s$
- oś t - $110^{\circ}/s$
- oś v - $194^{\circ}/s$

Uzyskane wyniki pomiarów są zgodne z wymaganiami ZN.

2.2.2.2. Sprawdzenie maksymalnego przeregulowania prędkości

Badania wykonano jak w p. 2.1.1.2 n/sprawozdania. Na podstawie uzyskanych wykresów nie stwierdzono przeregulowania prędkości.

2.2.2.3. Sprawdzenie przyspieszenia (tp) i opóźnienia ruchu (th)

Uzyskano wyniki:

- oś ψ	tp (s)	+0,047	th (s)	+0,012
		-0,045		-0,010
- oś t		+0,082		+0,145
		-0,080		-0,144
- oś ν		+0,089		+0,144
		-0,088		-0,142

Uzyskane wyniki mieszczą się w granicach czasów określonych ZN.

2.2.2.4. Sprawdzenie sztywności

Badania wykonano jak w p. 2.1.2 n/sprawozdania. Wyniki podano w tabelach 19-28.

Sztywność robota mieści się w granicach określonych ZN.

2.2.2.5. Sprawdzenie powtarzalności pozycjonowania

Badania wykonano jak w p. 2.1.3 n/sprawozdania. Wyniki podano w tabeli 29.

Dokładność pozycjonowania mieści się w granicach określonych ZN.

3. Omówienie wyników badań

Z przeprowadzonych badań wynika, że:

- przekładnie 1:128 zamontowane w osiach V i t oraz przekładnia 1:158 zamontowana w osi ψ zapewniają zgodność parametrów robota z wymaganiami ZN w zakresie parametrów ruchu, sztywności oraz powtarzalności pozycjonowania;
- w trakcie próby 5000 h pracy przekładnie zapewniały bezawaryjną pracę części manipulacyjnej robota IRb-6.
Przekładnia o przełożeniu 1:128 (nr 005) przepracowała w robocie łącznie 6000 h, a uwzględniając próbę 3600 h pracy na stanowisku do badań trwałości uzyskała łączną trwałość 9600 h.
- przekładnia o przełożeniu 1:158 (nr 008) przepracowała w robocie 5000 h i stanowisku do badań trwałości 3600 h-łącznie 9600 h.

Tab. 1

Pomiar sztywności

stopień swobody - φ

kierunek działania momentu +

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	10	11.8	0.28	0.22	0.28	0.26	0.33
3	50	59.0	2.40	2.17	2.12	2.20	2.86
4	100	118	3.80	3.70	3.76	3.75	4.87
5	50	59.0	2.70	2.60	2.39	2.60	3.38
6	10	11.8	0.60	0.40	0.50	0.50	0.65
7	0	0.0	0.10	0.20	0.06	0.12	0.156

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 1$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
 $\Delta \varphi_{100\%} = 5$

Tab. 2

Pomiar sztywności

stopień swobody - φ

kierunek działania momentu -

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	10	11.8	0.40	0.33	0.29	0.34	0.44
3	50	59.0	2.07	2.16	2.06	2.10	2.73
4	100	118.0	3.70	3.65	3.60	3.65	4.75
5	50	59.0	2.16	2.30	2.20	2.26	2.93
6	10	11.8	0.70	0.47	0.50	0.56	0.72
7	0	0.0	0.11	0.07	-0.01	0.05	0.06

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 0.8$ [rad $\cdot 10^{-3}$] $\Delta \varphi_{100\%} = 5$

Tab. 3

Pomiar sztywności

stopień swobody - $\pm 0^\circ$

kierunek działania momentu " + "

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	10	3.0	0.82	0.82	0.82	0.82	2,87
3	50	15.0	4.92	4.90	4.91	4.91	17,18
4	100	29.5	8.56	8.54	8.56	8.56	29,9
5	50	15.0	5.41	5.41	5.41	5.41	48,93
6	10	3.0	0.86	0.88	0.84	0.86	3.04
7	0	0.0	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.07

