

Grażyna OBER

Instytut Mechanizacji Górnictwa  
Politechniki Śląskiej

## RÓWNANIA TORÓW PUNKTÓW PROWADZENIA DWULEMNISKATOWEGO OBUDÓW ZMECHANIZOWANYCH Z UWZGLĘDNIENIEM LUZÓW W PARACH KINEMATYCZNYCH

**Streszczenie.** Na podstawie ustalonych równań ruchu wyznaczono numerycznie tory dwulemniskatowego prowadzenia obudów zmechanizowanych z uwzględnieniem losowego rozmieszczenia luzów w parach kinematycznych. Przyjęte modele matematyczne i metody ich rozwiązywania są opracowane w aspekcie zastosowania do opisu dowolnych płaskich mechanizmów.

## EQUATIONS FOR TRAJECTORIES OF POINTS OF A DOUBLE LEMNISCATE GUIDANCE OF POWERED ROOF SUPPORTS WITH REGARD TO PLAYS IN KINEMATIC PAIRS

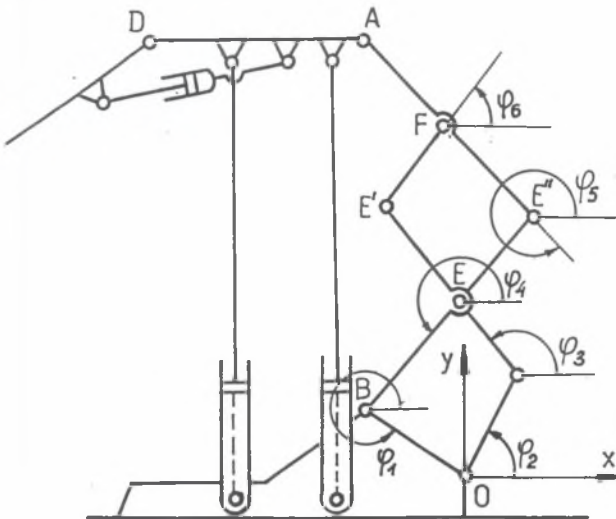
**Summary.** On the ground of established equations of motion the trajectories of a double lemniscate guidance of opowered roof supports have been determined numerically when taking into account the random distribution of plays in kinematic pairs. The assumed mathematical models and method for solving them have been elaborated with a view to apply them in order to describe any flat mechanism.

**Zusammenfassung.** Mit Hilfe von Bewegungsgleichungen wurden numerisch die Bahnen für eine zwei Lemniskaten Gelenkkappe unter der Annahme der Zufallsverteilung der Lockerung in den Gelenken berechnet. Die aufgeführten Modelle und Methoden sind für Anwendung bei der Berechnung von beliebige flachen Gelenkengebilde aufgestellt worden.

## 1. WPROWADZENIE

W procesie projektowania ścianowych obudów zmechanizowanych spośród wielu czynników, w różnym stopniu decydujących o ich cechach eksploatacyjnych, należy wyróżnić czynnik konstrukcyjny. Teoretyczne i doświadczalne prace z tego zakresu zmierzają przeważnie do udoskonalenia istniejących rozwiązań przez modyfikację cech geometrycznych elementów lub całych zespołów, tak aby w warunkach wzrastających wymagań w odniesieniu do bezpieczeństwa i sprawności eksploatacyjnej spełniły zadowalająco swoje zadania [1, 2].

Jako obiekt analizy wyników doboru cech konstrukcyjnych, optymalnego ze względu na określone kryteria, w pracy przyjęto zmodyfikowany mechanizm prowadzenia ścianowych obudów "Dowty-4 Leg 1000 Tonne Thick Seam Chock Shield" (Dowty Mining Equipment Limited). Rozważany obiekt zamodelowano w postaci płaskiego mechanizmu z obrotowymi bądź przesuwными parami kinematycznymi. Modyfikacja w ujęciu modelowym polega na zastąpieniu uprzednio stosowanego czworoboku przegubowego OC(E-E')B [2] układem przegubowym OCE'FE''B (rys. 1.1) złożonym z sześciu prętów odpowiednio sprzężonych z pierwotnym czworobokiem przegubowym.



