

Andrzej BUCHACZ, Jerzy ŚWIDER, Józef WOJNAROWSKI

BADANIE DRGAJĄCYCH UKŁADÓW DYNAMICZNYCH METODĄ GRAFÓW HYBRYDOWYCH

Część II. Obliczenia numeryczne

Streszczenie. W pierwszej części pracy [1] utworzono i zalgorytmizowano wielowariantowy model dynamiczny przesiewacza węgla. Utworzone macierze opisujące graf hybrydowy układu stanowiły - w zależności od wariantowych parametrów modelu - zbiory danych cyfrowych do programu wyznaczającego przemieszczenia wybranych punktów rzeszota przesiewacza. Otrzymane wyniki obliczeń numerycznych stanowiły zbiór danych cyfrowych do wyznaczenia graficznej postaci trajektorii ruchu tych punktów.

Posługując się następnie elektroniczną maszyną analogową MA-4B, wygenerowano i zarejestrowano trajektorie ruchu rozważanych punktów układu w płaszczyznach XZ oraz YZ.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, jak dana forma niesymetrii układu wpływa na zniekształcenie zakładanej, teoretycznej trajektorii punktów rzeszota.

Przedstawiona metoda umożliwi symulowanie ruchu przesiewacza na etapie jego projektowania, teoretyczne badanie istniejących układów przesiewaczy, a otrzymane wyniki wskazują, jak eliminować odchylenia niesymetrii trajektorii punktów rzeszot przesiewaczy podczas ich eksploatacji.

Słowa kluczowe: dane cyfrowe, obliczenia numeryczne, symulacja analogowa, niesymetria modelu, niesymetrie trajektorii.

1. Obliczenia numeryczne trajektorii ruchu wybranych punktów modelu przesiewacza WK2

Trajektorie ruchu punktów \otimes 1, \otimes 2, \otimes 3 i \otimes 4 (por. rys. 1 w [1]) przesiewacza WK2 wyznaczono przy uwzględnieniu opisanych w p. 2 [1] czterech wariantów jego modelu. Dane dotyczące parametrów inercyjnych i sprężystych odpowiedniego wariantu modelu przesiewacza w tabelicy 1, natomiast wartości odpowiednich wymiarów, zgodnie z rys. 1 [1] - w tabelicy 2. Modele przyjętego w poszczególnych wariantach wzbudzenia dynamicznego zestawiono w tabelicy 3.

Dla pierwszego wariantu modelu przesiewacza WK2 wyznaczono charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowo-fazowe, przedstawiające przemieszcze-

Tablica 1

PARAMETR	Wariant 1 ÷ 10	W a r i a n t			
		11	12	13	14
m [kg]	11217,6	11217,6	11217,6	11217,6	11217,6
J_x [kgm ²]	15674,2	15674,2	15674,2	15674,2	15674,2
J_y [kgm ²]	40660,7	40660,7	40660,7	40660,7	40660,7
J_z [kgm ²]	49738,8	49738,8	49738,8	49738,8	49738,8
c_{1x} [N/m]	126247,0	164121,0	164121,0	164121,0	164121,0
c_{1y} [N/m]	126247,0	164121,0	164121,0	164121,0	164121,0
c_{1z} [N/m]	420825,0	547072,0	547072,0	547072,0	547072,0
c_{2x} [N/m]	126247,0	126247,0	164121,0	126247,0	126247,0
c_{2y} [N/m]	126247,0	126247,0	164121,0	126247,0	126247,0
c_{2z} [N/m]	420825,0	420825,0	547072,0	420825,0	420825,0
c_{3x} [N/m]	126247,0	126247,0	126247,0	164121,0	126247,0
c_{3y} [N/m]	126247,0	126247,0	126247,0	164121,0	126247,0
c_{3z} [N/m]	420825,0	420825,0	420825,0	547072,0	420825,0
c_{4x} [N/m]	126247,0	126247,0	126247,0	126247,0	164121,0
c_{4y} [N/m]	126247,0	126247,0	126247,0	126247,0	164121,0
c_{4z} [N/m]	420825,0	420825,0	420825,0	420825,0	547072,0

Tablica 2

№ wariantu	Wymiar	x_3 [m]	y_1 [m]	y_2 [m]	y_3 [m]	y_4 [m]	y_5 [m]	l_{11}^1 [m]	l_{11}^2 [m]	l_{12} [m]
1		0,055	1,45	0,335	0,007	1,322	1,284	2,030	1,920	0,178
2		0,0	1,45	0,335	0,0	1,306	1,306	1,975	1,975	0,178
3		0,0	1,45	0,335	0,0	1,306	1,306	1,975	1,975	0,178
4		0,0	1,45	0,335	0,0	1,306	1,306	1,975	1,975	0,178
5		0,0	1,45	0,335	0,0	1,306	1,306	1,975	1,975	0,178
6		0,0	1,45	0,335	0,0	1,306	1,306	1,975	1,975	0,178
7		0,1932	1,45	0,335	0,0518	1,306	1,306	2,175	1,775	0,178
8		-0,1932	1,45	0,335	-0,0518	1,306	1,306	1,775	2,175	0,178
9		0,0	1,45	0,335	0,0	1,506	1,106	1,975	1,975	0,178
10		0,0	1,45	0,335	0,0	1,106	1,506	1,975	1,975	0,178
11		0,0	1,45	0,335	0,0	1,306	1,306	1,975	1,975	0,178
12		0,0	1,45	0,335	0,0	1,306	1,306	1,975	1,975	0,178
13		0,0	1,45	0,335	0,0	1,306	1,306	1,975	1,975	0,178
14		0,0	1,45	0,335	0,0	1,306	1,306	1,975	1,975	0,178

Tablica 3

Nr wariantu	FUNKCJA WZBUDZENIA DYNAMICZNEGO			
	$F_{1x} = f_1(t)$	$F_{1z} = f_2(t)$	$F_{2x} = f_3(t)$	$F_{2z} = f_4(t)$
1 oraz 7-94	$m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + \frac{\pi}{2})$	$m \omega_r^2 z_F \sin \omega_r t$	$m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + \frac{\pi}{2})$	$m \omega_r^2 z_F \sin \omega_r t$
2	$m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + \frac{\pi}{2})$	$m \omega_r^2 z_F \sin \omega_r t$	$m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + \frac{\pi}{2})$	$m \omega_r^2 z_F \sin \omega_r t$
3	$m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + 1,75)$	$m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + 0,17)$	$m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + \frac{\pi}{2})$	$m \omega_r^2 z_F \sin \omega_r t$
4	$1,1 m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + \frac{\pi}{2})$	$1,1 m \omega_r^2 z_F \sin \omega_r t$	$m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + \frac{\pi}{2})$	$m \omega_r^2 z_F \sin \omega_r t$
5	$1,1 m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + 1,75)$	$1,1 m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + 1,75)$	$m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + \frac{\pi}{2})$	$m \omega_r^2 z_F \sin \omega_r t$
7	$1,1 m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + \frac{\pi}{2})$	$1,1 m \omega_r^2 z_F \sin \omega_r t$	$m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + 1,75)$	$m \omega_r^2 z_F \sin(\omega_r t + 0,17)$

Tablica 4

NR WA- RIAN- TU	PARAMETR	x_1 [mm]	φ_{x_1} [°]	y_1 [mm]	φ_{y_1} [°]	z_1 [mm]	φ_{z_1} [°]	x_2 [mm]	φ_{x_2} [°]	y_2 [mm]	φ_{y_2} [°]	z_2 [mm]	φ_{z_2} [°]
1		4,49	88,7	0,1	21,3	4,36	0,0	4,49	89,7	0,04	-60,9	4,63	-0,2
2		4,52	90,0	0,0	0,0	4,58	0,2	4,52	90,0	0,0	0,0	4,58	0,0
3		4,51	93,1	0,59	117,1	4,59	-1,2	4,51	93,1	0,25	34,5	4,59	-1,2
4		4,66	90,0	0,28	26,8	4,53	0,0	4,66	90,0	0,14	-65,6	4,53	0,0
5		4,65	93,3	0,70	88,5	4,53	-1,3	4,65	93,3	0,30	5,9	4,53	-1,3
6		4,65	96,7	0,65	-37,4	4,54	11,2	4,65	96,7	0,31	-119,2	4,54	11,2
7		4,44	85,4	0,0	0	4,15	1,6	4,50	88,9	0,0	0	5,10	-1,6
8		4,63	94,5	0,0	0	5,10	-1,6	4,55	91,0	0,0	0	4,15	1,6
9		4,30	90,0	1,5	22,0	3,84	0	4,30	90,0	0,45	0,3	3,84	0
10		4,83	90,0	1,05	-158,0	5,58	0	4,83	90,0	0,45	119,6	5,59	0
11		4,53	90,1	9 μm	-172,9	4,6	0	4,53	90,0	3,2 μm	151,6	4,58	0
12		4,53	90,0	0,02	-173,0	4,61	0	4,53	90,0	4,7 μm	152,0	4,61	0
13		4,53	90,0	0,3 μm	0	4,59	0	4,53	90,0	0	0	4,59	0
14		4,53	90,1	4,3 μm	0	4,60	0	4,53	90,0	0	0	4,58	0

cd. tablicy 4

PARAMETR NR WA- RIAN- TU	x_3 [mm]	φ_{x3} [°]	y_3 [mm]	φ_{y3} [°]	z_3 [mm]	φ_{z3} [°]	x_4 [mm]	φ_{x4} [°]	y_4 [mm]	φ_{y4} [°]	z_4 [mm]	φ_{z4} [°]
1												
2	4,52	90,0	0,0	0	4,58	0	4,52	90,0	0,0	0	4,58	0
3	4,51	96,9	0,25	34,5	4,59	11,1	4,51	96,9	0,59	117,1	4,59	11,1
4	4,84	90,0	0,14	-65,6	4,99	0	4,84	90,0	0,28	26,8	4,99	0
5	4,82	97,1	0,30	5,9	5,10	11,0	4,82	97,1	0,70	88,5	5,10	11,0
6	4,82	92,9	0,31	-11,2	4,00	-1,1	4,82	92,9	0,49	17,2	5,00	0
7	4,50	88,9	0,0	0	5,10	-1,6	4,44	85,4	0,0	0	4,15	1,6
8	4,55	91,0	0,0	0	4,15	1,6	4,63	84,5	0,0	0	5,10	-1,6
9	4,83	90,0	0,45	-60,3	5,59	0	4,83	90,0	1,05	22,0	5,59	0
10	4,30	90,0	0,45	119,6	3,84	0	4,30	90,0	1,05	-158,0	3,84	0
11	4,52	90,0	2,32 μm	151,6	4,57	0	4,52	90,1	9 μm	-172,0	4,58	0
12	4,53	90,0	4,7 μm	152,0	4,57	0	4,52	90,0	0,02	-173,0	4,57	0
13	4,53	90,0	0	0	4,59	0	4,53	90,0	3 μm	0	4,59	0
14	4,53	90,0	0	0	4,58	0	4,53	90,1	0,4 μm	0	4,60	0

nia punktów $\otimes 1 \div \otimes 4$ w kierunkach trzech osi układu oxyz w funkcji częstotliwości ω wirowania wału niewyrównoważonego¹⁾.

Natomiast dla wariantów $2 \div 14$ wyznaczono amplitudy i kąt przesunięcia fazowego poszukiwanego przemieszczenia w punkcie pracy przesiewacza - to znaczy przy częstotliwości równej częstotliwości roboczej $\omega = \omega_r = 92,4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

Ponadto moduły amplitud przemieszczeń wybranych "punktów pomiarowych" oraz odpowiadające tym przemieszczeniom kąty przesunięcia fazowego zestawiono w tablicy 4.

2. Analogowe wyznaczanie trajektorii ruchu punktów przesiewacza WK2

Kreślenie rzutów trajektorii wybranych punktów przesiewacza odpowiednio w płaszczyznach XZ oraz YZ (por. rys. 1 w [1]) sprowadza się do kreślenia krzywych płaskich w układzie $\xi \eta$ o następujących równaniach parametrycznych:

$$\begin{aligned}\xi(t) &= \xi_0 \sin(\omega t + \varphi_1), \\ \eta(t) &= \eta_0 \sin(\omega t + \varphi_2),\end{aligned}\tag{1}$$

gdzie:

- ξ_0 lub η_0 jest wyznaczoną amplitudą²⁾ odpowiedniego przemieszczenia punktu przesiewacza,
 φ_1 lub φ_2 - wyznaczonym kątem przesunięcia fazowego²⁾ odpowiedniego przemieszczenia punktu przesiewacza.

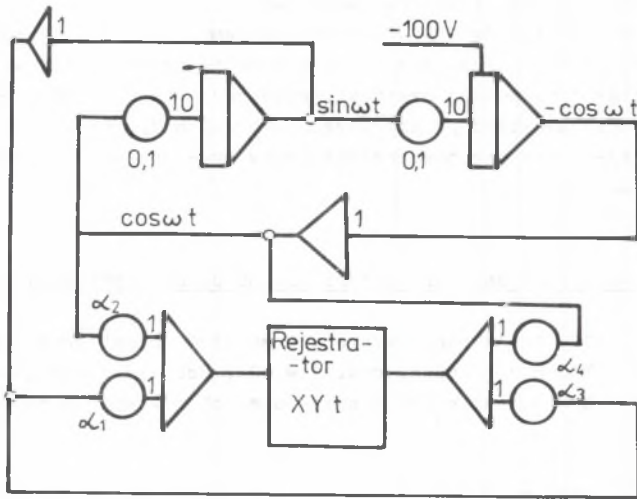
Przekształcając zależności (1) można zapisać:

$$\begin{aligned}\xi(t) &= \xi_0 \cos \varphi_1 [\sin \omega t] + \xi_0 \sin \varphi_1 [\cos \omega t], \\ \eta(t) &= \eta_0 \cos \varphi_2 [\sin \omega t] + \eta_0 \sin \varphi_2 [\cos \omega t].\end{aligned}\tag{2}$$

Układ analogowy umożliwiający symulację oraz kreślenie poszukiwanej trajektorii $\eta = f(\xi)$ ma postać jak na rys. 1.

¹⁾ Wydruki wyników obliczeń numerycznych znajdują się w Instytucie Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

²⁾ Na podstawie obliczeń numerycznych za pomocą programów (GRAV) i (RYSY). Wyniki tych obliczeń znajdują się w Instytucie Mechaniki i PKM Politechniki Śląskiej w Gliwicach.



Rys. 1

Na rys. 1 oznaczono przez:

$$\alpha_1 = \int_0^{\xi} \cos \varphi_1, \quad \alpha_2 = \int_0^{\xi} \sin \varphi_1, \quad (3)$$

$$\alpha_3 = \int_0^{\xi} \cos \varphi_2, \quad \alpha_4 = \int_0^{\xi} \sin \varphi_2.$$

Obecnie w przypadku wariantów 2÷14 wyznaczmy parametryczne równania trajektorii ruchu punktów $\otimes 1 - \otimes 4$ przesiewacza WK-2 w płaszczyznach XZ oraz YZ.