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi = 4$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
10%

$$\Delta \varphi_{100\%} = 33$$

Tab. 4

Pomiar sztywności
 stopień swobody - t 0°
 kierunek działania momentu "-"

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta\varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	10	3.0	0.89	0.89	0.89	0.89	3,11
3	50	15.0	4.92	4.91	4.92	4.92	17,22
4	100	29.5	8,27	8,26	8,26	8,26	28,91
5	50	15.0	5,27	5,27	5,27	5,27	18,44
6	10	3.0	1,02	1,04	1,03	1,03	3,62
7	0	0.0	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,35

Wart. dop. odchylenia $\Delta\varphi_{10\%} = 4$ [rad $\cdot 10^{-3}$]

$\Delta\varphi_{100\%} = 32$

Tab. 5

Pomiar sztywności

stopień swobody - $\pm 45^\circ$

kierunek działania momentu " - "

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	3,0	0,92	0,96	0,94	0,94	3,29
3	50	15,0	4,72	4,76	4,74	4,74	16,58
4	100	29,5	8,48	8,46	8,47	8,48	29,68
5	50	15,0	5,76	5,72	5,74	5,74	20,09
6	10	3,0	1,06	1,05	1,04	1,05	3,68
7	0	0,0	-0,15	-0,15	-0,10	-0,10	-0,35

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 4$ [rad $\cdot 10^{-3}$] $\Delta \varphi_{100\%} = 30$

Tab. 6

Pomiar sztywności

stopień swobody - $t - 45^\circ$

kierunek działania momentu " + "

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	3,0	0,80	0,92	0,91	0,91	3,18
3	50	15,0	4,26	4,28	4,23	4,26	14,91
4	100	29,5	7,33	7,37	7,31	7,33	25,65
5	50	15,0	4,52	4,56	4,50	4,52	15,82
6	10	3,0	1,08	1,11	1,08	1,08	3,81
7	0	0,0	-0,12	-0,10	-0,15	-0,12	-0,42

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 4$ [rad $\cdot 10^{-3}$] $\Delta \varphi_{100\%} = 28$