Rys. 1.1. Schemat obudowy zmechanizowanej z układem dwulemniskatowym i czterema dwurzędowymi stojakami pod stropnicą ("Dowty" Mining Equipment Limited)

Fig. 1.1. Diagram of the powered roof support with a double lemniscate system and four legs arranged in two rows under a canopy ("Dowty" Mining Equipment Limited)

W pierwotnym układzie punkt E' jako punkt A był punktem osłony podpierającej zawał CE' i determinował ruch postępowy stropnicy poruszając się zgodnie z prawem ruchu czworoboku przegubowego po lemniskatowym torze [2, 3]. W zmodyfikowanym układzie punkt A osłony E'A również determinuje ruch postępowy stropnicy AD, lecz porusza się po "dwulemniskatowym" torze jako szczególnego przypadku owalu Cassiniego. Ruch punktu A po takim torze zapewnia krótsze ruchy transportowe w porównaniu z obecnie stosowanymi układami [2, 3], co z kolei wiąże się z możliwością łatwiejszego sterowania układem.

## 2. CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy jest:

- ocena stopnia przybliżenia prostoliniowego toru punktu A przez rzeczywisty tor dwulemniskatowy,
- analiza wpływu luzów wykonawczych w obrotowych parach kinematycznych i luzów powstałych na skutek zużycia na tory dwulemniskatowe punktu A oraz
- porównanie uzyskanych wyników z analogicznymi wynikami przedstawionymi w pracy [2] dla lemniskatowych obudów zmechanizowanych.

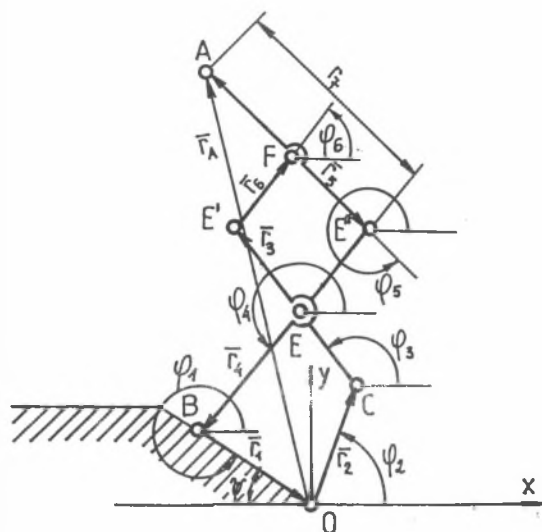
Niektóre oznaczenia stosowane w tekście i na rysunkach przyjęto zgodnie z opracowaniem [2]. Umożliwiono w ten sposób częściowe wykorzystanie istniejących równań ruchu niektórych punktów lemniskatowych obudów zmechanizowanych do nowego opracowania ogólnych równań ruchu dwulemniskatowego obudów.

## 3. RÓWNANIA PARAMETRYCZNE DWULEMNISKATOWEGO TORU PUNKTU A

Na podstawie schematu kinematycznego prowadzenia dwulemniskatowego obudów zmechanizowanych, przedstawionego na rysunku 3.1, parametryczna postać równania ruchu tego kinematycznie zmiennego układu prętowego w formie wektorowej przyjmie postać:

$$\sum_{i=1}^6 \bar{r}_i [\varphi_i(t)] = 0 \quad (3.1)$$

gdzie:  $|\bar{r}_i| = \text{const}$ , długości poszczególnych ogniw zmodyfikowanego czworoboku przegubowego OCE'FE'B.



Rys. 3.1. Model płaskiego mechanizmu obudowy zmechanizowanej z układem dwulemniskatowym

Fig. 3.1. Model of a flat mechanism of the powered roof support with a double lemniscate system

Przechodząc do skalarowej postaci równania (3.1) w układzie współrzędnych Oxy (rys. 3.1), uzyskuje się układ równań:

$$\sum_{i=1}^6 r_i \cos \varphi_i = 0 \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^6 r_i \sin \varphi_i = 0$$

W równaniach tych  $\varphi_1 = \text{const}$  i jest znane, natomiast  $\varphi_2$  - jest zmienną niezależną.