Wariant 2

$$x_1(t) = x_2(t) = x_3(t) = x_4(t) = 4,52 \cos \omega t,$$

$$z_1(t) = z_2(t) = z_3(t) = z_4(t) = 4,58 \sin \omega t, \quad (4)$$

$$y_1(t) = y_2(t) = y_3(t) = y_4(t) = 0.$$

Wariant 3

$$x_1(t) = x_2(t) = -0,2439 \sin \omega t + 4,5043 \cos \omega t,$$

$$x_3(t) = x_4(t) = -0,5418 \sin \omega t + 4,4773 \cos \omega t,$$

$$z_1(t) = z_2(t) = 4,5890 \sin \omega t - 0,0961 \cos \omega t,$$

$$z_3(t) = z_4(t) = 4,5041 \sin \omega t + 0,8837 \cos \omega t,$$

$$y_1(t) = y_4(t) = -0,2688 \sin \omega t + 0,5252 \cos \omega t,$$

$$y_2(t) = y_3(t) = 0,2060 \sin \omega t + 0,1416 \cos \omega t.$$

(5)

Wariant 4

$$x_1(t) = x_2(t) = 4,660 \cos \omega t,$$

$$x_3(t) = x_4(t) = 4,840 \cos \omega t,$$

$$z_1(t) = z_2(t) = 4,530 \sin \omega t,$$

$$z_3(t) = z_4(t) = 4,990 \sin \omega t,$$

$$y_1(t) = y_4(t) = 0,2499 \sin \omega t + 0,1262 \cos \omega t,$$

$$y_2(t) = y_3(t) = 0,0578 \sin \omega t - 0,1275 \omega t.$$

(6)

Wariant 5

$$x_1(t) = x_2(t) = -0,2676 \sin \omega t + 4,6422 \cos \omega t,$$

$$x_3(t) = x_4(t) = -0,5957 \sin \omega t + 4,7830 \cos \omega t,$$

$$z_1(t) = z_2(t) = 4,5288 \sin \omega t - 0,1028 \cos \omega t,$$

$$z_3(t) = z_4(t) = 5,0060 \sin \omega t + 0,9731 \cos \omega t,$$

$$y_1(t) = y_4(t) = 0,0183 \sin \omega t + 0,6998 \cos \omega t,$$

$$y_2(t) = y_3(t) = 0,2984 \sin \omega t + 0,0310 \cos \omega t.$$

(7)

Wariant 6

$$\left\{ \begin{array}{l}
 x_1(t) = x_2(t) = -0,5425 \sin \omega t + 4,6182 \cos \omega t, \\
 x_3(t) = x_4(t) = -0,2438 \sin \omega t + 4,8138 \cos \omega t, \\
 z_1(t) = z_2(t) = 4,4535 \sin \omega t + 0,8818 \cos \omega t, \\
 z_3(t) = z_4(t) = 5,0 \sin \omega t. \\
 y_1(t) = 0,5164 \sin \omega t + 0,3948 \cos \omega t, \\
 y_2(t) = y_3(t) = -0,1512 \sin \omega t - 0,2706 \cos \omega t, \\
 y_4(t) = 0,4681 \sin \omega t + 0,1449 \cos \omega t.
 \end{array} \right. \quad (8)$$

Wariant 7

$$\left\{ \begin{array}{l}
 x_1(t) = x_4(t) = 0,3561 \sin \omega t + 4,4257 \cos \omega t, \\
 x_3(t) = x_2(t) = 0,0864 \sin \omega t + 4,4992 \cos \omega t, \\
 z_1(t) = z_4(t) = 4,1484 \sin \omega t + 0,1159 \cos \omega t, \\
 z_2(t) = z_3(t) = 5,098 \sin \omega t - 0,1424 \cos \omega t, \\
 y_1 = y_2 = y_3 = y_4 = 0.
 \end{array} \right. \quad (9)$$

Wariant 8

$$\left\{ \begin{array}{l}
 x_1(t) = x_4(t) = -0,3632 \sin \omega t + 4,6157 \cos \omega t, \\
 x_2(t) = x_3(t) = -0,0794 \sin \omega t + 4,5493 \cos \omega t, \\
 z_1(t) = z_4(t) = 5,098 \sin \omega t - 0,1424 \cos \omega t, \\
 z_2(t) = z_3(t) = 4,1484 \sin \omega t + 0,1159 \cos \omega t, \\
 y_1 = y_2 = y_3 = y_4 = 0.
 \end{array} \right. \quad (10)$$

Wariant 9

$$\left\{ \begin{array}{l}
 x_1(t) = x_2(t) = 4,30 \cos \omega t, \\
 x_3(t) = x_4(t) = 4,83 \cos \omega t, \\
 z_1(t) = z_2(t) = 3,84 \sin \omega t, \\
 z_3(t) = z_4(t) = 5,59 \sin \omega t, \\
 y_1(t) = y_4(t) = 0,9735 \sin \omega t + 0,3933 \cos \omega t, \\
 y_2(t) = y_3(t) = 0,223 \sin \omega t - 0,391 \cos \omega t.
 \end{array} \right. \quad (11)$$

Wariant 10

$$\left\{ \begin{array}{l}
 x_1(t) = x_2(t) = 4,83 \cos \omega t, \\
 x_3(t) = x_4(t) = 4,30 \cos \omega t, \\
 z_1(t) = z_2(t) = 5,58 \sin \omega t, \\
 z_3(t) = z_4(t) = 3,83 \sin \omega t, \\
 y_1(t) = y_4(t) = -0,9735 \sin \omega t - 0,3933 \cos \omega t, \\
 y_2(t) = y_3(t) = -0,2223 \sin \omega t + 0,3913 \cos \omega t.
 \end{array} \right. \quad (12)$$

Wariant 11

$$\left\{ \begin{array}{l}
 x_1 = x_2 = 4,53 \cos \omega t, \\
 x_3 = x_4 = 4,52 \cos \omega t, \\
 y_4 = y_1 = -0,009 \sin \omega t - 0,001 \cos \omega t, \\
 y_2 = y_3 = -0,002 \sin \omega t, \\
 z_1 = 4,6 \sin \omega t, \quad z_3 = 4,57 \sin \omega t. \\
 z_4 = z_2 = 4,58 \sin \omega t.
 \end{array} \right. \quad (13)$$

Wariant 12

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 4,53 \cos \omega t, \\ y_1 = y_4 = -0,02 \sin \omega t - 0,002 \cos \omega t, \\ y_2 = y_3 = -0,04 \sin \omega t + 0,002 \cos \omega t, \\ z_1 = z_2 = 4,61 \sin \omega t, \\ z_3 = z_4 = 4,57 \sin \omega t. \end{array} \right. \quad (14)$$

Wariant 13

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 4,53 \cos \omega t, \\ y_1 = y_4 = 0,0003 \sin \omega t, \\ y_2 = y_3 = 0, \\ z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = 4,59 \sin \omega t. \end{array} \right. \quad (15)$$

Wariant 14

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = 4,53 \cos \omega t = x_2 = x_3 = x_4, \\ y_1 = y_4 = 0,004 \sin \omega t, \\ y_2 = y_3 = 0, \\ z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = 4,6 \sin \omega t. \end{array} \right. \quad (16)$$

W tablicy 5 zamieszczono nastawy potencjometrów programu analogowego (rys. 1) umożliwiające wykreślanie odpowiednich trajektorii przesiewacza WK-2.

cd. tablicy 5

Wariant prze- siwa- cza WK-2	T R A J E K T O R I A $z = f_2(y)$																
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_1	α_2	α_3	α_4	α_1	α_2	α_3	α_4	α_1	α_2	α_3	α_4	
2	0	0	0,458	0	0	0,458	0	0,00	0	0,458	0	0	0	0,458	0	0,458	0
3	-0,027	0,053	0,459	-0,01	0,021	0,014	0,459	-0,01	0,021	0,014	0,014	-0,089	-0,027	0,053	0,450	0,450	0,089
4	0,025	0,013	0,453	0	0,006	-0,013	0,453	0	0,006	-0,013	0,499	0	0,025	0,013	0,499	0,499	0
5	0,002	0,070	0,453	-0,01	0,030	0,003	0,453	-0,01	0,030	0,003	0,501	0,097	0,002	0,070	0,501	0,501	0,097
6	0,052	0,039	0,445	0,088	0,015	-0,027	0,445	0,088	0,015	-0,027	0,500	0	0,047	0,014	0,500	0,500	0
7	0	0	0,415	0,012	0	0	0,510	-0,014	0	0	0,510	-0,014	0	0	0,415	0,415	0,012
8	0	0	0,510	-0,014	0	0	0,415	0,012	0	0	0,415	0,012	0	0	0,510	0,510	0,014
9	0,097	0,039	0,384	0	0,022	-0,039	0,384	0	0,022	-0,039	0,559	0	0,097	0,039	0,559	0,559	0
10	-0,097	-0,039	0,558	0	0,022	0,039	0,558	0	0,022	0,039	0,383	0	-0,097	0,039	0,383	0,383	0
11	0	0	0,460	0	0	0	0,458	0	0	0	0,457	0	0	0	0,458	0,458	0
12	0	0	0,460	0	0	0	0,460	0	0	0	0,457	0	0	0	0,457	0,457	0
13	0	0	0,459	0	0	0	0,459	0	0	0	0,459	0	0	0	0,459	0,459	0
14	0	0	0,460	0	0	0	0,460	0	0	0	0,460	0	0	0	0,460	0,460	0
Punkt pomia- rowy	⊗ 1			⊗ 2				⊗ 3				⊗ 4					

3. Wnioski z analizy dynamicznej przesiewacza WK-2

W wyniku szczegółowej analizy geometrii mas przesiewacza WK-2 przeprowadzonej na podstawie projektu ustalono, że przesiewacz ten nie jest symetryczny ani względem osi wzdłużnej ξ , ani względem osi poprzecznej y (por. rys. 1 w [1]). Środek masy przesiewacza WK2 nie pokrywa się z punktem zaczepienia wypadkowego wektora siły wzdłużnej, a także jest przesunięty względem środka sprężystości podpór. Przy założeniu parametrów modelu przesiewacza WK2 wynikających z analizy geometrii mas wyznaczono charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowo-fazowe, określające zmiany amplitud przemieszczeń wybranych jego punktów w funkcji zmian częstości wirowania wału niewyrównoważonego¹⁾. Na tej podstawie stwierdzono, że podstawowe częstości rezonansowe tego przesiewacza leżą w zakresie od 1 [Hz] do 3 [Hz] i są znacznie niższe od częstości roboczej $\omega_r = 92,4 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \Rightarrow 14,71 \text{ [Hz]}$.

Podstawowe częstości rezonansowe przesiewacza WK2 wynoszą:

$$\omega_1 = 7,5 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \Rightarrow 1,2 \text{ [Hz]}, \quad \omega_3 = 12,5 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \Rightarrow 2 \text{ [Hz]},$$

$$\omega_2 = 12 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \Rightarrow 1,9 \text{ [Hz]}, \quad \omega_4 = 15,5 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \Rightarrow 2,5 \text{ [Hz]}.$$

Już w wyniku tych obliczeń można stwierdzić, że przesiewacz WK-2 wykonany zgodnie z projektem nie będzie przesiewaczem "czysto kołowym", ponieważ oprócz drgań w płaszczyźnie XZ (por. rys. 1 [1]) występują również drgania rzeszota w płaszczyźnie YZ (tzw. drgania boczne). Wybrane punkty rzeszota przesiewacza WK-2 będą więc w takim przypadku poruszać się po powierzchniach elipsoid.

Z kolei dokonano analizy drgań rzeszota przesiewacza WK-2 przy założeniu czternastu wariantów obliczeń. Wyznaczono trajektorie ruchów wybranych czterech "punktów pomiarowych" leżących na burtach przesiewacza (por. rys. 1 w [1]).

I tak, przy założeniu pełnej symetrii zarówno modelu przesiewacza, jak i modelu wzbudzenia (WARIANT 2) stwierdzono, że w płaszczyźnie XZ wszystkie cztery "punkty pomiarowe" poruszają się po jednakowych trajektoriach kołowych (por. wzór (4) i rys. 2). Ruch wszystkich punktów jest zgodny w fazie, a maksymalne przemieszczenia rzeszota przesiewacza w kierunku osi X oraz Z są równe $\approx 9,1 \text{ mm}$. W płaszczyźnie YZ przesiewacz całkowicie symetryczny nie przemieszcza się w kierunku osi Y (nie występują drgania boczne), (por. rys. 3).

Jako wariant 3 rozważano całkowicie symetryczny model przesiewacza WK-2 z przesuniętymi w fazie o 10^0 wektorami wirujących sił wzbudzenia, przyło-

¹⁾ Jak już wspomniano, wydruki uzyskanych wyników znajdują się w Instytucie Mechaniki i PKM Politechniki Śląskiej.

żonymi do burt przesiewacza. Trajektorie ruchu "punktów pomiarowych" rzeszota przedstawione są w takim przypadku na rys. 4 i 5 (por. wzór (5)). Z rys. 4 wynika, że przesunięcie fazy sił wzbudzających ma istotne znaczenie dla ruchu rzeszota przesiewacza. W szczególności, trajektorie "punktów pomiarowych" $\otimes 1$ i $\otimes 4$ przestają być trajektoriami kołowymi, lecz stają się elipsami o osiach głównych przesuniętych względem osi XZ. Trajektorja w płaszczyźnie XZ punktu $\otimes 1$ pokrywa się z trajektorią punktu $\otimes 2$. Mniejsza oś elipsy trajektorii jest o około 45° przesunięta przeciwnie do ruchu wskazówek zegara (kierunek dodatni) względem osi X. Natomiast trajektorie XZ punktów $\otimes 3$ i $\otimes 4$, pokrywające się ze sobą wzajemnie, różnią się od trajektorii punktów $\otimes 1$ i $\otimes 2$. Są to także elipsy, jednak obrócone o kąt 45° w kierunku ujemnym. Ponadto na trajektoriach punkt $\otimes 3$ i $\otimes 4$ wyprzedzają o około 10° punkty $\otimes 1$ i $\otimes 2$. Ruch przesiewacza przestaje być ruchem postępowym. Lewa burta przesiewacza jest stale na innym poziomie niż jego burta prawa.

Wykresy zamieszczone na rys. 5 wskazują na występowanie drgań bocznych rzeszota (wzór (5)). Maksymalne przemieszczenia boczne (w kierunku osi Y), rzędu 1 mm wyznaczono dla punktów $\otimes 1$ i $\otimes 4$.

Drgania boczne punktów $\otimes 2$ i $\otimes 3$ oraz $\otimes 1$ i $\otimes 4$ rzeszota przesiewacza są między sobą zgodne w fazie, lecz osiągają różne amplitudy.

Jako wariant 4 rozważono całkowicie symetryczny model przesiewacza WK-2 poddany wzbudzeniu dynamicznemu, w którym siła \bar{F}_1 (działająca na lewą burtę) jest co do modułu o 10% większa od siły F_2 działającej na prawą burtę. Siły \bar{F}_1 i \bar{F}_2 wirują zgodnie w fazie.

Trajektorie ruchu "punktów pomiarowych" rzeszota przesiewacza przedstawione są w takim przypadku na rys. 6 i 7 (por. także zależność (6)). Z rys. 6 wynika, że tak przyjęta różnica modułów sił wzbudzających \bar{F}_1 i \bar{F}_2 nie wpływa na zmianę kołowych trajektorii przesiewacza. Ruch "punktów pomiarowych" $\otimes 1$ - $\otimes 4$ jest zgodny w fazie, lecz maksymalne przemieszczenia punktów $\otimes 3$ i $\otimes 4$ (leżących na burcie, gdzie działa większa siła) są nieznacznie większe od przemieszczeń punktów $\otimes 1$ i $\otimes 2$.

Wykresy zamieszczone na rys. 7 wskazują na złożony ruch przesiewacza. W płaszczyźnie YZ pojawiły się drgania boczne. Przemieszczenia w kierunku osi Y punktów $\otimes 1$ i $\otimes 4$ oraz $\otimes 2$ i $\otimes 3$ są sobie parami równe (około 0,5 mm), lecz ich ruch po trajektoriach YZ jest różny. I tak punkty $\otimes 1$ i $\otimes 4$ obiegają trajektorie zgodnie z ruchem wskazówek zegara, natomiast $\otimes 2$ i $\otimes 3$ - przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. Świadczy to o dodatkowych drganiach skrętnych rzeszota przesiewacza wokół osi Z.

Piąty wariant przesiewacza, zakładający jego pełną symetrię, co do wzbudzenia łączy w sobie cechy wariantu trzeciego i czwartego. W tym bowiem przypadku siła \bar{F}_1 wyprzedza w fazie siłę \bar{F}_2 o 10° i jest co do modułu większa o 10%.

Z rysunków 8 i 9 i wzorów (7) wynika, że i ruch przesiewacza jest superpozycją cech ruchu wariantu 3 i 4. Trajektorie "punktów pomiarowych"

w płaszczyźnie XZ stały się obróconymi i przesuniętymi w fazie elipsami w wyniku fazowego przesunięcia wektorów \bar{F}_1 i \bar{F}_2 (por. rys. 4 i 8), a także maksymalne przemieszczenia burty lewej są nieco większe od maksymalnych przemieszczeń burty prawej (por. rys. 5 i 8), co jest wynikiem zwiększenia modułu siły \bar{F}_1 .

Superponowanie się efektów fazowego przesunięcia sił \bar{F}_1 i \bar{F}_2 oraz nierówności modułów ($F_1 = 1,1 F_2$) widać także na wykresach przedstawionych na rys. 9. Można zauważyć przemieszczenia punktów $\otimes 1$ i $\otimes 4$ przesiewacza w kierunku Y rzędu ≈ 1 mm (wynikające z niezgodności faz sił \bar{F}_1 i \bar{F}_2) oraz niezgodny obieg po trajektoriach YZ punktów $\otimes 1$ i $\otimes 4$ oraz $\otimes 2$ i $\otimes 3$ (wynikający z nierówności modułów sił \bar{F}_1 i \bar{F}_2).