Tab. 7

Sprawdzenie powtarzalności pozycjonowania

Lp.	φ	$\frac{O_s}{t}$	V	Lp.	φ	$\frac{O_s}{t}$	V	Lp.	φ	$\frac{O_s}{t}$	V
1	0.0	-0.01		41	-0.06	+0.07		81	-0.03	+0.10	
2	-0.02	0.0		42	-0.05	+0.07		82	-0.05	+0.12	
3	-0.05	0.0		43	-0.04	+0.08		83	-0.02	+0.13	
4	-0.06	0.0		44	-0.05	+0.08		84	-0.01	+0.12	
5	-0.07	+0.02		45	-0.05	+0.08		85	-0.02	+0.12	
6	-0.04	+0.02		46	-0.02	+0.08		86	-0.05	+0.10	
7	-0.05	+0.01		47	-0.02	+0.09		87	-0.06	+0.08	
8	-0.03	+0.02		48	-0.02	+0.11		88	0.00	+0.10	
9	-0.05	+0.02		49	-0.04	+0.09		89	-0.02	+0.12	
10	-0.07	+0.02		50	-0.05	+0.11		90	-0.04	+0.13	
11	-0.04	+0.03		51	-0.06	+0.10		91	-0.04	+0.14	
12	-0.03	+0.03		52	-0.02	+0.09		92	-0.06	+0.14	
13	-0.02	+0.03		53	-0.02	+0.12		93	-0.04	+0.12	
14	-0.04	+0.03		54	-0.04	+0.10		94	-0.02	+0.11	
15	-0.01	+0.04		55	-0.04	+0.11		95	-0.04	+0.10	
16	+0.01	+0.04		56	-0.02	+0.10		96	-0.05	+0.12	
17	+0.01	+0.03		57	-0.03	+0.12		97	-0.02	+0.11	
18	-0.03	+0.03		58	-0.05	+0.11		98	-0.06	+0.11	
19	-0.05	+0.04		59	-0.06	+0.10		99	+0.01	+0.12	
20	-0.04	+0.04		60	-0.07	+0.13		100	-0.05	+0.11	
21	-0.06	+0.04		61	-0.05	+0.11		101	-0.06	+0.10	
22	-0.07	+0.02		62	-0.02	+0.10		102	-0.01	+0.11	
23	-0.06	+0.05		63	-0.01	+0.11		103	-0.07	+0.12	
24	-0.06	+0.04		64	-0.04	+0.06		104	-0.02	+0.13	
25	-0.04	+0.04		65	-0.04	+0.11		105	-0.07	+0.14	
26	-0.04	+0.04		66	-0.06	+0.05		106	-0.01	+0.15	
27	-0.01	+0.04		67	-0.02	+0.07		107	-0.02	+0.11	
28	-0.02	+0.05		68	-0.03	+0.04		108	-0.02	+0.11	
29	-0.02	+0.06		69	-0.02	+0.08		109	-0.03	+0.11	
30	-0.04	+0.03		70	+0.01	+0.07		110	-0.04	+0.12	
31	-0.03	+0.02		71	-0.03	+0.09		111	-0.02	+0.11	
32	-0.01	+0.02		72	-0.05	+0.10		112	-0.05	+0.10	
33	-0.02	+0.05		73	-0.01	+0.11		113	-0.03	+0.10	
34	-0.01	+0.06		74	-0.04	+0.11		114	-0.04	+0.10	
35	-0.04	+0.05		75	-0.06	+0.10		115	-0.05	+0.11	
36	-0.03	+0.08		76	-0.03	+0.11		116	-0.03	+0.11	
37	-0.02	+0.05		77	-0.04	+0.11		117	-0.07	+0.11	
38	-0.02	+0.06		78	-0.06	+0.11		118	-0.04	+0.11	
39	-0.06	+0.07		79	-0.05	+0.11		119	-0.02	+0.12	
40	-0.07	+0.06		80	-0.02	+0.11		120	-0.07	+0.11	

14

Tab. 8

Pomiar sztywności

stopień swobody - φ

kierunek działania momentu +

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta\varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	11,8	0,26	0,26	0,26	0,26	0,33
3	50	59,0	2,26	2,26	2,26	2,26	2,93
4	100	118	3,64	3,65	3,63	3,64	4,74
5	50	59,0	2,65	2,63	2,67	2,65	3,44
6	10	11,8	0,58	0,54	0,56	0,56	0,72
7	0	0,0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10

Wart. dop. odchylenia $\Delta\varphi = 1$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
10%

$$\Delta\varphi_{100\%} = 5$$

Tab. 9

Pomiar sztywności

stopień swobody - φ

kierunek działania momentu " - "

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta\varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	11,8	0,37	0,42	0,40	0,40	0,52
3	50	59,0	2,12	2,12	2,11	2,12	2,75
4	100	118	3,75	3,76	3,74	3,75	4,87
5	50	59,0	2,12	2,10	2,08	2,10	2,73
6	10	11,8	0,58	0,56	0,60	0,58	0,75
7	0	0,0	0,07	0,07	0,08	0,07	0,09

Wart. dop. odchylenia $\Delta\varphi = 0,8$ [rad $\cdot 10^{-3}$]

$$\Delta\varphi_{100\%} = 5$$

Pomiar sztywności
 stopień swobody - $t \ 0^\circ$
 kierunek działania momentu "+"

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	3,0	0,88	0,90	0,89	0,89	3,11
3	50	15,0	4,90	4,92	4,94	4,92	17,22
4	100	29,5	8,56	8,60	8,52	8,56	29,86
5	50	15,0	5,44	5,40	5,42	5,42	18,97
6	10	3,0	0,87	0,89	0,88	0,88	3,46
7	0	0,0	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,07

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 4$ [rad $\cdot 10^{-3}$]