Korzystając z rozwiązań równań dla czworoboku przegubowego OCEB (rys. 3.1) lemniskatowego prowadzenia obudów [2], otrzymuje się zależność na  $\varphi_3$  i  $\varphi_4$  w postaci:

$$\cos\varphi_4 = A_1 - a_3 \cos\varphi_3 \quad (3.3)$$

$$\sin(\varphi_3 + \varphi_{03}) = a \quad (3.4)$$

gdzie:

$$\sin\varphi_{03} = \frac{A_1}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2}}; \quad \cos\varphi_{03} = \frac{A_2}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2}}$$

$$A_1 = - \left( \frac{r_1}{r_4} \cos\varphi_1 + \frac{r_2}{r_4} \cos\varphi_2 \right) \quad (3.5)$$

$$A_2 = - \left( \frac{r_1}{r_4} \sin\varphi_1 + \frac{r_2}{r_4} \sin\varphi_2 \right)$$

$$a = \frac{r'_3}{r'_4}; \quad r'_3 = r_3 - EE'; \quad r'_4 = r_4 - E''E \quad (\text{rys. 3.1})$$

$$a = \frac{A_1^2 + A_2^2 + a_3^2 - 1}{2a_3 \sqrt{A_1^2 + A_2^2}}$$

$a_3, A_1, A_2$  - wynikają z geometrii zmodyfikowanego mechanizmu sekcji (rys. 3.1).

Z równań (3.4) i (3.5) uzyskuje się kąt  $\varphi_3$  w funkcji kąta  $\varphi_2$ , a z równań (3.3) i (3.5) kąt  $\varphi_4$  (tabl. 1).

Znając kąty  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  i  $\varphi_4$  z równań (3.2), można określić pozostałe szukane kąty  $\varphi_5$  i  $\varphi_6$ . Dzieląc w tym celu stronami równania (3.2) przez  $r_6$  otrzymamy postać:

$$a_4 \cos\varphi_5 + \cos\varphi_6 = A_3 \quad (3.6)$$

$$a_4 \sin\varphi_5 + \sin\varphi_6 = A_4$$

gdzie:

$$a_4 = \frac{r_5}{r_6}$$

$$A_3 = - \left( \frac{r_1}{r_6} \cos\varphi_1 + \frac{r_2}{r_6} \cos\varphi_2 + \frac{r_3}{r_6} \cos\varphi_3 + \frac{r_4}{r_6} \cos\varphi_4 \right) \quad (3.7)$$

$$A_4 = - \left( \frac{r_1}{r_6} \sin\varphi_1 + \frac{r_2}{r_6} \sin\varphi_2 + \frac{r_3}{r_6} \sin\varphi_3 + \frac{r_4}{r_6} \sin\varphi_4 \right) \quad (3.7)$$

Współczynniki  $a_4$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  są znane, gdyż analogicznie jak w równaniach (3.5) wynikają z geometrii dwulemniaskatowego układu kinematycznego.

Z równań (3.60) uzyskuje się zależność:

$$\cos\varphi_6 = A_3 - a_4 \cos\varphi_5 \quad (3.8)$$

$$\sin\varphi_6 = A_4 - a_4 \sin\varphi_5$$

Po odpowiednim przekształceniu równań (3.8) otrzymuje się zależność:

$$\sin(\varphi_5 + \varphi_{05}) = a_1 \quad (3.9)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} \sin\varphi_{05} &= \frac{A_3}{\sqrt{A_3^2 + A_4^2}} ; & \cos\varphi_{05} &= \frac{A_4}{\sqrt{A_3^2 + A_4^2}} \\ \text{tg}\varphi_{05} &= \frac{A_3}{A_4} ; & a_1 &= \frac{A_3^2 + A_4^2 + a_4^2 - 1}{2a_4\sqrt{A_3^2 + A_4^2}} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Wzory (3.9) i (3.10) pozwalają na wyznaczenie kąta  $\varphi_5$  (tabl. 1) w funkcji kąta  $\varphi_2$ . Kąt  $\varphi_6$  (tabl. 1) określają wzory (3.8).

Dwulemniaskatowy tor punktu A określa wektor promień  $\vec{r}_A$  (rys. 3.1) zgodnie z równaniem:

$$\vec{r}_A = \vec{r}_2 + \vec{r}_3 + \vec{r}_6 + \vec{r}_5 + \vec{r}_7 \quad (3.11)$$