Wariant 6 przesiewacza WK-2 stanowi symetryczny model z niesymetrycznym wzbudzeniem. Można zauważyć, że podobnie jak poprzednio (por. wariant 3 i 5) wyprzedzenie fazowe siły działającej na daną burtę powoduje charakterystyczne przesunięcie krótszej osi elipsy o około 45° w kierunku ujemnym i około 10° wyprzedzenia punktu na trajektorii "punktów pomiarowych" leżących na tej burcie (punkty $\otimes 1$ i $\otimes 2$ - rys. 10, wzór (8)) względem punktów burty przeciwnej.

Punkty $\otimes 3$ i $\otimes 4$ natomiast poruszają się po elipsach o krótszej osi obróconej o $\approx 35^\circ$ w kierunku dodatnim względem osi X. Większa wartość modułu siły \bar{F}_1 względem \bar{F}_2 i tym razem uwidoczniła się nieco większymi przemieszczeniami w kierunkach X i Z punktów $\otimes 3$ i $\otimes 4$. Występujące w takim przypadku drgania boczne (rys. 11 wzór (8)) świadczą również, podobnie jak w wariancie 5, o skręcaniu się rzeszota przesiewacza względem osi Z (por. kierunek obiegu trajektorii YZ przez punkty $\otimes 1$ i $\otimes 4$ oraz $\otimes 2$ i $\otimes 3$, rys. 11).

W przypadku wariantu 7 rozważono model przesiewacza WK-2, w którym środek masy przemieszczono w kierunku punktów $\otimes 1$ i $\otimes 4$ o 0,2 m. W wyniku tego uległy zniekształceniu kołowe trajektorie "punktów pomiarowych" $\otimes 1$ - $\otimes 4$ (por. rys. 12, wzór (9)). W szczególności wzrosły w stosunku do przesiewacza symetrycznego (wariant 2) maksymalne przemieszczenia punktów $\otimes 2$ i $\otimes 3$ w kierunku Z osiągając wartość nieco ponad 10 mm, natomiast zmniejszyły się do około 7,5 mm Z-towe przemieszczenia punktów $\otimes 1$ i $\otimes 4$. W kierunku osi X wszystkie cztery punkty pomiarowe poruszają się zgodnie osiągając równe przemieszczenia ($\approx 8,5$ mm).

Przesunięcie środka masy przesiewacza po jego osi wzdłużnej nie powoduje pojawienia się drgań bocznych (rys. 13).

Jako ósmy wariant modelu przesiewacza WK-2 rozważono przypadek przesunięcia się środka masy rzeszota po osi wzdłużnej w kierunku punktów $\otimes 2$ i $\otimes 3$. Zaobserwowano, podobny jak w wariancie 7, efekt zwiększenia się amplitud "lżejszego" końca przesiewacza (punkty $\otimes 1$ i $\otimes 4$) oraz zmniejszenie się amplitud "cięższego" końca przesiewacza (punkty $\otimes 2$ i $\otimes 3$) w kierunku osi Z. Dodatkowo zaobserwowano silniejsze niż w wariancie 7 odchylenie się osi eliptycznych trajektorii punktów "lżejszego" końca prze-

siewacza (por. rys. 14) i wzór (10)). Zgodnie z wynikami obliczeń wariantu 7 jest także stwierdzenie braku drgań bocznych rzeszota przesiewacza (rys. 15 oraz wzór (7)).

Wariant 9 modelu przesiewacza WK-2 posiada środek masy rzeszota przesunięty po osi poprzecznej Y o 0,2 m w kierunku punktów \otimes 1 i \otimes 2. Taka niesymetria modelu dynamicznego wpłynęła na następujące zmiany teoretycznych, kołowych trajektorii "punktów pomiarowych":

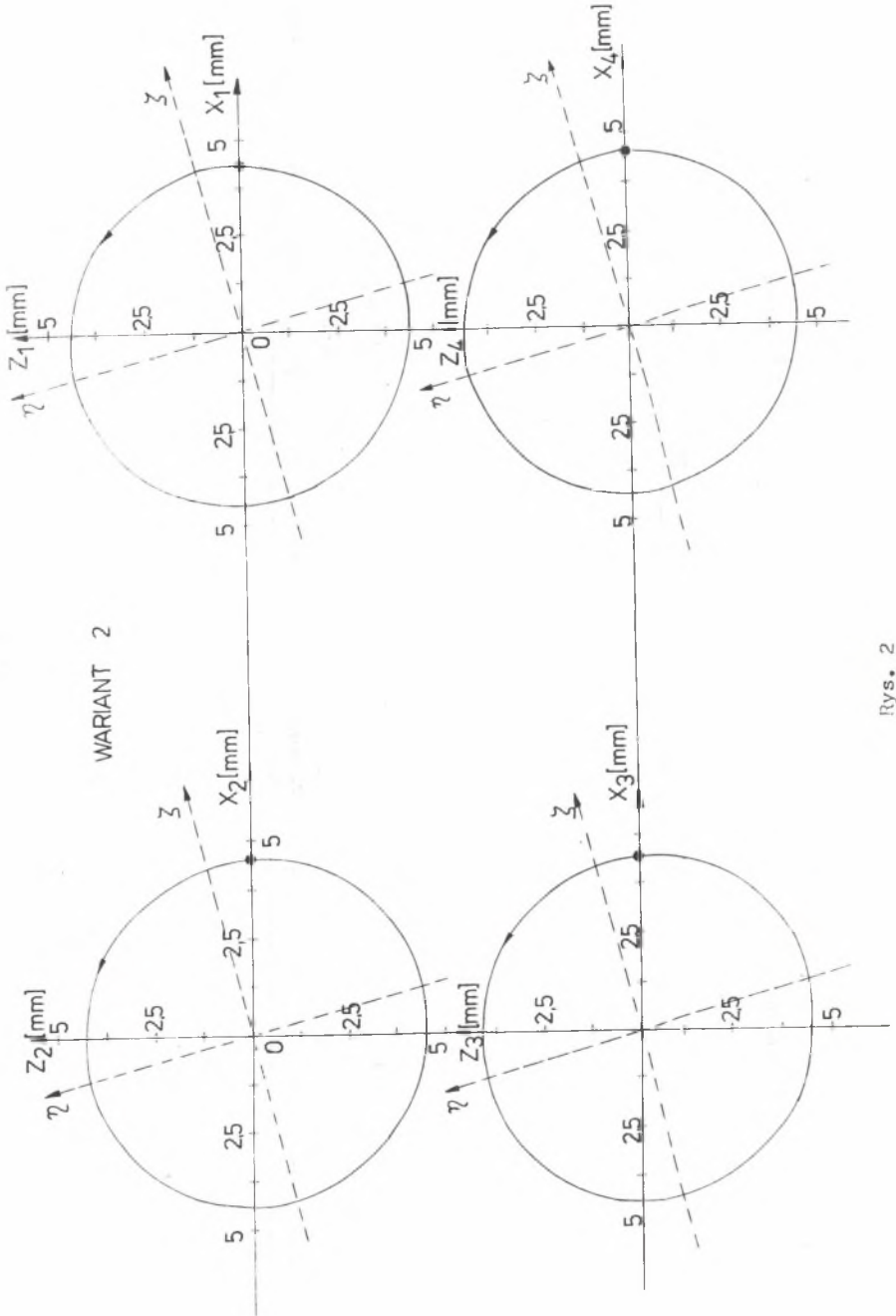
- punkty \otimes 1 i \otimes 2 leżące na "cięższej" burcie zmniejszyły maksymalne przemieszczenia w kierunku Z do około 7 mm i w kierunku osi X - do około 8 mm. "Lżejsza" burta przesiewacza wyraźnie zwiększyła swe przemieszczenia tak, że punkty \otimes 3 i \otimes 4 w kierunku osi Z przekroczyły przemieszczenie 10 mm, prawie go osiągając w kierunku osi X (por. rys. 16 i wzór (11)).

Pojawiły się istotne ($\sim 2,5$ mm) drgania boczne. Rys. 17 i zależności (11) wskazują na to, że silne drgania boczne rzeszota przesiewacza zachodzą w tym przypadku z jednoczesnym skręcaniem względem osi Z (porównaj kierunek obrotu i miejsce startu punktów \otimes 1 i \otimes 4 oraz \otimes 2 i \otimes 3 na trajektorii YZ - rys. 17).

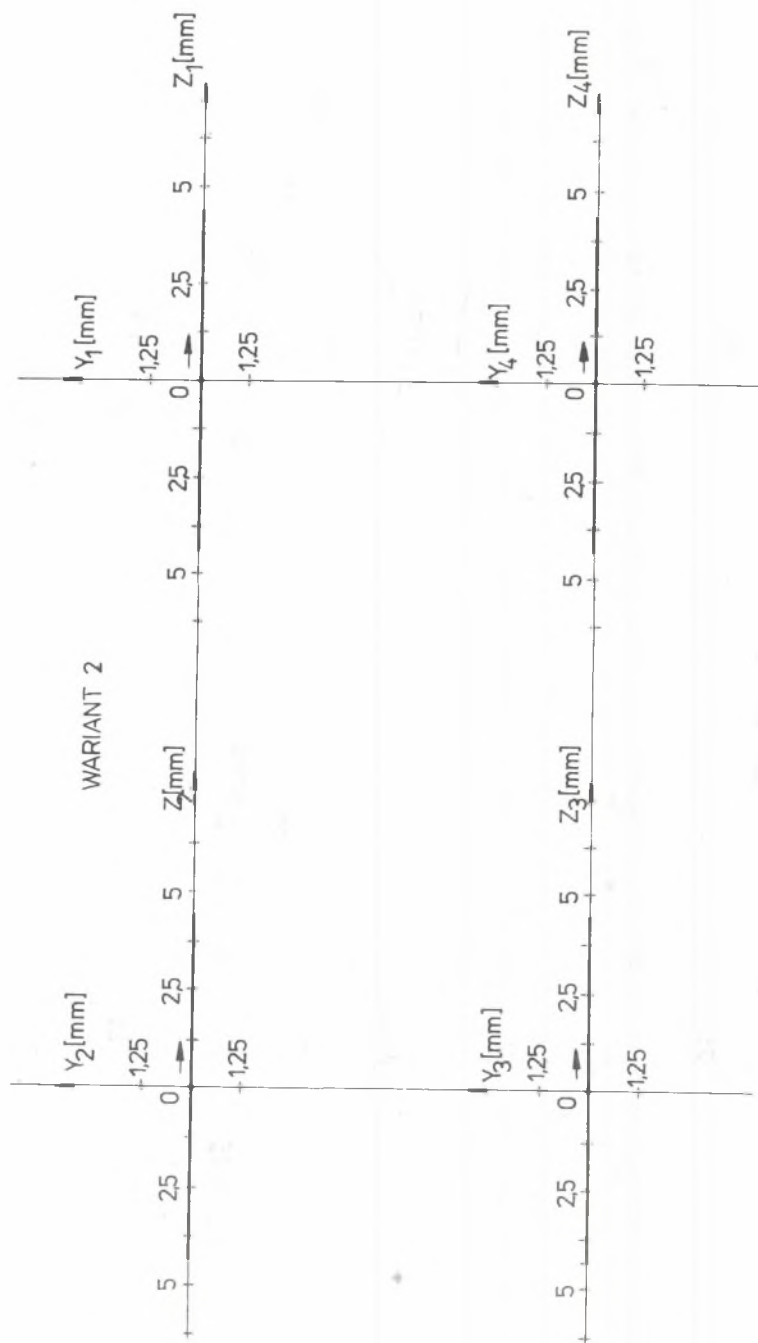
Wariant 10 modelu przesiewacza WK-2 posiada środek masy rzeszota przesunięty po osi poprzecznej Y o 0,2 m w kierunku punktów \otimes 3 i \otimes 4. Jest to zatem "lustrzane odbicie" modelu jak w wariantcie 9 względem jednej z jego burt. Uzyskano trajektorie ruchu punktów \otimes 1, \otimes 2, \otimes 3 i \otimes 4 w płaszczyznach XZ i YZ (rys. 18 i 19 oraz zał. (12)) są także "lustrzanym odbiciem" trajektorii "punktów pomiarowych" wariantu 9. Wszystkie wnioski dotyczące wariantu 9 odnoszą się również do omawianego 10 wariantu przesiewacza WK-2.

Uzyskane funkcje opisujące ruch wariantów 11, 12, 13 i 14 modelu przesiewacza WK-2 (por. zależności (13) - (16)) praktycznie nie różnią się między sobą. Zatem zwiększenie w granicach 30% sztywności baterii sprężyn c_1 (wariant 11), c_1 i c_2 (wariant 12), c_1 i c_3 (wariant 13) oraz c_1 i c_4 (wariant 14) powoduje prawie nieuchwytnie zmiany przemieszczeń przesiewacza, mające rząd setnych części milimetra, co stanowi $\sim 1^0/00$ przemieszczenia maksymalnego.

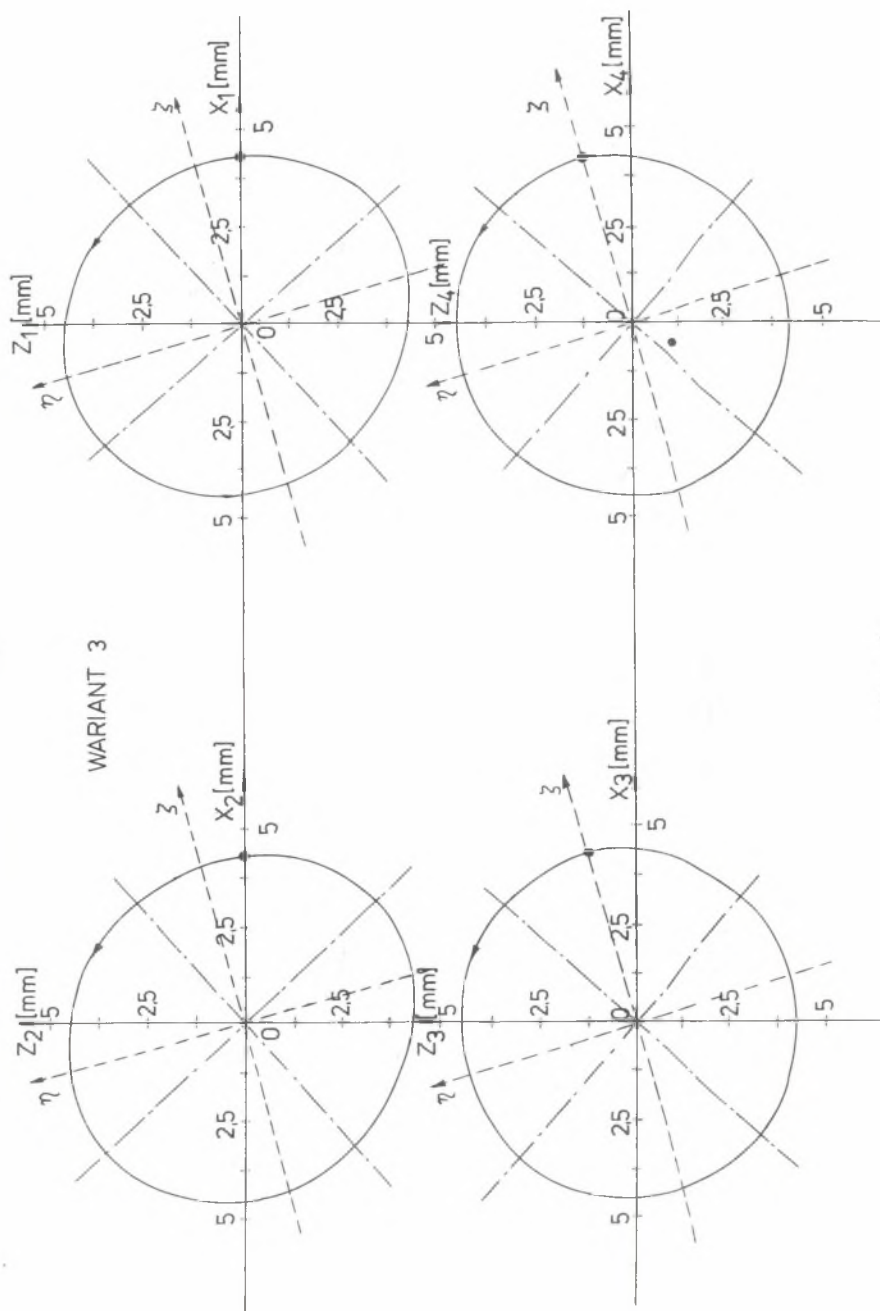
Można przyjąć, że we wszystkich omawianych czterech przypadkach "punkty pomiarowe" rzeszota przesiewacza WK-2 poruszają się w płaszczyźnie XZ (por. rys. 1 w [1]) po elipsach o dłuższej osi $\cong 9,06$ mm leżącej na osi X i krótszej osi $\cong 9,12$ mm leżącej na osi Y (praktycznie są to więc koła o średnicy ≈ 9 mm); natomiast drgania boczne wszystkich czterech wariantów są pomijalnie małe (wyznaczono przemieszczenia rzędu μ m, (por. rys. 20 - 27)).