$\Delta \varphi_{100\%} = 33$

Pomiar sztywności
 stopień swobody - $t \circ$
 kierunek działania momentu " - "

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	10	3.0	0.88	0.88	0.90	0.88	3,11
3	50	15.0	4,90	4,90	4,90	4,90	17,15
4	100	29.5	8,27	8,27	8,27	8,27	28,94
5	50	15.0	5,31	5,27	5,25	5,27	18,44
6	10	3.0	1,02	1,02	1,02	1,02	3,58
7	0	0.0	-0,10	-0,08	-0,12	-0,10	-0,35

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 4$ [rad $\cdot 10^{-3}$]

$$\Delta \varphi_{100\%} = 32$$

Pomiar sztywności
 stopień swobody - $\perp 45^\circ$
 kierunek działania momentu " - "

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta\varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	3,0	0,96	0,95	0,97	0,96	3,36
3	50	15,0	4,72	4,74	4,70	4,72	16,52
4	100	29,5	8,48	8,51	8,47	8,48	29,71
5	50	15,0	5,78	5,74	5,76	5,76	20,16
6	10	3,0	1,04	1,07	1,01	1,04	3,66
7	0	0,0	-0,05	-0,15	-0,10	-0,10	-0,35

Wart. dop. odchylenia $\Delta\varphi = 4$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
_{10%}

$$\Delta\varphi_{100\%} = 30$$

Pomiar sztywności

stopień swobody - $t - 45^\circ$

kierunek działania momentu +

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	3,0	0,91	0,91	0,91	0,91	3,18
3	50	15,0	4,26	4,28	4,24	4,26	14,91
4	100	29,5	7,35	7,31	7,33	7,33	25,65
5	50	15,0	4,52	4,54	4,50	4,52	15,82
6	10	3,0	1,09	1,08	1,09	1,09	3,81
7	0	0,0	-0,10	-0,14	-0,12	-0,12	-0,42

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 4$ [rad $\cdot 10^{-3}$]

$$\Delta \varphi_{100\%} = 28$$

Pomiar sztywności
 stopień swobody - $V-I$ położ.
 kierunek działania momentu +

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	10	2.0	0.56	0.58	0.54	0.56	11,2
3	50	10.0	2.65	2.67	2.63	2.65	53
4	100	20.0	3.36	3.37	3.36	3.36	67,2
5	50	10.0	2.72	2.74	2.70	2.72	54,4
6	10	2.0	0.70	0.75	0.73	0.73	14.6
7	0	0.0	0.10	0.12	0.11	0.11	2,2

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 15$ [rad $\cdot 10^{-3}$]

$$\Delta \varphi_{100\%} = 70$$

Pomiar sztywności

stopień swobody - \sqrt{I} poziom

kierunek działania momentu " - "

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	10	2.0	0.42	0.42	0.41	0.42	8.9
3	50	10.0	1.96	1.98	1.95	1.96	39.2
4	100	20.0	3.40	3.35	3.45	3.40	68
5	50	10.0	2.17	2.12	2.15	2.15	43
6	10	2.0	0.45	0.52	0.58	0.48	9.12
7	0	0.0	0.06	0.07	0.06	0.06	1.2

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 10$ [rad $\cdot 10^{-3}$] $\Delta \varphi_{100\%} = 70$

Pomiar sztywności

stopień swobody - V - II położ.

kierunek działania momentu +

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	10	1.4	0.24	0.22	0.25	0.24	4.8
3	50	7.0	1.46	1.45	1.42	1.44	28.8
4	100	14.0	3.00	2.98	2.99	2.99	59.8
5	50	7.0	1.72	1.70	1.74	1.72	34.4
6	10	1.4	0.21	0.20	2.22	0.21	4.2
7	0	0.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.2

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 15$ [rad $\cdot 10^{-3}$]