Skalarowa postać tego równania w układzie Oxy przedstawia parametryczne równanie toru dwulemniaskaty punktu A z parametrem  $\varphi_2$  w postaci:

$$x_A = r_2 \cos\varphi_2 + r_3 \cos\varphi_3 + r_6 \cos\varphi_6 + r_5 \cos\varphi_5 + r_7 \cos\varphi_7 \quad (3.12)$$

$$y_A = r_2 \sin\varphi_2 + r_3 \sin\varphi_3 + r_6 \sin\varphi_6 + r_5 \sin\varphi_5 + r_7 \sin\varphi_7$$

gdzie:

$$\varphi_7 = \varphi_5 - \Pi$$

#### 4. DWULEMNISKATOWY TOR PUNKTU A DLA OBUDOWY "DOWTY - 4 LEG 1000 TONNE THICK SEAM CHOCK SHIELD"

Na podstawie danych zawartych w prospekcie firmy Dowty Mining Equipment Limited dla zmodyfikowanego mechanizmu sterującego rozważaną obudową przyjęto następujące dane (rys. 3.1):

$$r_1 = 1,700 \text{ [m]}, \quad r_2 = 1,450 \text{ [m]}, \quad r_3 = 2,500 \text{ [m]}, \quad E' = 1.380 \text{ [m]},$$

$$r'_3 = r_3 - EE' = 1,120 \text{ [m]}, \quad r_4 = 3,100 \text{ [m]}, \quad E''E = 1,240 \text{ [m]},$$

$$R'_4 = r_4 = E''E = 1,860 \text{ [m]}, \quad r_5 = 1,240 \text{ [m]}, \quad r_6 = 1,380 \text{ [m]},$$

$$r_7 = 2,650 \text{ [m]}, \quad \psi = 31^\circ 50', \quad \varphi_1 = 360^\circ - \psi = 328^\circ 10'.$$

Z geometrii zmodyfikowanego czworoboku przegubowego wynikają ograniczenia kąta  $\varphi_2$ . Wartości graniczne kątów  $\varphi_{2gr}$  wyznaczono analitycznie z trójkątów  $OE_1B$  oraz  $OC_{II}B$  (rys. 4.1), uzyskując  $\varphi'_{2gr} = 101^\circ 20'$ ,  $\varphi''_{2gr} = 8^\circ 30'$ .

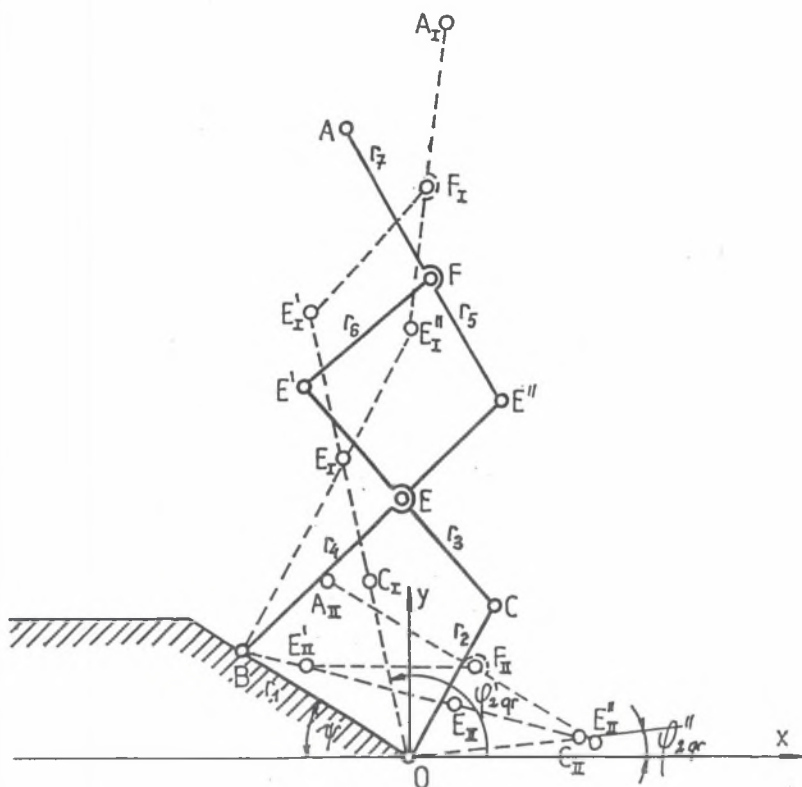
Kątom  $\varphi'_{2gr}$  i  $\varphi''_{2gr}$  odpowiadają  $H_{min} = 0,8616 \text{ [m]}$ ,  $H'_{max} = 6,2288 \text{ [m]}$ , wysokości sekcji obudowy. Największą wysokość  $H_{max} = 6,2672 \text{ [m]}$  obudowa osiąga przy kącie  $\varphi_2 = 100^\circ$ .