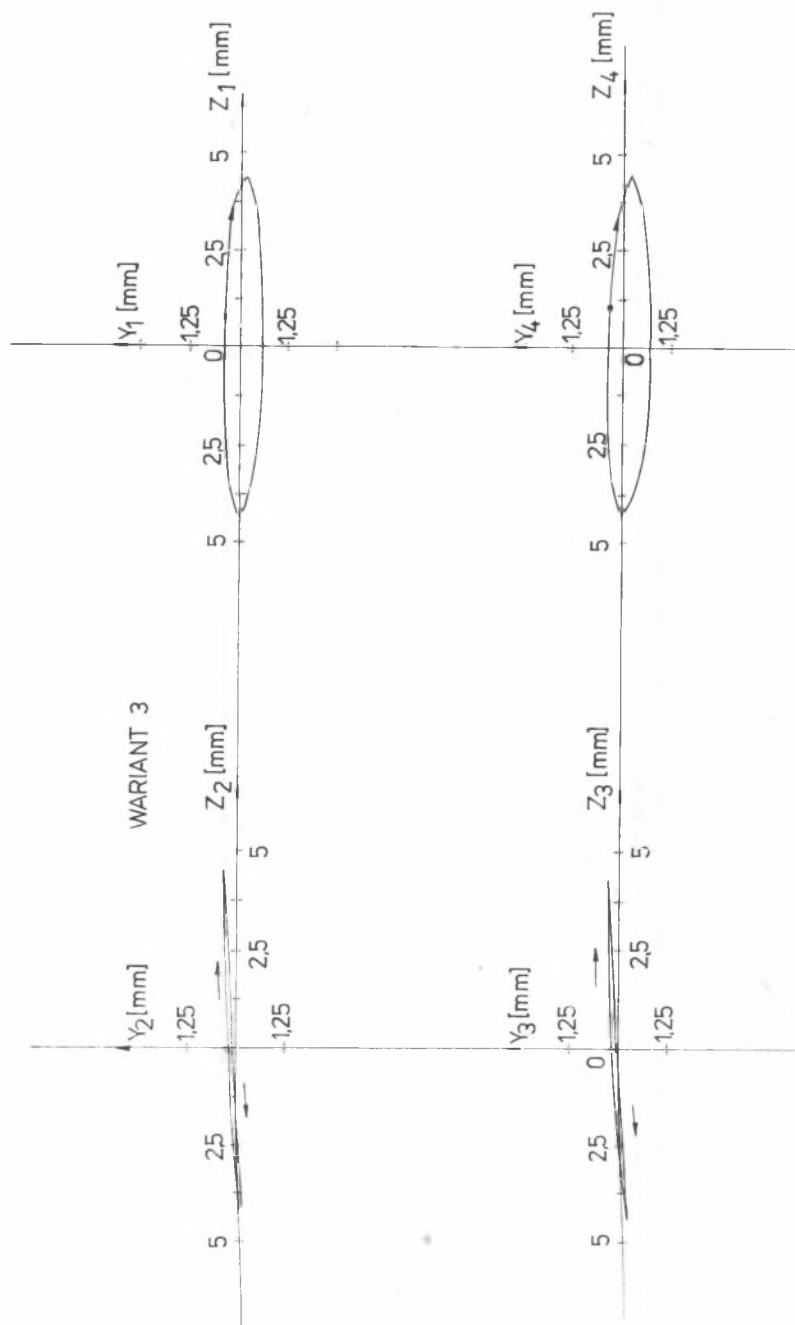
Rys. 2



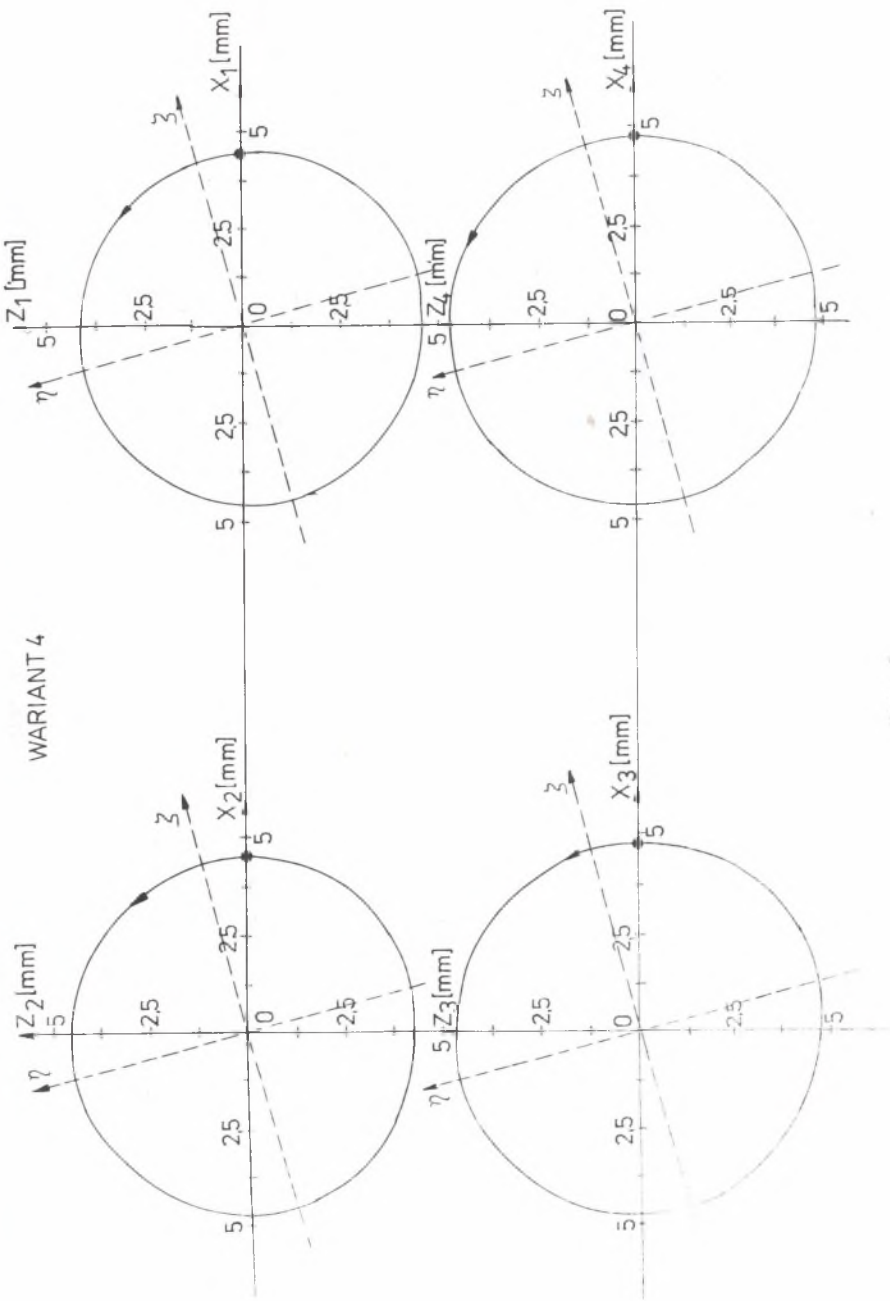
Rys. 3



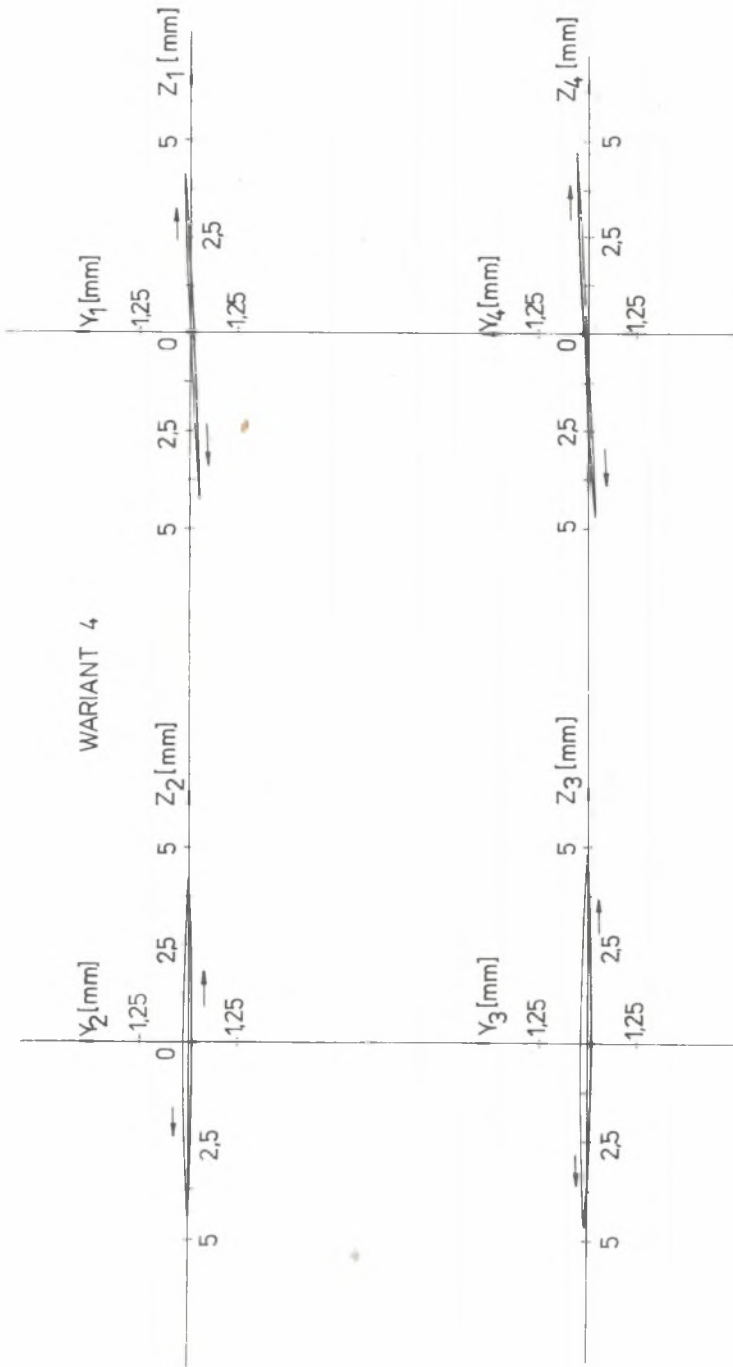
Rys. 4



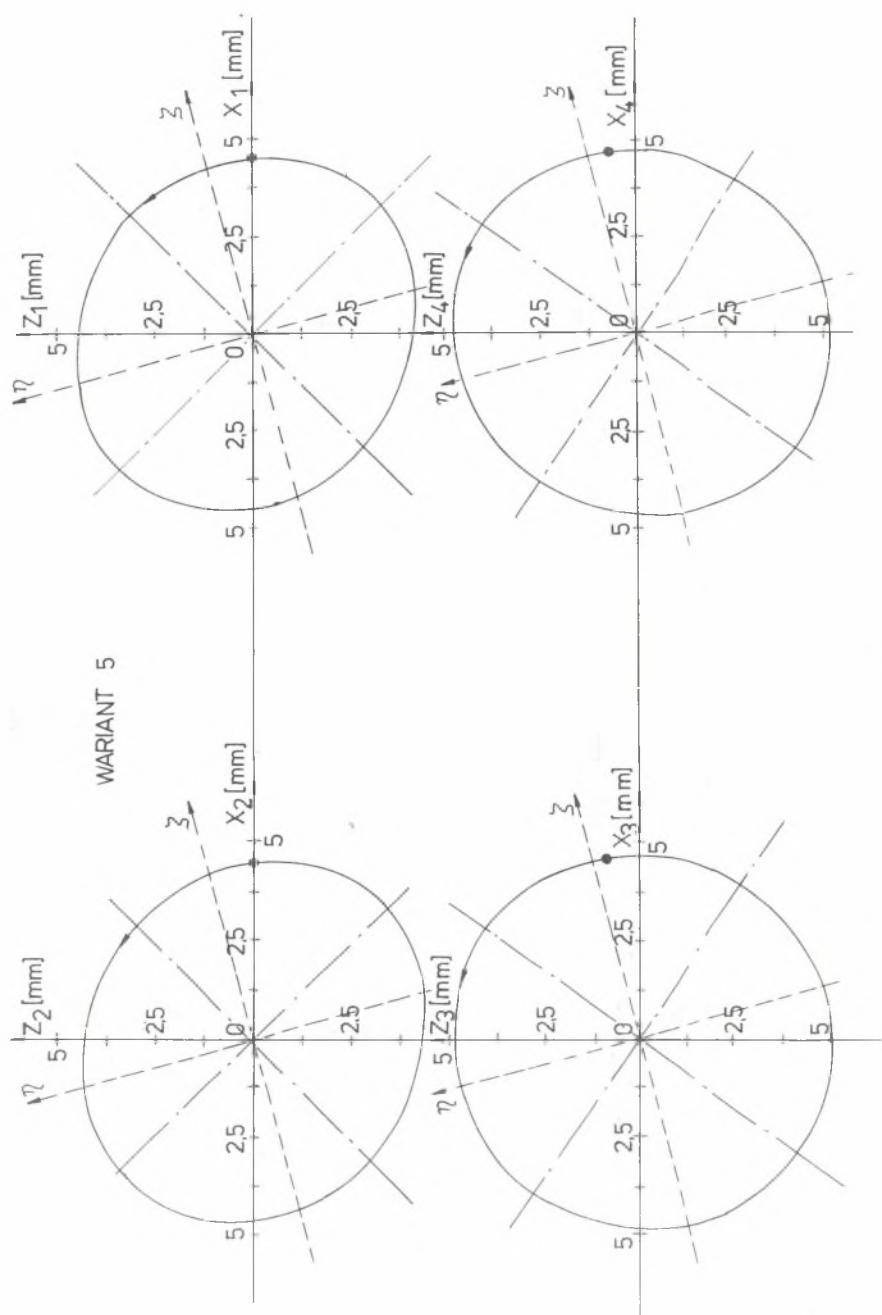
Rys. 5



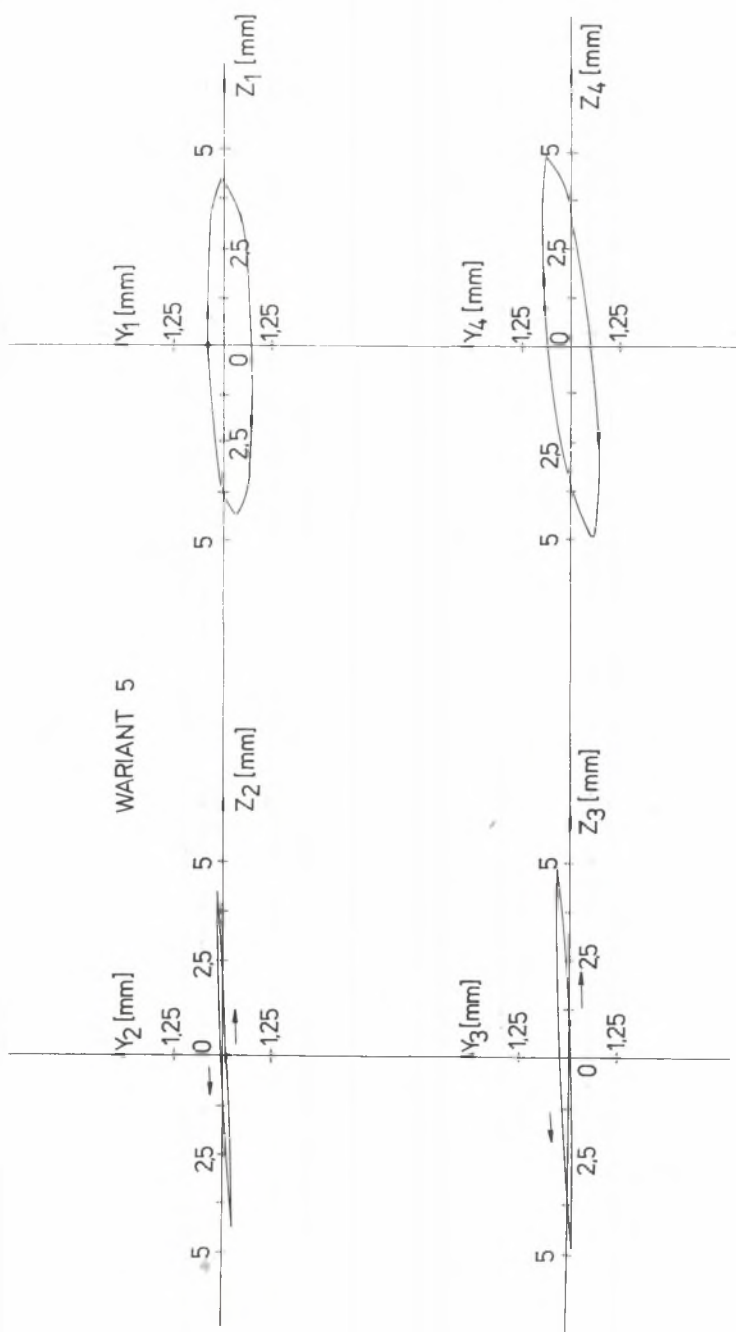
rys. 6



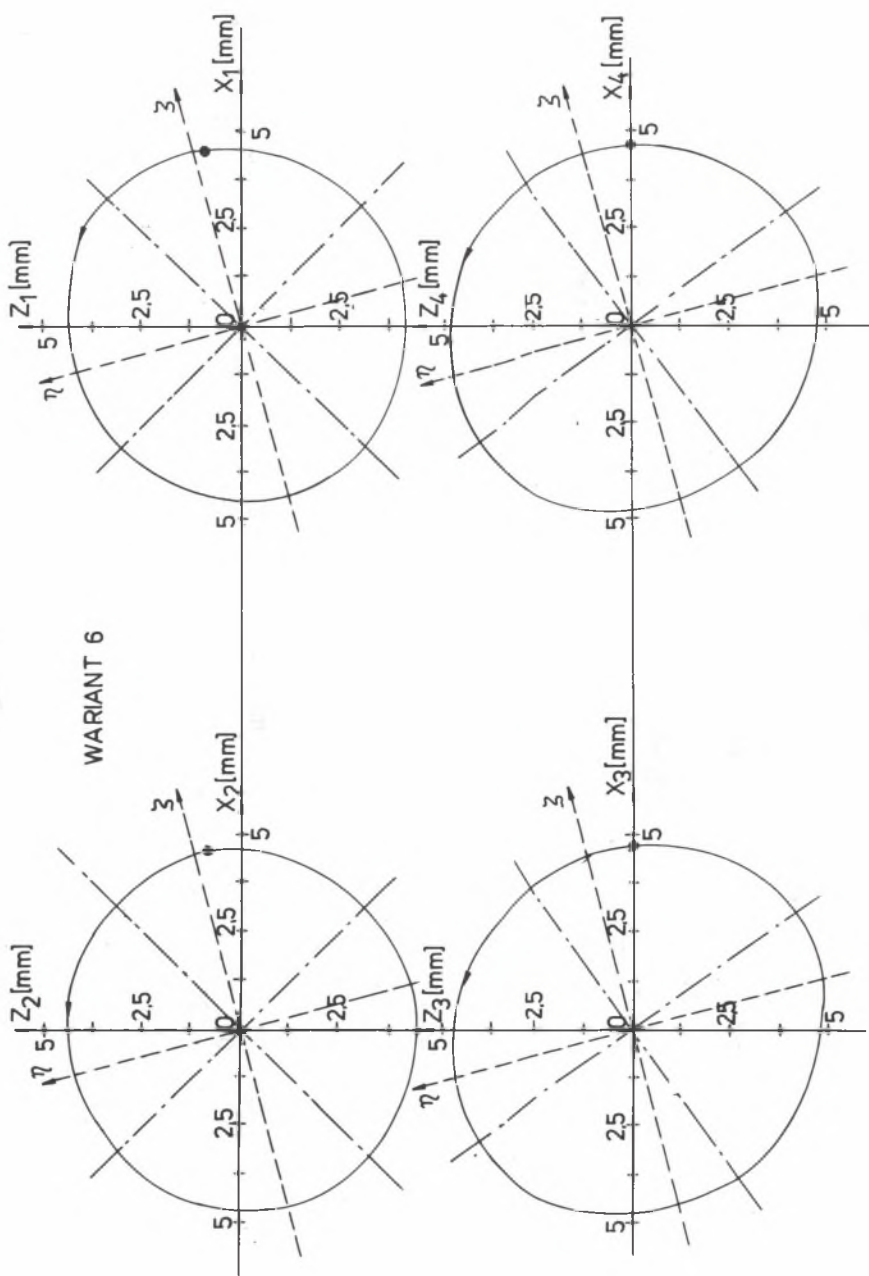
Rys. 7



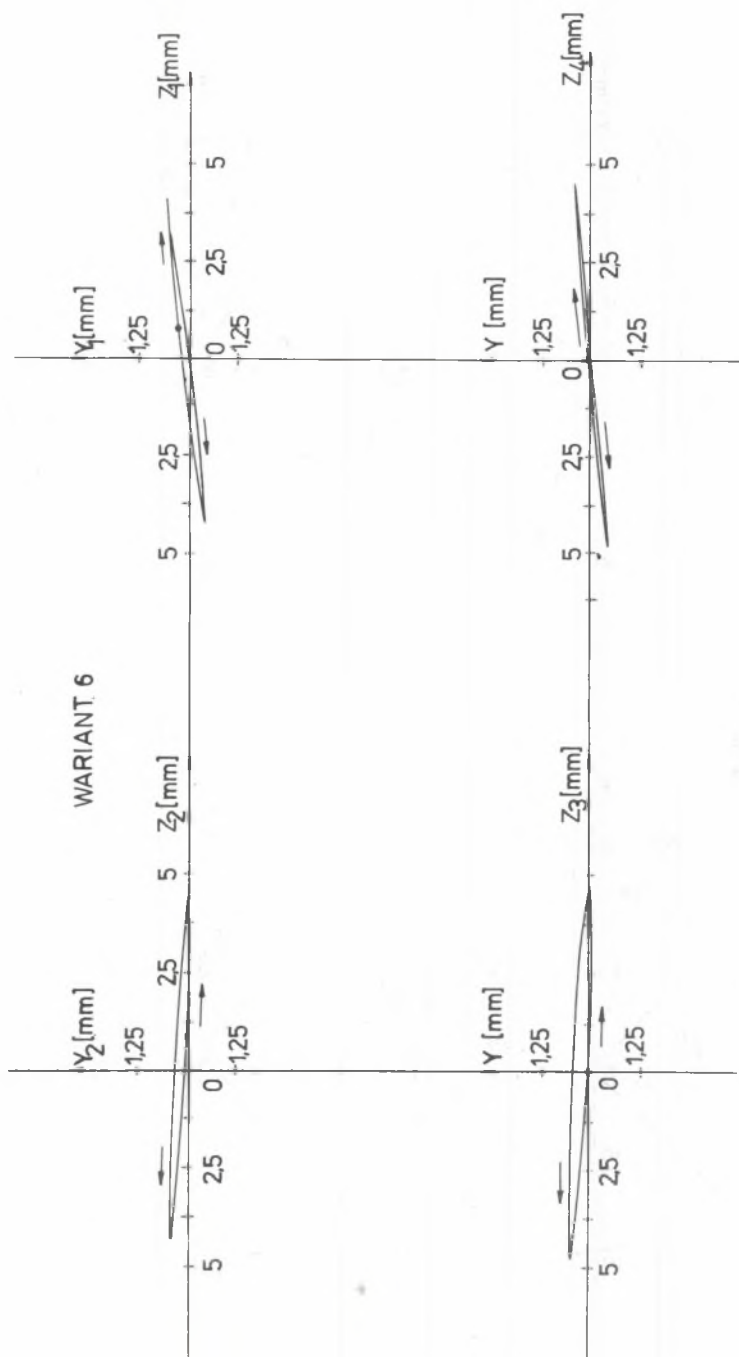
Rys. 8



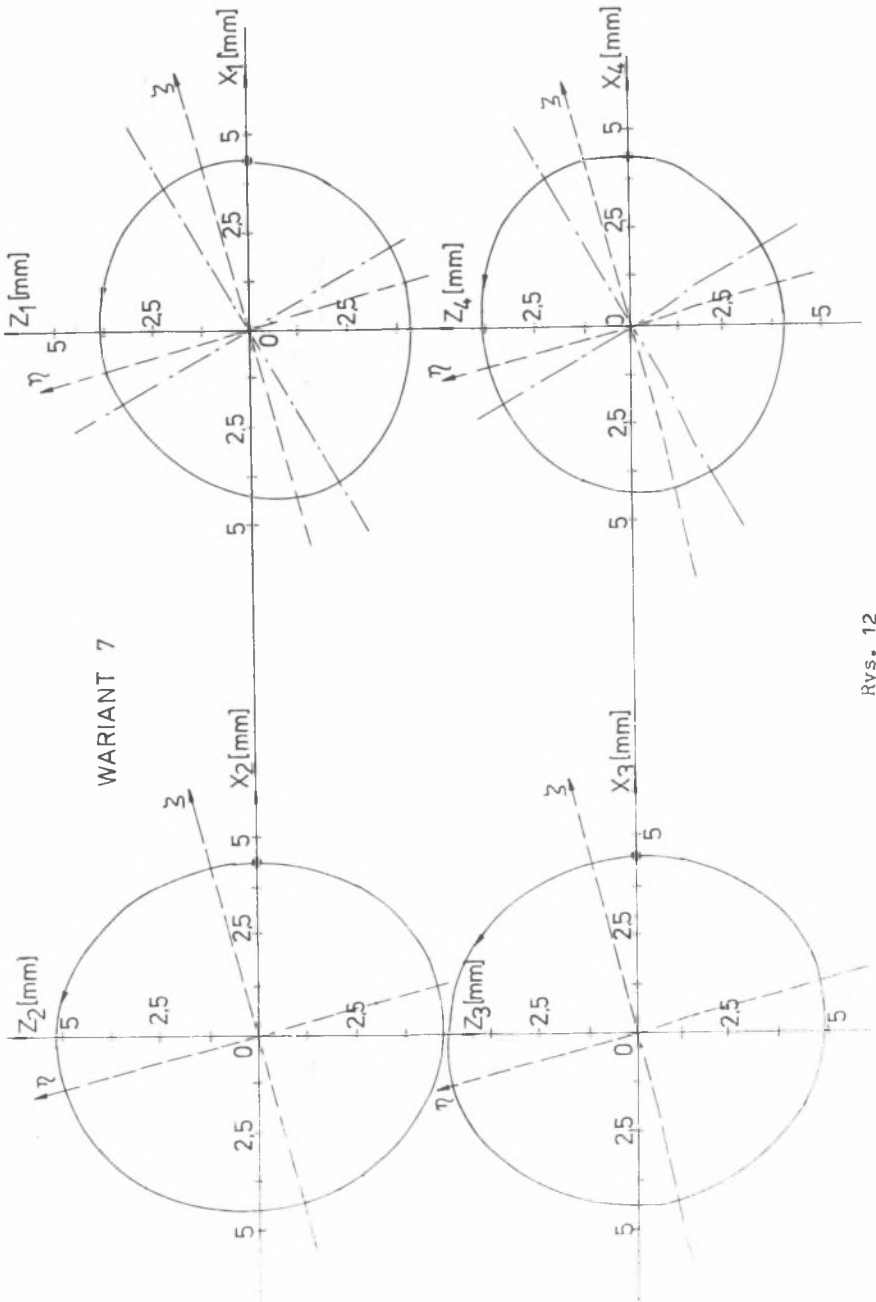
Rys. 9



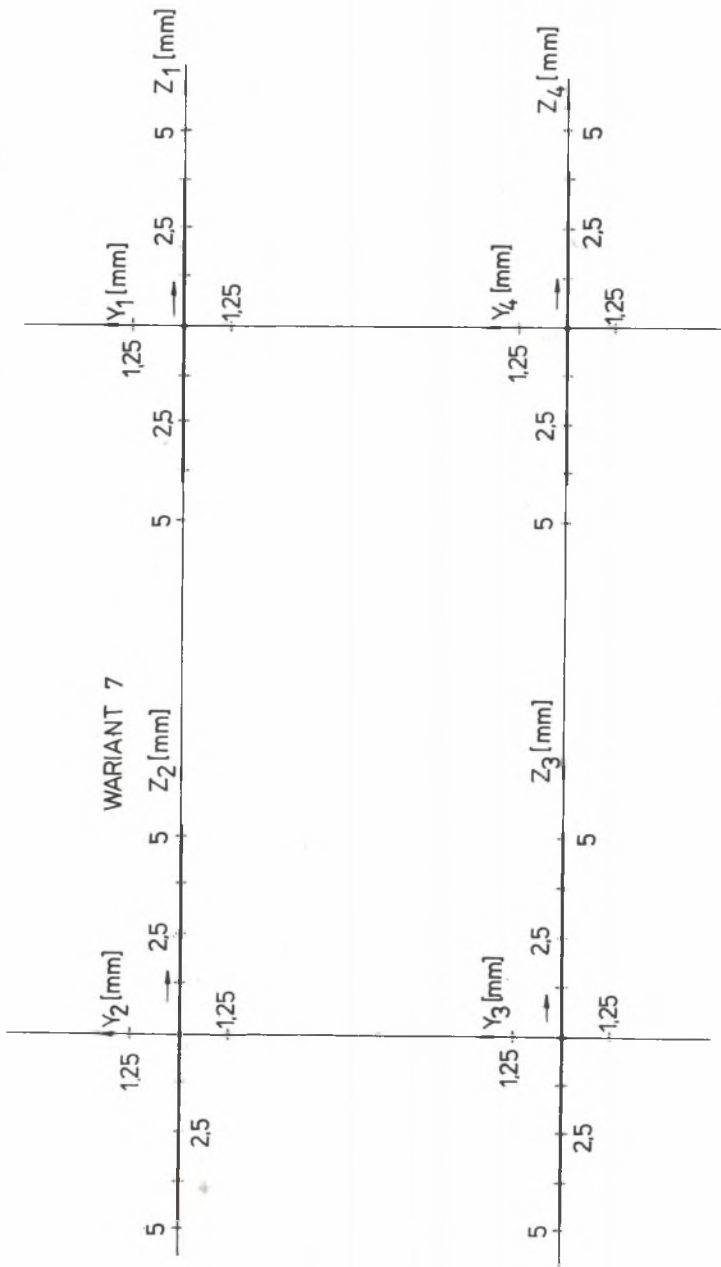
Rys. 10



Rys. 11

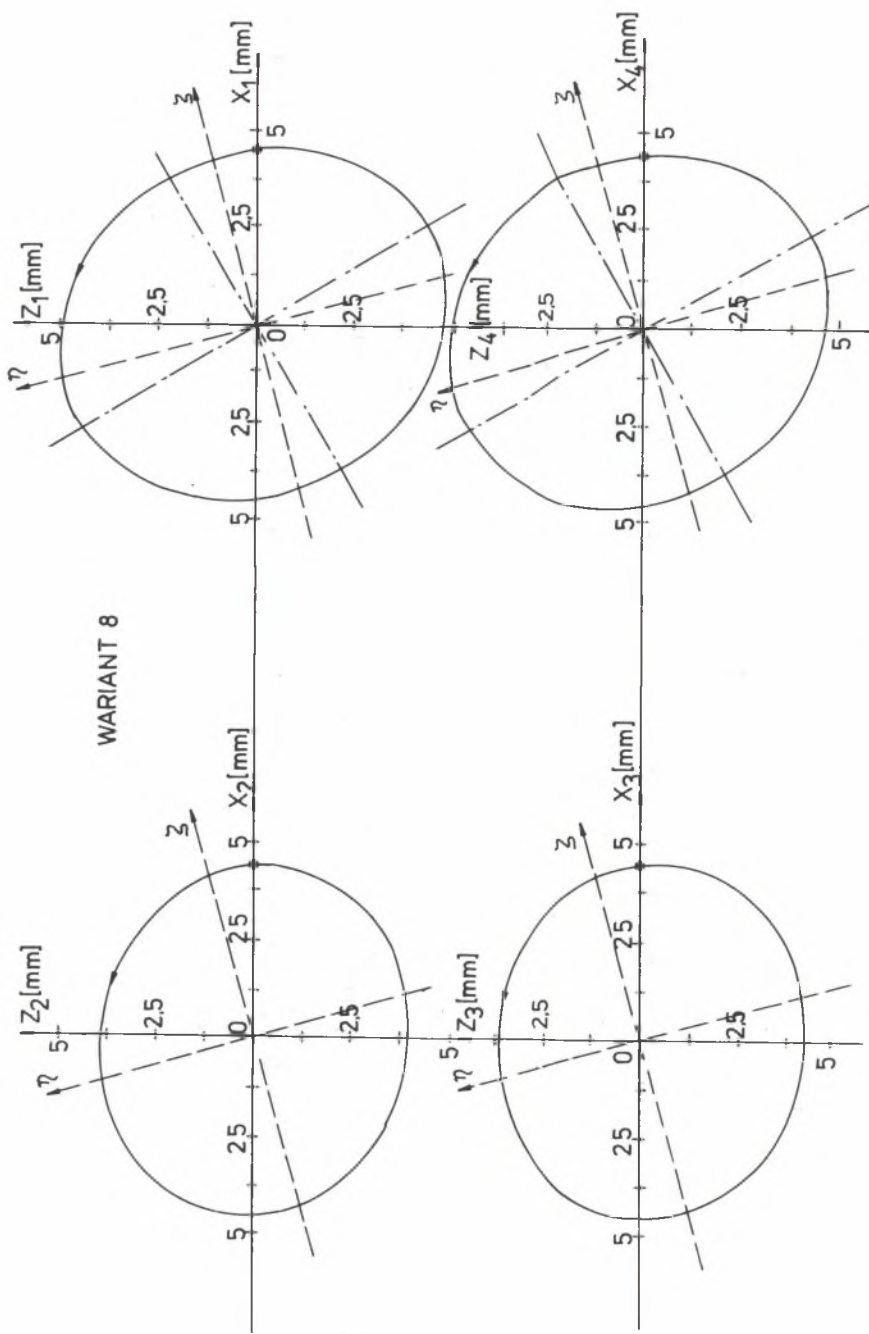


Rys. 12

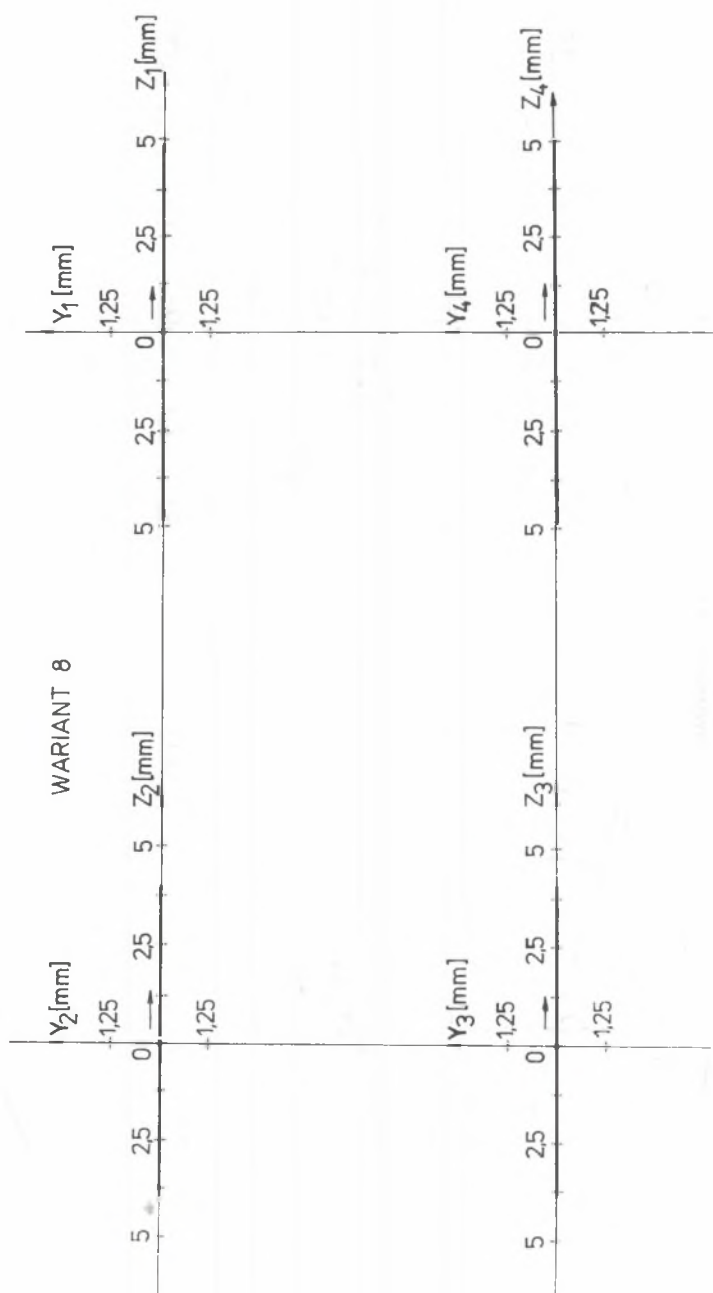


Rys. 13

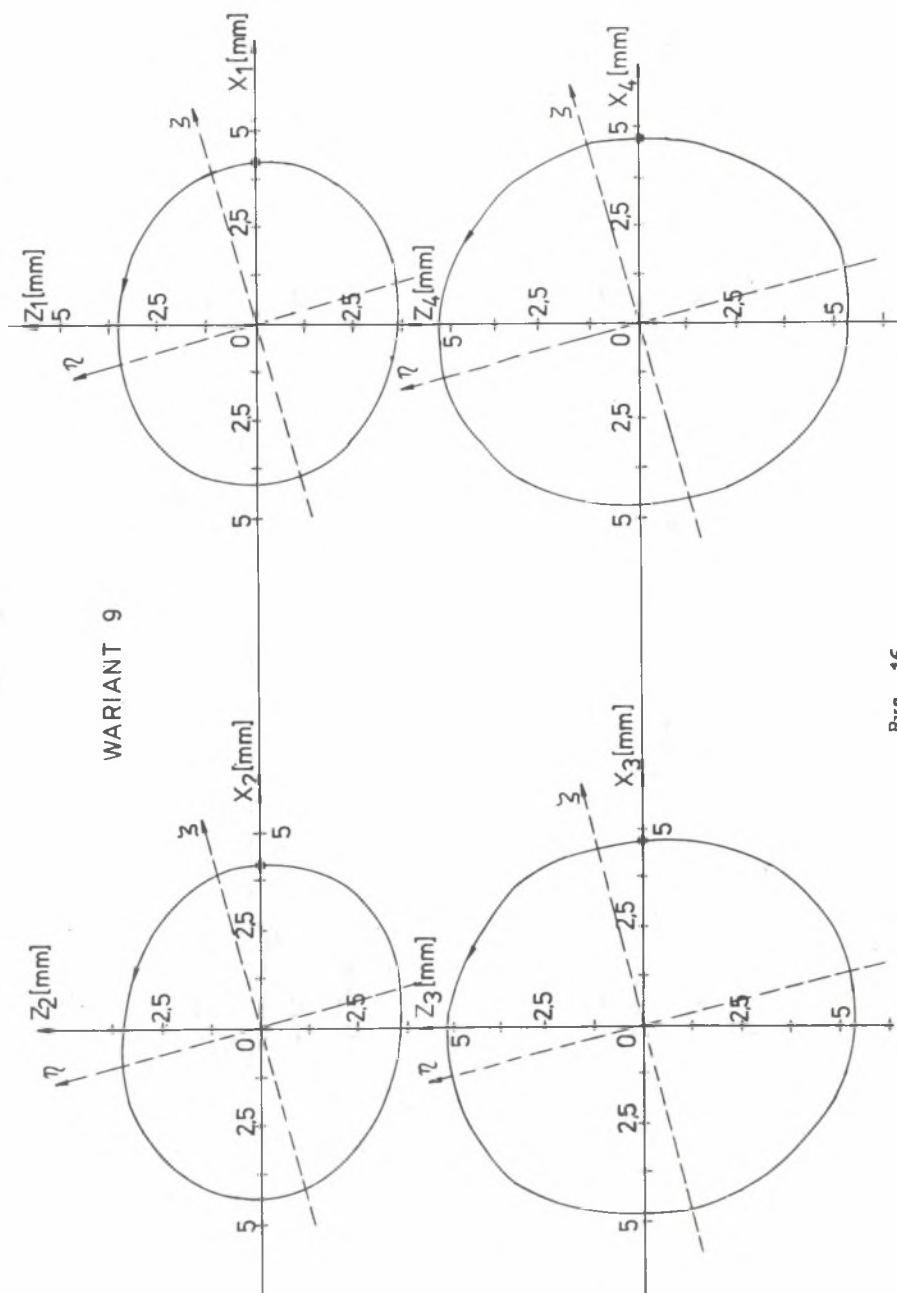
WARIANT 8



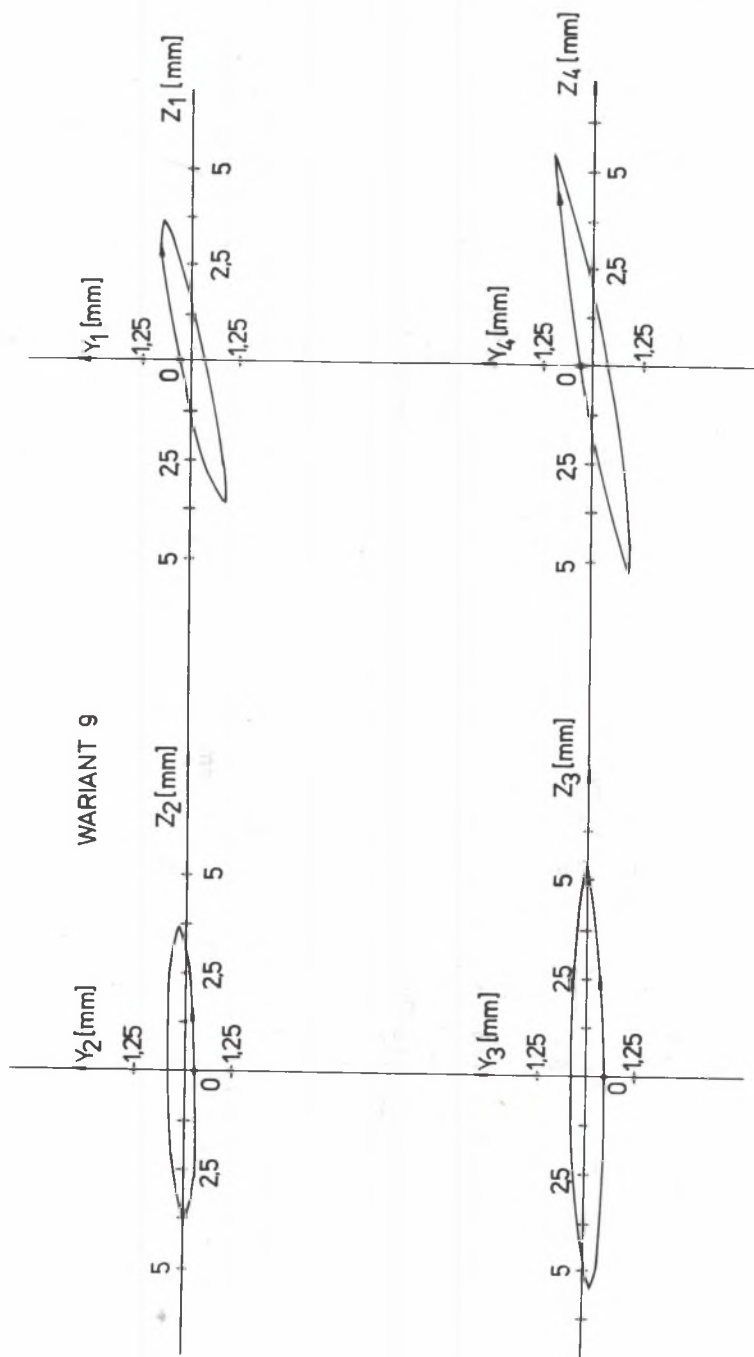
Rys. 14



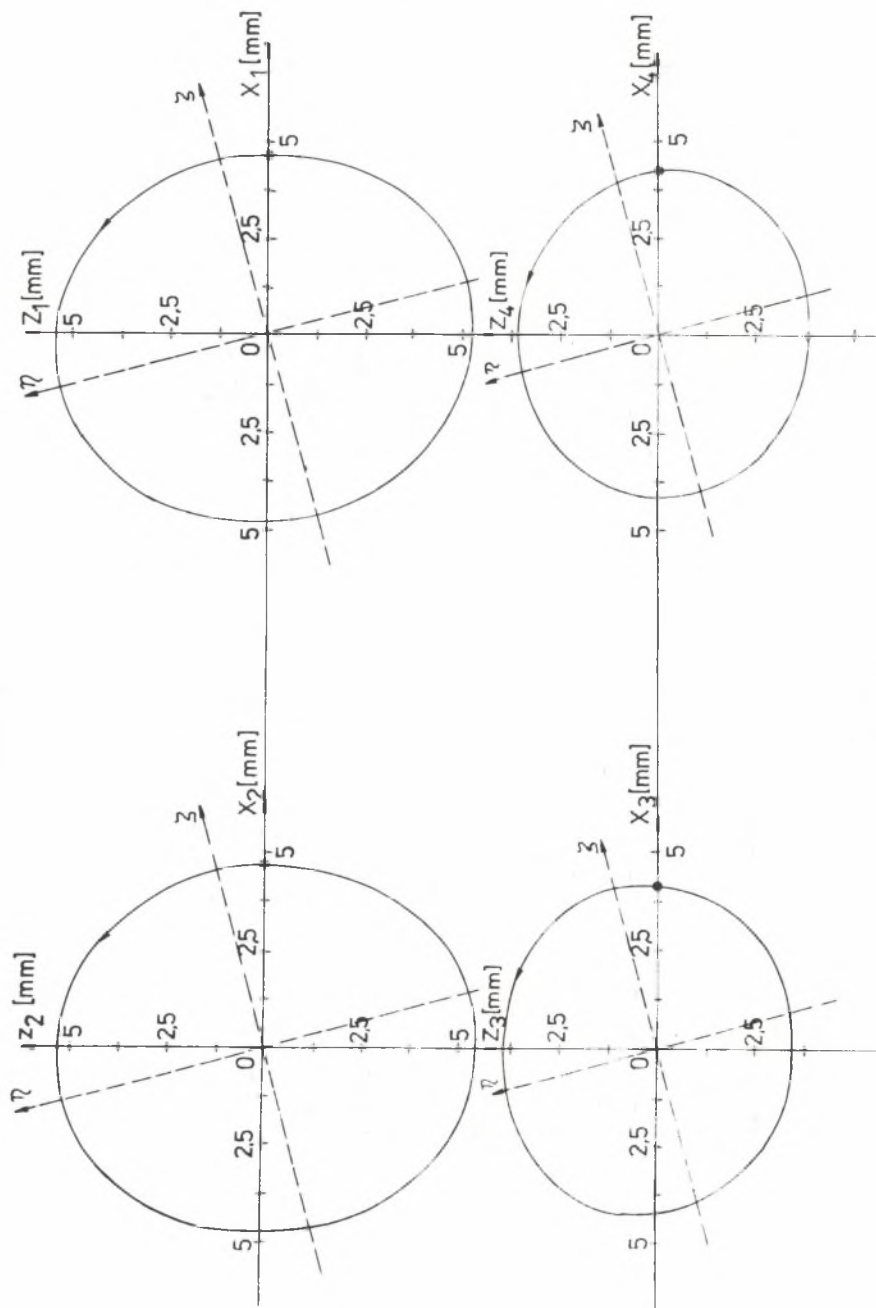
Rys. 15



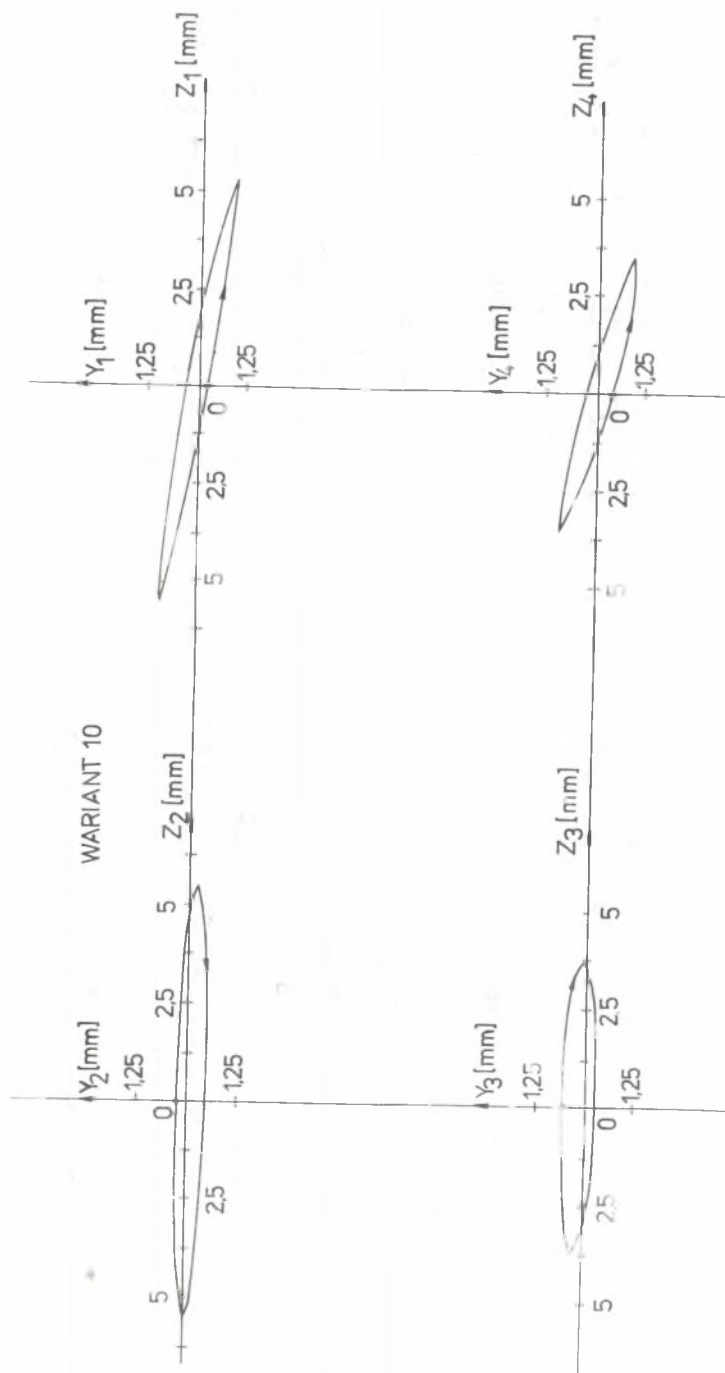
Rys. 16



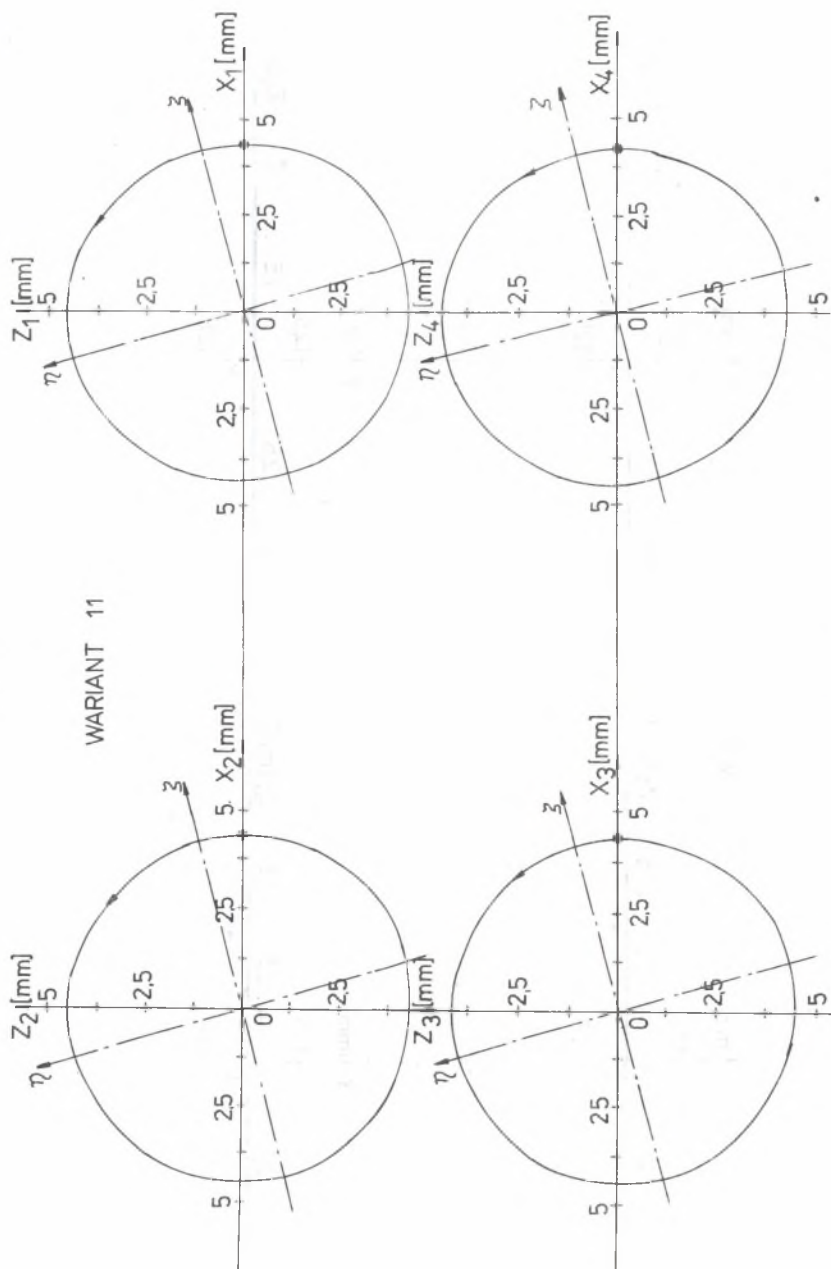
Rys. 17



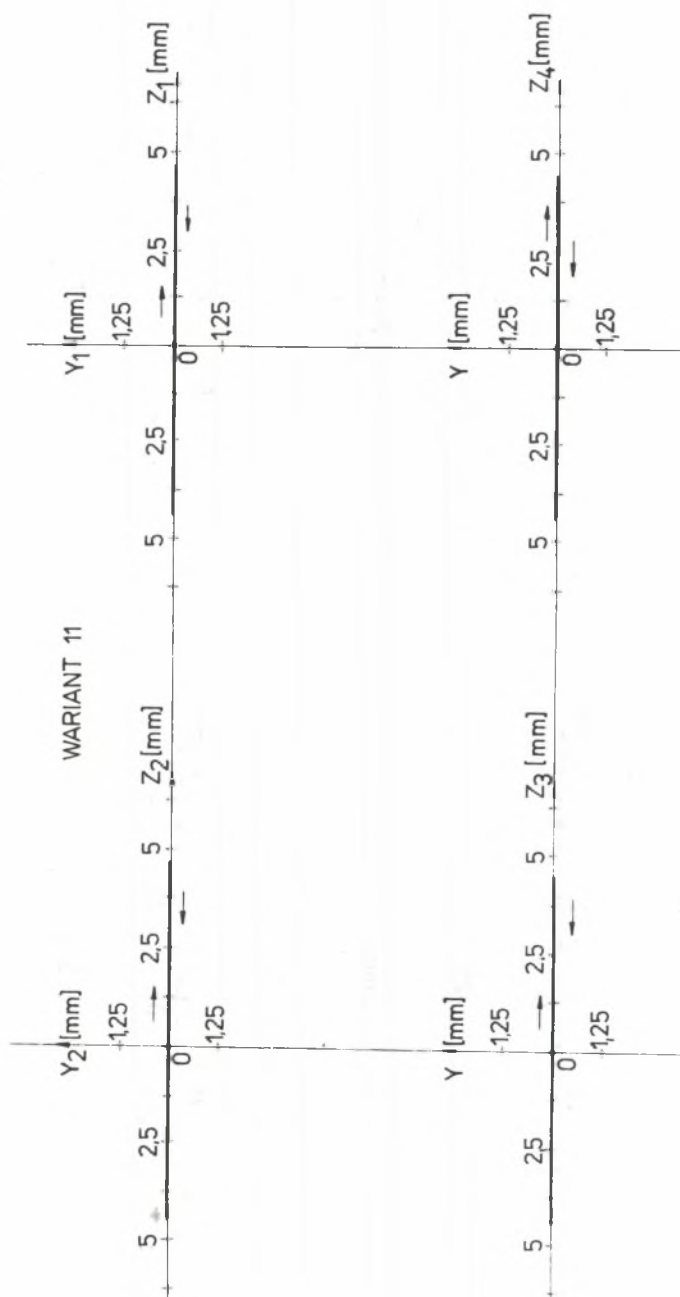
Rys. 18

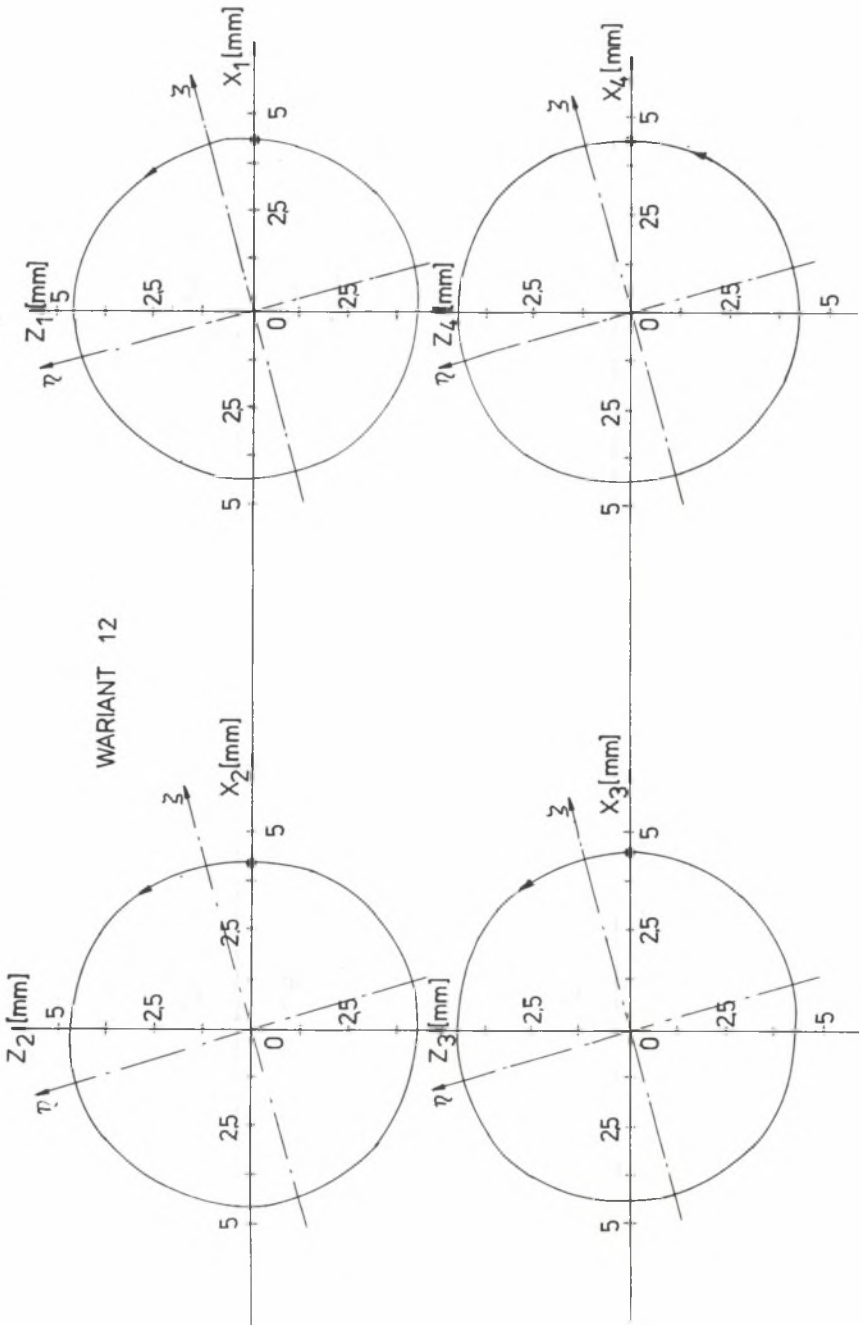


Rys. 19

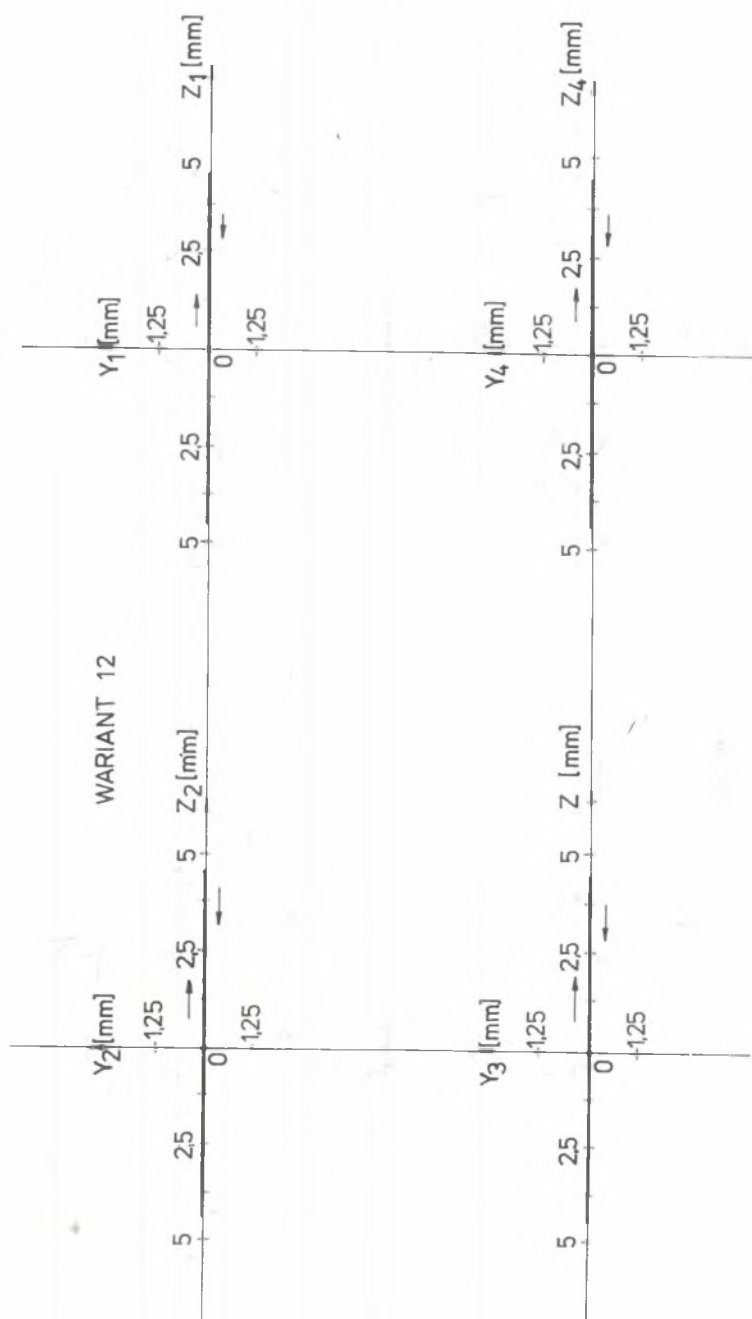


Rys. 20

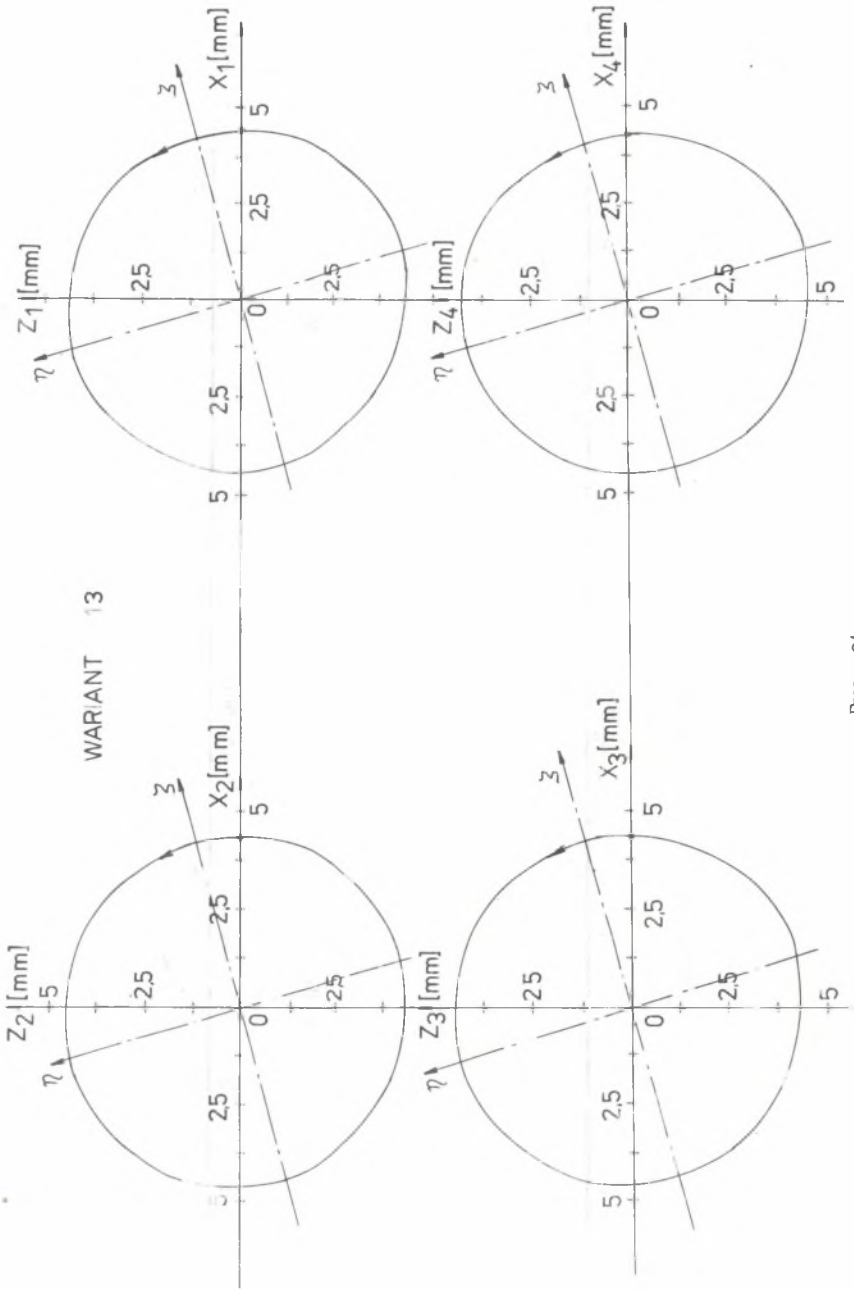




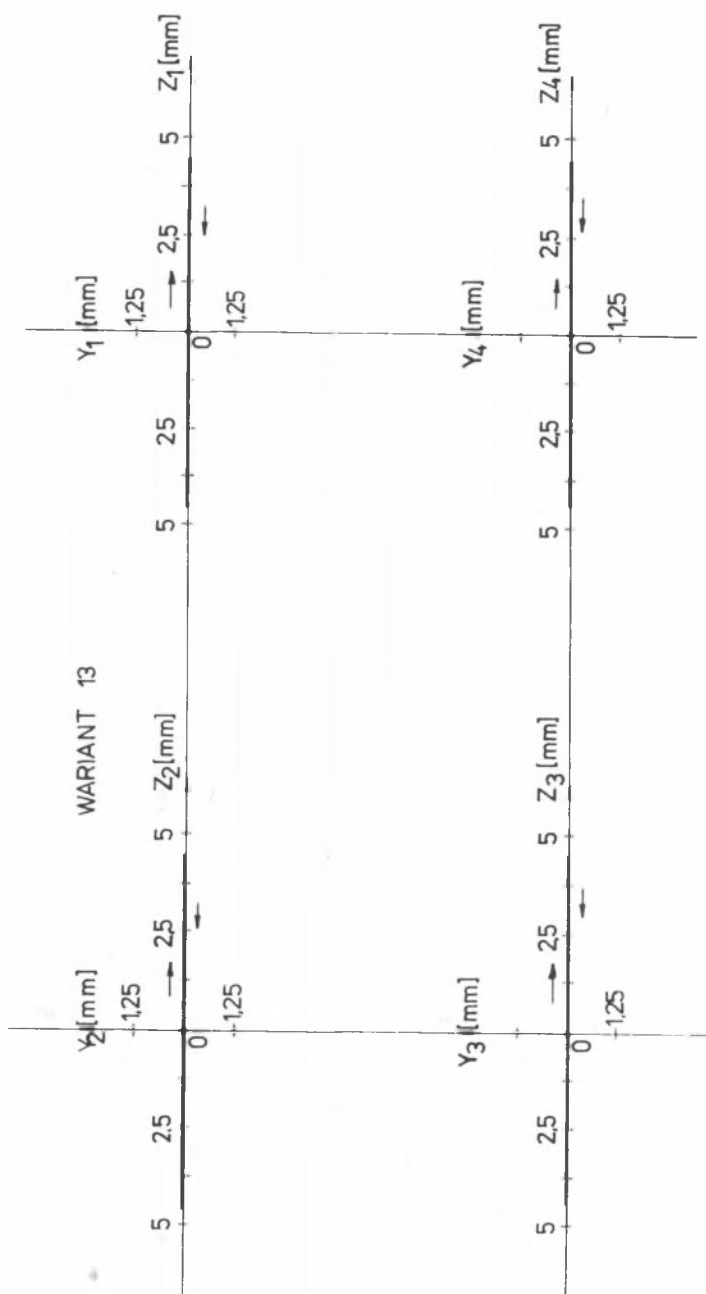
Rys. 22

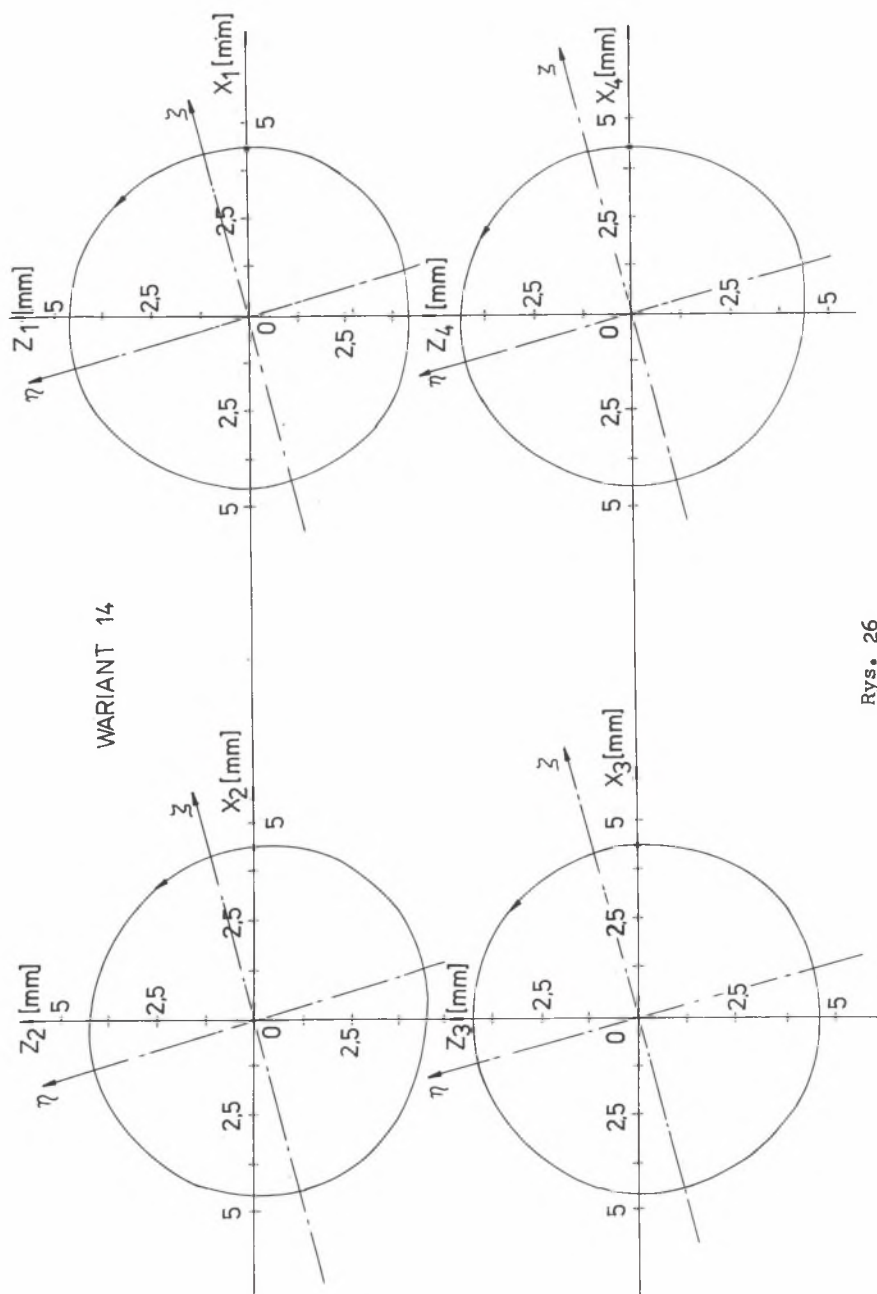


WARIANT 13

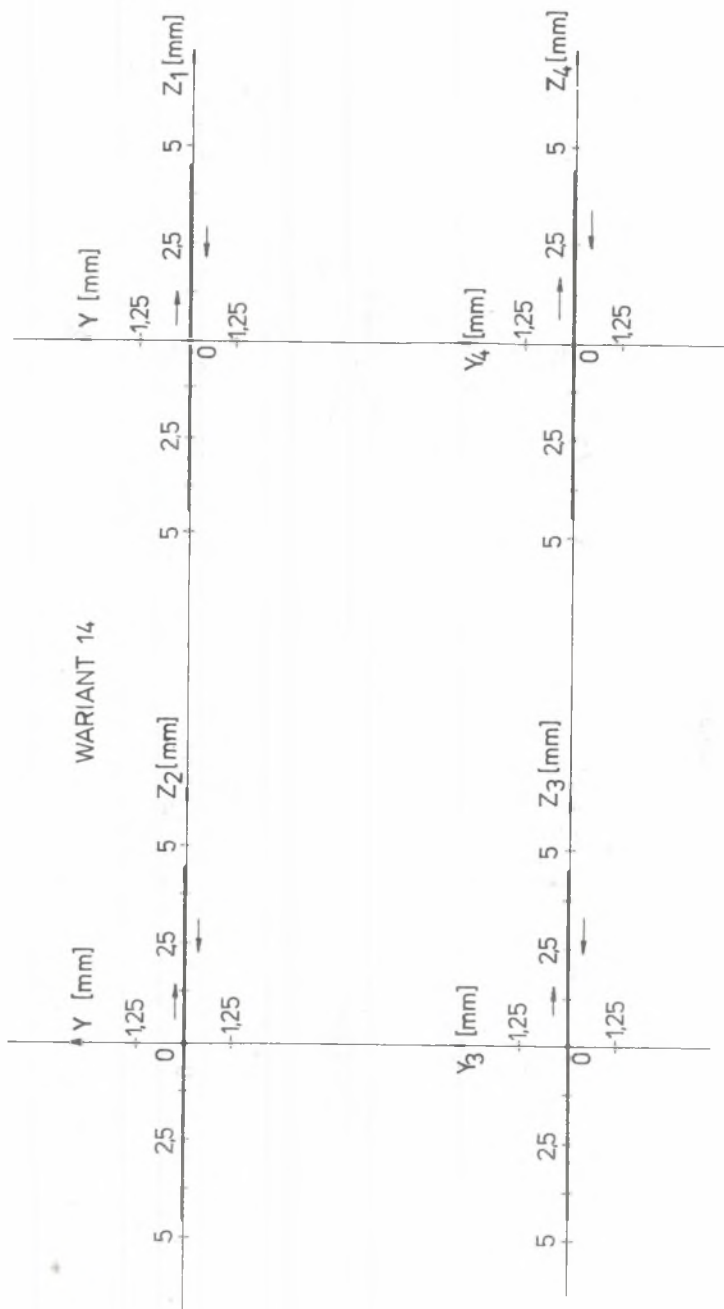


Rys. 24





Rys. 26



Rys. 27

Z przeprowadzonej analizy dynamicznej czternastu wariantów modelu przesiewacza WK-2 wynika generalnie, że jego drgania są szczególnie wrażliwe na dwa czynniki:

- niezgodność kąta przesunięcia fazowego sił działających na burty przesiewacza,
- niesymetryczne położenie środka masy.

Przyjęta 10-stopniowa niezgodność fazy wirowania wektora siły przyłożonej do lewej i prawej burty przesiewacza WK2 spowodowała zniekształcenie kołowych trajektorii przesiewacza i pojawienie się drgań bocznych.

Przesunięcie o 0,20 [m] środka masy rzeszota przesiewacza w kierunku podpór 1 i 4 lub 2 i 3 także zniekształca kołowe trajektorie "punktów pomiarowych" nie wywołując jednak drgań bocznych.

Największe drgania boczne uzyskano przesuwając środek masy przesiewacza w kierunku podpór 1 i 2 lub 3 i 4.

W tych przypadkach "punkty pomiarowe" rzeszota przesiewacza osiągały szkodliwe przemieszczenia boczne równe około 2 [mm], co stanowi 20% zasadniczych przemieszczeń roboczych w płaszczyźnie XZ.

Natomiast przeprowadzone obliczenia wskazują, że 30% różnice sztywności baterii sprężyn podporowych nie mają praktycznego wpływu na oczekiwany ruch rzeszota przesiewacza WK-2.

4. Uwagi końcowe

Przedstawiona w pracy metoda cyfrowo-analogowego badania dynamicznych modeli przesiewaczy węglowych charakteryzuje się następującymi cechami:

- 1) Jest metodą obliczeń charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowo-fazowych oraz parametrów trajektorii ruchu wybranych punktów przesiewacza.
- 2) Nie wymaga tworzenia klasycznych modeli matematycznych przesiewacza w postaci układów sprzężonych różniczkowych równań ruchu.
- 3) Operuje prostym do utworzenia sieciowym modelem przesiewacza w postaci grafu hybrydowego oraz jego macierzowym opisem.
- 4) Macierzowy opis grafu hybrydowego jest zarazem zasadniczym podzbiorem zbioru danych cyfrowych niezbędnych do obliczeń numerycznych.
- 5) Wprowadzenie zmian parametrów badanego układu odbywa się wprost na zbiorze danych cyfrowych, dzięki odpowiedniej ich organizacji przez graf hybrydowy, a przebadanie dużej liczby wariantów niesymetrii układu sprowadza się do wyperforowania wymiennych kart danych i wielokrotnego wczytania niezbędnej liczby zestawów właściwych zbiorów parametrów.
- 6) Dostarcza konstruktorowi algorytmu łatwego i szybkiego sprawdzania zachowania się układu już na etapie jego projektowania, a dzięki zastosowaniu elektronicznej maszyny analogowej umożliwia szybkie uzyskanie graficznych postaci trajektorii ruchu przesiewacza.

- 7) Umożliwia utworzenie dla każdego przesiewacza katalogu objawów jego niesymetrii, na podstawie którego podczas eksploatacji można korygować odchylenia rzeczywistych trajektorii rzeszota od najekonomiczniejszych trajektorii teoretycznych.