$\Delta \varphi_{100\%} = 60$

Pomiar sztywności
 stopień swobody - V II położ.
 kierunek działania momentu -

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad · 10 ⁻³]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	1,4	0,20	0,20	0,20	0,20	4
3	50	7,0	1,17	1,19	1,20	1,19	23,8
4	100	14,0	2,51	2,49	2,47	2,49	49,8
5	50	7,0	1,43	1,45	1,40	1,43	28,6
6	10	1,4	0,40	0,42	0,41	0,41	8,2
7	0	0,0	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,4

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{15\%} = 15$ [rad · 10⁻³]

$\Delta \varphi_{100\%} = 60$

Sprawdzenie powtarzalności pozycjonowania
po 2500 h

Lp.	φ	Oś t	V	Lp.	φ	Oś t	V	Lp.	φ	Oś t	V
1	0,00	-0,01	0,00	41	-0,07	0,08	0,03	81	-0,04	0,11	0,05
2	-0,01	0,00	0,00	42	-0,07	0,05	0,02	82	-0,02	0,12	0,05
3	-0,06	0,00	0,00	43	-0,08	0,05	0,03	83	0,01	0,12	0,05
4	-0,07	0,00	0,00	44	-0,06	0,07	0,02	84	-0,02	0,12	0,05
5	-0,08	0,02	0,00	45	-0,01	0,06	0,03	85	-0,02	0,12	0,05
6	-0,07	0,02	0,01	46	-0,06	0,07	0,03	86	-0,05	0,12	0,06
7	-0,06	0,01	-0,01	47	-0,03	0,07	0,02	87	-0,03	0,12	0,05
8	-0,06	0,02	0,00	48	+0,01	0,07	0,03	88	-0,04	0,12	0,05
9	-0,07	0,02	0,00	49	-0,02	0,06	0,04	89	-0,05	0,11	0,05
10	-0,06	0,02	0,00	50	-0,04	0,07	0,03	90	-0,05	0,12	0,05
11	-0,03	0,02	0,00	51	-0,05	0,07	0,03	91	-0,04	0,12	0,06
12	-0,02	0,03	0,00	52	-0,06	0,07	0,04	92	-0,01	0,12	0,05
13	-0,03	0,03	0,00	53	-0,02	0,08	0,03	93	-0,04	0,12	0,05
14	-0,06	0,03	0,02	54	-0,05	0,08	0,04	94	-0,03	0,11	0,05
15	-0,07	0,03	0,01	55	-0,01	0,08	0,03	95	0,00	0,12	0,05
16	-0,07	0,04	0,02	56	-0,01	0,09	0,04	96	-0,01	0,10	0,05
17	-0,07	0,03	0,02	57	-0,05	0,11	0,05	97	-0,01	0,11	0,05
18	-0,07	0,03	0,02	58	-0,06	0,09	0,05	98	-0,05	0,12	0,04
19	-0,05	0,04	0,01	59	0,00	0,11	0,05	99	-0,04	0,12	0,05
20	-0,07	0,04	0,01	60	-0,06	0,10	0,04	100	-0,07	0,13	0,04
21	-0,07	0,04	0,02	61	-0,04	0,09	0,05	101	-0,04	0,11	0,05
22	-0,03	0,03	0,02	62	-0,04	0,12	0,05	102	-0,04	0,12	0,05
23	-0,05	0,05	0,03	63	-0,06	0,10	0,05	103	-0,03	0,11	0,04
24	-0,05	0,04	0,03	64	-0,06	0,11	0,05	104	-0,04	0,12	0,03
25	-0,07	0,05	0,02	65	-0,04	0,10	0,05	105	-0,04	0,12	0,03
26	-0,06	0,04	0,01	66	-0,02	0,12	0,05	106	-0,05	0,11	0,05
27	-0,05	0,04	0,01	67	-0,05	0,11	0,05	107	-0,05	0,13	0,06
28	-0,08	0,04	0,02	68	-0,06	0,10	0,04	108	-0,04	0,11	0,06
29	-0,08	0,05	0,03	69	+0,01	0,13	0,04	109	-0,03	0,12	0,06
30	0,00	0,04	0,01	70	-0,06	0,11	0,04	110	-0,03	0,11	0,05
31	-0,04	0,05	0,01	71	-0,05	0,10	0,05	111	-0,03	0,12	0,05
32	-0,04	0,06	0,03	72	-0,01	0,11	0,05	112	-0,05	0,11	0,04
33	+0,01	0,03	0,03	73	-0,07	0,12	0,03	113	-0,06	0,12	0,03
34	-0,07	0,05	0,03	74	-0,02	0,11	0,04	114	-0,06	0,12	0,03
35	-0,07	0,05	0,03	75	-0,07	0,12	0,05	115	-0,05	0,10	0,05
36	-0,04	0,05	0,02	76	-0,01	0,12	0,05	116	-0,05	0,11	0,05
37	-0,02	0,06	0,02	77	-0,07	0,12	0,05	117	-0,05	0,12	0,05
38	-0,01	0,05	0,03	78	-0,02	0,13	0,05	118	-0,04	0,11	0,05
39	-0,03	0,06	0,03	79	-0,02	0,12	0,05	119	-0,04	0,11	0,05
40	-0,07	0,05	0,02	80	-0,04	0,12	0,05	120	-0,04	0,11	0,05