Wartości kątów granicznych, jak i granicznych wysokości sekcji obudowy określono dla zamodelowanego zmodyfikowanego czworoboku przegubowego. W rzeczywistości geometria poszczególnych ogniów wynikająca z kryteriów sztywności i wytrzymałości oraz z warunków bezpieczeństwa, jak i warunków eksploatacyjnych są tego rodzaju, iż wyznaczone ekstremalne wartości  $\varphi_2$  dla modelu znacznie odbiegają od rzeczywistych.

Z tych względów dane firmowe ograniczają ekstremalne wysokości do wartości  $H''_{min} = 2,3 \text{ [m]}$  oraz  $H''_{max} = 6,0 \text{ [m]}$ , co odpowiada przedziałowi zmienności kąta  $\varphi_2$  określonej nierównością  $19^\circ 30' \leq \varphi_2 \leq 85^\circ 30'$ .

Wysokość  $H''_{max}$  odnosi się jednak do górnej powierzchni stropnicy.

Zgodnie z prospektem temu położeniu stropnicy odpowiada w zamodelowanym mechanizmie maksymalna wysokość punkty A stropnicy  $H_2 = 5,789 \text{ [m]}$  (rys. 1.1, 4.2).



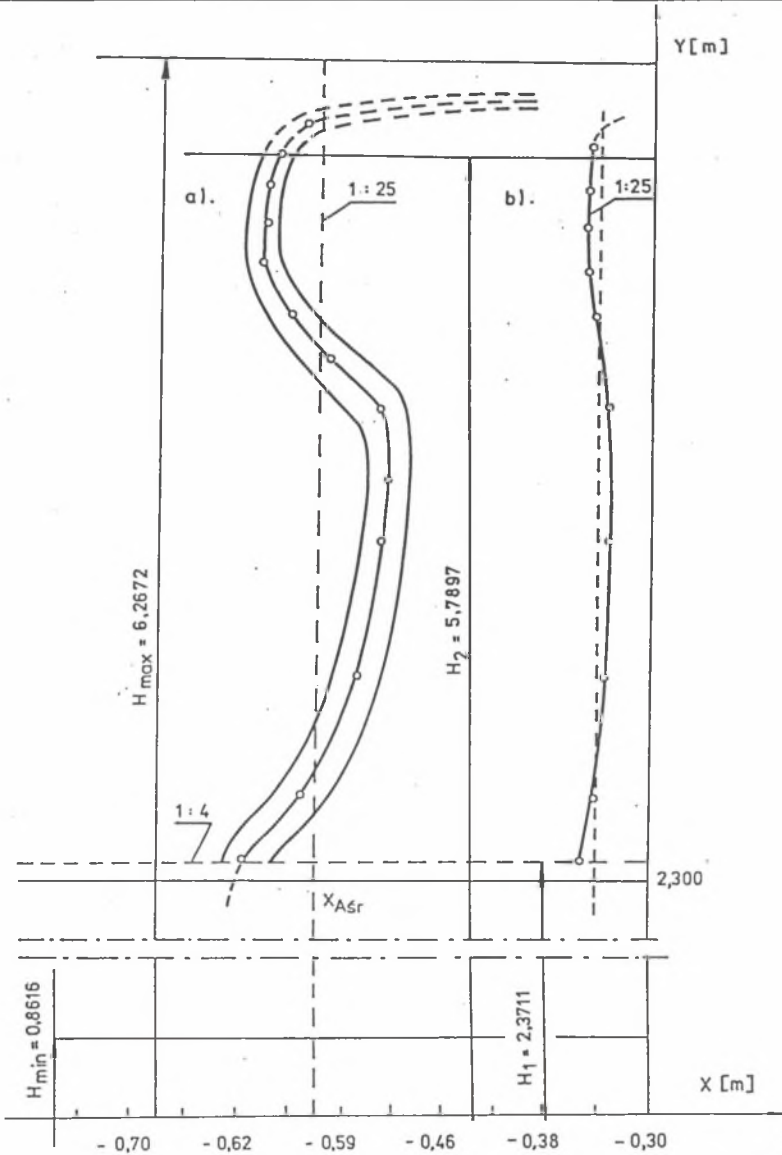
Rys. 4.1. Skrajne położenie mechanizmu kinematycznego obudowy zmechanizowanej z układem dwulemniskatowym

Fig. 4.1. Extreme position of the kinematic mechanism of the powered roof support with a double lemniscate system

Na podstawie opisanych przesłanek w pracy przyjęto, że dla zamodelowanego mechanizmu zalecane do stosowania w czasie eksploatacji ekstremalne wysokości wynoszą:  $H_1 = 2,3711$  [m],  $H_2 = 5,7897$  [m]. Odpowiada to przedziałowi zmienności kąta  $\varphi_2$  określonego z dostatecznym przybliżeniem nierównością  $20^\circ \leq \varphi_2 \leq 80^\circ$ .