LITERATURA

- [1] Buchacz A., Świder J., Wojnarowski J.: Badanie drgających złożonych układów dynamicznych metodą grafów hybrydowych. Cz. I. Wielowariantowy model dynamiczny przesiewacza (w niniejszym zeszycie).

Wpłynęło do Redakcji 20.01.1986 r.

Recenzent: Doc. dr inż. Roman KLUS

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ПО МЕТОДУ ГИБРИДНЫХ ГРАФОВ

Часть II. РАСЧЁТЫ НА ЭВМ

Р е з ю м е

В первой части работы [1] получена в алгебраической форме динамическая модель просеивателя угля. Получены матрицы, описывающие гибридный граф систем - в зависимости от вариантных параметров модели - принимались в качестве цифровых данных для программы определяющей перемещения избранных точек решета просеивателя. Полученные результаты машинных расчётов, являлись множеством цифровых данных для определения графического вида траектории движения этих точек. При помощи электронной аналоговой машины М-48 получены и зарегистрированы траектории движения рассматриваемых точек системы в плоскостях X и Y . В результате проведённых исследований установлено каким образом форма несимметрии системы влияет на деформацию заложенной теоретической траектории точек решета. Представленный метод даёт возможность симуляции движения просеивателя на этапе его проектирования. Полученные результаты показывают каким образом исключать отклонения несимметрии траекторий точек решета просеивателей во время их эксплуатации.

Ключевые слова: Цифровые данные, машинные расчёты, аналоговая симуляция, несимметрия модели, несимметрия траекторий.

VIBRATORY SYSTEMS INVESTIGATION HYBRID GRAPHS METHOD

Part II. Numerical calculations

S u m m a r y

In the first part of the work multialternative dynamical model of coal screen has been constructed and expressed in algebraic way. The matrices describing the hybrid graph of the system are the sets of data for programs which assign displacements of different points of the screen riddle. Results of numerical calculations are the data for assignment of the graphic form of the movement trajectory for these points. The analog computer MA-48 has been used afterwards to generate and record trajectories of the movement for considered points in the XZ and YZ. In the result the influence of the asymmetry upon the distortion of the theoretic assumed trajectory of the points of the riddle is found. The presented method enables simulation of the screen movement in the design stage, theoretical investigation of existing screen systems. The results indicate how the deviations of asymmetry of riddle points trajectory may be eliminated during their exploitation.