Pomiar sztywności

stopień swobody - φ

kierunek działania momentu +

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad · 10 ⁻³]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	11,8	0,28	0,28	0,28	0,28	0,36
3	50	59	2,35	2,36	2,36	2,36	3,06
4	100	118	3,65	3,67	3,63	3,65	4,74
5	50	59	2,72	2,70	2,73	2,72	3,53
6	10	11,8	0,67	0,60	0,59	0,60	0,78
7	0	0	0,11	0,10	0,10	0,10	0,13

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 1$ [rad · 10⁻³]

$$\Delta \varphi_{100\%} = 5$$

Pomiar sztywności

stopień swobody - φ

kierunek działania momentu -

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	11,8	0,32	0,34	0,32	0,32	0,41
3	50	59,0	2,13	2,15	2,14	2,14	2,78
4	100	118	3,65	3,66	3,64	3,65	4,75
5	50	59	2,32	2,31	2,31	2,31	3,00
6	10	11,8	0,58	0,60	0,62	0,60	0,78
7	0	0,0	0,06	0,02	0,04	0,04	0,05

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 0,8$ [rad $\cdot 10^{-3}$] $\Delta \varphi_{100\%} = 5$

Tab. 21

Pomiar sztywności
 stopień swobody - t °
 kierunek działania momentu +

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad · 10 ⁻³]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	10	3.0	0,97	0,92	0,80	0,93	3,25
3	50	15.0	4,92	4,94	4,93	4,93	17,25
4	100	29.5	8,56	8,60	8,70	8,59	30,06
5	50	15.0	5,62	5,40	5,42	5,48	19,18
6	10	3.0	0,80	0,80	0,90	0,80	3,15
7	0	0.0	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,07

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 4$ [rad · 10⁻³]

$$\Delta \varphi_{100\%} = 33$$

Pomiar sztywności
 stopień swobody - $t \text{ } ^\circ$
 kierunek działania momentu -

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	3,0	0,88	0,82	0,86	0,85	2,97
3	50	15,0	4,79	4,82	4,80	4,81	16,83
4	100	29,5	8,09	8,08	8,10	8,09	28,31
5	50	15,0	5,20	5,20	5,21	5,20	18,2
6	10	3,0	0,97	0,96	0,97	0,97	3,41
7	0	0,0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,07

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi = 4$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
 10%

$$\Delta \varphi_{100\%} = 32$$

Pomiar sztywności

stopień swobody - $\pm 45^\circ$

kierunek działania momentu -

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	3,0	0,94	0,95	0,95	0,95	3,32
3	50	15,0	4,84	4,88	4,86	4,86	17,01
4	100	29,5	8,01	8,02	8,02	8,02	28,07
5	50	15,0	5,72	5,78	5,77	5,76	20,16
6	10	3,0	1,04	1,04	1,05	1,04	3,64
7	0	0,0	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,09