Na podstawie równań (3.12) wyznaczono dwulemniskatowy tor punktu A, którego fragment dla przedziału wysokości  $H_1 \leq H \leq H_2$  przedstawia rysunek 4.2. Współrzędne niektórych położenia punktu A zestawiono w tabelicy 4.1.





Rys. 4.2. Dwulemniskatowy tor punktu stropnicy z prowadzeniem dwulemniskatowym

a - skala w kierunku poziomym 1:4, pionowym 1:25, b - skala w kierunku poziomym i pionowym 1:25

Fig. 4.2. A double lemniscate trajectory of the point of a canopy with a double lemniscate guidance

a - scale in the horizontal direction 1:4, in the vertical direction 1:25  
b - scale in the horizontal and vertical direction 1:25

Tablica 4.1

Współrzędne punktu A stropnicy o prowadzeniu dwulemnikatowym dla niektórych położań ( $\varphi_i$ ) poszczególnych ogniów układu kinematycznego sterującego ruchem stropnicy

$\varphi_2$ [°]	$\varphi_3$ [°]	$\varphi_4$ [°]	$\varphi_6$ [°]	$\varphi_6$ [°]	$x_{A_i}$ [°]	$y_{A_i}$ [°]
8°30'	165,167	165,167	345,167	45,167	-1,0117	0,8616
20	150,000	184,500	328,500	57,167	-0,6133	2,3711
30	144,633	194,250	321,500	9,667	-0,5269	3,2745
40	140,633	203,583	317,233	19,667	-0,5106	3,9299
45	138,250	207,585	313,033	21,200	-0,5041	4,2099
50	136,167	211,667	309,583	26,867	-0,4994	4,5664
55	134,000	215,667	308,883	30,267	-0,5560	4,7684
60	131,333	219,167	305,183	32,750	-0,5680	5,0207
65	129,333	223,000	302,850	36,217	-0,6107	5,2375
70	126,667	226,500	299,633	39,267	-0,6008	5,4500
75	124,000	229,667	296,000	41,467	-0,5985	5,6417
80	122,500	232,000	289,683	42,167	-0,5936	5,7897
85	118,167	233,250	280,500	42,833	-0,2992	5,9733
101°20'	101,333	239,667	262,500	44,000	0,3967	6,2288

Dla poszczególnych wartości rzędnych  $y_{iA}$  w przedziale  $H_1 \leq H \leq H_2$ , obliczono średnie poziome odchylenie  $x_{A\bar{S}r}$  punktu A od osi y, średnie odchylenie standardowe wartości średniej  $\delta_p$  oraz przedział wartości zmiennej  $x_A$ , które wynoszą:

$$x_{A\bar{S}r} = -0,5622 \text{ [m]} \quad \delta_p = 12,8684 * 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$-0,4994 \text{ [m]} \geq x_A \geq -0,6133 \text{ [m]}$$

Wielkość  $\delta_p$  umożliwia ocenę, w jakim stopniu dany odcinek dwulemniaskaty przybliży odcinek pionowy. Wyliczona wartość  $\delta_p$  dla toru dwulemniaskatowego jest dwa razy większa od  $\delta_p$  dla toru lemniaskatowego [2] w przedziałach stosowanych w czasie eksploatacji wysokości  $H_1 \leq H \leq H_2$  obu obudów zmechanizowanych.

Można zatem szacunkowo przyjąć, że stopień przybliżenia odcinka toru dwulemniaskatowego do odcinka pionowego jest dwukrotnie mniejszy niż odcinka toru lemniaskatowego. Oznaczałoby to, że w zmodyfikowanym, ilościowo zwiększonym, układzie prętów poszczególne położenia punktu A, jako elementy obserwowanej zbiorowości, są mniej skupione wokół wartości średniej w porównaniu z układem lemniaskatowym.

Należy jednak zaznaczyć, że wyliczone parametry statystyczne nie stanowią jedynego kryterium oceny rozważanego mechanizmu dwulemniaskatowego z uwagi na nieuwzględnienie wszystkich czynników decydujących o parametrach geometrycznych toru. Długość toru dwulemniaskatowego jest prawie dwukrotnie większa od odcinka toru lemniaskatowego w przedziałach stosowanych w czasie eksploatacji wysokości  $H_1 \leq H \leq H_2$  obu obudów.

Z tych względów przy porównywaniu jakichkolwiek parametrów eksploatacyjnych rozważanych obudów należałoby wprowadzić ich względne miary (kryteria).

Przykładowo - wartości  $\delta_p$  dla obu układów można by odnosić do długości rozważanych odcinków toru, od których uzależniona jest wartość  $\delta_p$ . Względna miara  $\delta_p$  wynosi:  
dla toru lemniaskatowego

$$\alpha_1 = \frac{\delta_{p1}}{(H_2 - H_1)_1} = 3,5375 \cdot 10^{-3}$$

a dla toru dwulemniaskatowego

$$\alpha_2 = \frac{\delta_{p2}}{(H_2 - H_1)_2} = 3,7642 \cdot 10^{-3}$$

Względne miary stopnia przybliżenia odcinków obu torów do odcinka pionowego są zatem zbliżone.

Z obliczeń statystycznych wynika, że odchylenia zmiennej  $x_A$  od wartości  $x_{A\text{śr}}$  są małe w porównaniu z długością toru wzdłuż osi y, w przyjętym przedziale wysokości sekcji H. Z tych względów na rysunku 4.2a przyjęto dla osi poziomej skalę 1:4, a dla osi pionowej 1:25. Taka duża niejednorodność

skal spowodowała na rysunku 4.2a silną deformację dwulemniaskatowego toru (spłaszczenie). Na rysunku 4.2b przedstawiono niezdeformowany dwulemniaskatowy tor w jednorodnej skali 1:25 dla obu osi w przedziale wysokości eksploatacyjnych  $H_1 \leq H \leq H_2$ . Uwidacznia się duże zbliżenie toru dwulemniaskatowego do prostej pionowej.

Po uwzględnieniu występowania luzów wykonawczych i zużyciowych w parach kinematycznych poszczególne ogniwa łańcucha kinematycznego  $r_1, r_2, \dots, r_7$  ulegną zmianie co do modułu i kierunku według zależności:

$$\bar{r}'_j = \bar{r}_j \pm \bar{\delta}_j, \quad j = 1, 2, \dots, 7 \quad (4.1)$$

gdzie:

$\bar{\delta}_j$  - wektory luzów" w danej parze obrotowej uwarunkowane wymogami konstrukcyjnymi, technologicznymi i zużyciem.

Przyjmując różne warianty występowania luzów, w poszczególnych parach obrotowych i odpowiadające im moduły oraz kierunki promieni według wzoru (4.1), można uzyskać rodzinę krzywych dwulemniaskatowych, stanowiących tzw. "pasma dwulemniaskatowe".

Upraszczając szczegółową złożoną analizę luzów i sprowadzając ją do zadania jak w pracy [2], na rysunku 4.2 przedstawiono pasmo dwulemniaskatowe torów punktu A stropnicy mechanizmu prowadzenia ścianowych obudów "Dowty Mining Equipment Limited" w przedziale wysokości  $H_1 \leq H \leq H_2$ , wyznaczone dla 30 możliwości wynikających ze wzoru (4.1), przy przyjęciu stałych wartości luzów  $\delta = 0, + 2$  [mm],  $- 2$  [mm].

Obliczone analogiczne parametry statystyczne jak dla modelu kinematycznego badanego obiektu bez luzów, po uwzględnieniu kombinacji przyjętych wartości luzów wynoszą:

$$x_{A\delta r} = - 0,5661 \text{ [m]} \quad \delta_p = 14,1787 \cdot 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$0,6269 \geq x_A \geq 0,4873 \text{ [m]}$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że wpływ luzów w parach obrotowych obudowy na odchyłki od dwulemniaskatowego toru bez luzów ( $\delta = 0$ ), jak i od wartości  $x_{A\delta r}$  w odniesieniu do długości toru są nieznaczne i można je było przedstawić wykreślnie dzięki poprzednio zastosowanej mniejszej skali dla osi

x (1:4) w porównaniu ze skalą dla osi y (1:25). Spowodowało to jednak dużą deformację (spłaszczenie) pasma dwulemniskatowego rysunku 4.2a.