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 4$ [rad $\cdot 10^{-3}$] $\Delta \varphi_{100\%} = 30$

Pomiar sztywności

stopień swobody - $\pm 45^\circ$

kierunek działania momentu +

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	3,0	0,85	0,82	0,87	0,85	2,97
3	50	15,0	4,20	4,12	4,16	4,16	14,56
4	100	29,5	7,22	7,24	7,27	7,24	25,34
5	50	15,0	4,59	4,60	4,59	4,59	16,06
6	10	3,0	1,00	1,00	1,00	1,00	3,5
7	0	0,0	-0,10	-0,02	-0,06	-0,06	-0,21

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi = 4$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
10%

$$\Delta \varphi_{100\%} = 28$$

Pomiar sztywności

stopień swobody - ∇ \downarrow położ.

kierunek działania momentu +

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta\varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	10	2,0	0,50	0,52	0,53	0,52	10,4
3	50	10,0	2,60	2,63	2,55	2,59	51,8
4	100	20,0	3,37	3,39	3,35	3,37	67,4
5	50	10,0	2,70	2,72	2,74	2,72	54,4
6	10	2,0	0,70	0,67	0,67	0,68	13,6
7	0	0,0	+0,09	+0,10	+0,08	+0,09	1,8

Wart. dop. odchylenia $\Delta\varphi = 15$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
10%

$$\Delta\varphi_{100\%} = 70$$

Pomiar sztywności

stopień swobody - $V \perp$ położ.

kierunek działania momentu " - "

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	10	2.0	0.44	0.42	0.46	0.44	8.8
3	50	10.0	1.99	1.97	1.95	1.97	39.4
4	100	20.0	3.08	3.09	3.07	3.08	61.6
5	50	10.0	2.20	2.20	2.20	2.20	44
6	10	2.0	0.46	0.44	0.47	0.46	9.16
7	0	0.0	0.09	0.09	0.08	0.09	1.8

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi = 10$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
10%

$$\Delta \varphi_{100\%} = 70$$

Tab. 27

Pomiar sztywności
 stopień swobody - V II położ.
 kierunek działania momentu +

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta\varphi$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0,0
2	10	1.4	0.21	0.20	0.21	0.21	4,2
3	50	7.0	1.42	1.42	1.41	1.42	28,4
4	100	14.0	2.96	2.94	2.94	2.95	59,0
5	50	7.0	1.60	1.60	1.60	1.60	32,0
6	10	1.4	0.25	0.24	0.24	0.24	-4,8
7	0	0.0	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0,2

Wart. dop. odchylenia $\Delta\varphi = 15$ [rad $\cdot 10^{-3}$]
 10%

$$\Delta\varphi_{100\%} = 60$$

Pomiar sztywności
 stopień swobody - V II położ.
 kierunek działania momentu -

Lp	Moment obciążający		B [mm]			Bsr [mm]	$\Delta \varphi$ [rad · 10 ⁻³]
	%	Nm	1	2	3		
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	10	1.4	0.21	0.21	0.21	0.21	4,2
3	50	7.0	1.20	1.24	1.22	1.22	24,4
4	100	14.0	2.44	2.45	2.45	2.45	49.0
5	50	7.0	1.44	1.44	1.44	1.44	28.8
6	10	1.4	0.42	0.42	0.43	0.42	8,4
7	0	0.0	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0,2

Wart. dop. odchylenia $\Delta \varphi_{10\%} = 15$ [rad · 10⁻³]

$\Delta \varphi_{10\%} = 60$

Sprawdzenie powtarzalności pozycjonowania

Lp.	Os			Lp.	Os			Lp.	Os		
	φ	t	V		φ	t	V		φ	t	V
1	0,00	0,00	0,00	41	0,03	0,02	0,02	81	0,01	0,01	0,01
2	0,01	0,01	0,00	42	0,04	0,01	0,01	82	0,02	0,01	0,01
3	0,01	0,00	0,01	43	0,05	0,01	0,01	83	0,04	0,02	0,02
4	0,00	0,00	0,01	44	0,04	0,02	0,01	84	0,06	0,02	0,02
5	0,00	0,00	0,00	45	0,01	0,01	0,01	85	0,02	0,01	0,02
6	0,02	0,00	0,00	46	0,01	0,02	0,01	86	0,04	0,01	0,02
7	0,01	0,00	0,00	47	0,02	0,01	0,01	87	0,03	0,01	0,02
8	0,00	0,01	0,00	48	0,02	0,02	0,01	88	0,02	0,01	0,02
9	0,00	0,01	0,02	49	0,03	0,02	0,01	89	0,04	0,01	0,02
10	0,00	0,00	0,03	50	0,01	0,02	0,01	90	0,02	0,02	0,02
11	0,01	0,00	0,02	51	0,04	0,01	0,01	91	0,02	0,01	0,02
12	0,01	0,00	0,02	52	0,04	0,01	0,02	92	0,02	0,02	0,02
13	0,02	0,01	0,00	53	0,03	0,01	0,03	93	0,06	0,01	0,02
14	0,02	0,01	0,01	54	0,03	0,02	0,03	94	0,04	0,01	0,02
15	0,02	0,00	0,01	55	0,02	0,01	0,05	95	0,02	0,01	0,01
16	0,03	0,00	0,01	56	0,03	0,01	0,05	96	0,04	0,01	0,01
17	0,02	0,00	0,01	57	0,06	0,01	0,02	97	0,03	0,01	0,01
18	0,02	0,01	0,01	58	0,03	0,01	0,03	98	0,02	0,01	0,02
19	0,01	0,01	0,01	59	0,02	0,02	0,03	99	0,06	0,01	0,02
20	0,02	0,01	0,01	60	0,02	-0,01	0,03	100	0,02	0,02	0,02
21	0,02	0,00	0,01	61	0,04	-0,02	0,02	101	0,03	0,02	0,02
22	0,02	0,00	0,01	62	0,03	0,01	0,02	102	0,03	0,02	0,01
23	0,03	0,01	0,01	63	0,06	0,01	0,02	103	0,04	0,01	0,01
24	0,03	0,01	0,01	64	0,07	0,01	0,02	104	0,04	0,02	0,01
25	0,03	0,01	0,01	65	0,02	0,01	0,03	105	0,04	0,01	0,01
26	0,03	0,00	0,01	66	0,05	0,02	0,03	106	0,05	0,01	0,02
27	0,03	0,00	0,01	67	0,08	0,02	0,04	107	0,05	0,01	0,02
28	0,03	0,01	0,03	68	0,04	0,02	0,02	108	0,05	0,01	0,02
29	0,03	0,01	0,02	69	0,05	0,01	0,02	109	0,06	0,02	0,01
30	0,03	0,00	0,02	70	0,06	0,01	0,04	110	0,04	0,02	0,01
31	0,03	0,00	0,01	71	0,04	0,01	0,04	111	0,04	0,02	0,01
32	0,03	0,00	0,01	72	0,05	0,01	0,04	112	0,03	0,03	0,01
33	0,03	0,01	0,01	73	0,04	0,02	0,04	113	0,03	0,02	0,01
34	0,04	0,01	0,01	74	0,06	0,01	0,04	114	0,05	0,01	0,01
35	0,06	0,01	0,00	75	0,00	0,01	0,04	115	0,05	0,00	0,02
36	0,04	0,00	0,01	76	0,06	0,02	0,02	116	0,06	0,00	0,02
37	0,03	0,00	0,03	77	0,00	0,01	0,02	117	0,06	0,01	0,01
38	0,03	0,00	0,02	78	0,03	0,01	0,01	118	0,05	0,01	0,01
39	0,03	0,02	0,02	79	0,03	0,01	0,02	119	0,04	0,02	0,01
40	0,03	0,01	0,02	80	0,06	0,01	0,01	120	0,04	0,02	0,02