Przechodząc do porównania charakterystyk statystycznych toru lemniskatowego i dwulemniskatowego, z omówionych uprzednio przyczyn przy  $\delta = 0$ , wprowadza się analogiczne względne miary (kryteria) dla  $i = 1, 2$ , odchyłek toru lemniskatowego i dwulemniskatowego od odcinka pionowego przy  $\delta = \pm 2$  mm, które wynoszą:

$$\alpha'_1 = \frac{\delta'_{p1}}{(H_2 - H_1)_1} = 3,6326 \cdot 10^{-3}, \quad \alpha'_2 = \frac{\delta'_{p2}}{(H_2 - H_1)_2} = 4,1475 \cdot 10^{-3}$$

Względne odchyłki  $\alpha'_1$  w porównaniu z  $\alpha_1$  wzrosły o 2,7% dla toru lemniskatowego i o 10,2% dla toru dwulemniskatowego, natomiast  $\alpha'_2$  względem wartości  $\alpha'_1$  wzrosło o 14,2%. Wzrost względnych odchyłek dla toru dwulemniskatowego w odniesieniu do toru lemniskatowego wynika przede wszystkim z większej ilości obrotowych par kinematycznych w mechanizmie dwulemniskatowym.

Za miarę wpływu luzów na zwiększenie rozrzutu wokół wartości średniej dla toru dwulemniskatowego w stosunku do toru lemniskatowego można przyjąć iloraz względnych różnic  $\delta'_{pi}$  i  $\delta_{pi}$  w postaci:

$$\lambda = \frac{(H_2 - H_1)_1}{(H_2 - H_1)_2} \frac{\delta'_{p2} - \delta_{p2}}{\delta'_{p1} - \delta_{p1}} \quad (4.2)$$

Wartość liczbowa tego kryterium wynosi  $\lambda = 4,0325$  (iloraz bezwzględnych różnic  $\delta'_{pi}$  i  $\delta_{pi}$  wynosi 7,6599).

Czterokrotnie większy wpływ na względne odchyłki od wartości średniej toru dwulemniskatowego w stosunku do lemniskatowego (równ. (4.2)) wynika między innymi, jak już wspomniano, z większej ilości obrotowych par kinematycznych z luzami wykonawczymi i zużyciowymi, których w mechanizmach dwulemniskatowych jest 9, a w lemniskatowych 5, oraz krótszych ruchów transportowych (poziomych), co zwiększa procentowy błąd względny dla poszczególnych zmiennych  $x_{1i}$ .

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone w pracy obliczenia dostosowane są do obliczeń współrzędnych toru prowadzenia dwulemniśkatowego obudów zmechanizowanych, przy tak dobranych wymiarach konstrukcji sterującej ruchem stropnicy z dodatkowymi ogniwami, aby tory jej dowolnego punktu (np. A) były częścią owalu Cassiniego dla szczególnego przypadku, a mianowicie gdy owal ten składa się z dwóch oddzielnych krzywych zamkniętych wokół ognisk.

Bezwzględna wartość średnia odchylenia standardowego od wartości średniej ( $\delta_p$ ) od osi  $y$  (rys, 4,1) dla toru dwulemniśkatowego jest prawie dwa razy większa od  $\delta_p$  określonego dla toru lemniśkatowego w przedziale stosowanych wysokości  $H$  [2]. Oznacza to, że elementy obserwowanej zbiorowości ( $x_{iA}$ ) są mniej skupione wokół wartości średniej ( $x_{A\bar{sr}}$ ) dla toru dwulemniśkatowego niż dla toru lemniśkatowego, czyli większe jest odchylenie toru dwulemniśkatowego od linii prostej pionowej w porównaniu z torem lemniśkatowym w badanym zakresie wysokości  $H_1 \leq H \leq H_2$ .

W pracy uzasadnia się, że bezwzględne wartości  $\delta_p$  dla toru dwulemniśkatowego nie mogą stanowić pełnej miary średniego odchylenia standardowego od wartości średniej ( $x_{A\bar{sr}}$ ) przy porównywaniu z analogiczną wielkością dla toru lemniśkatowego. W związku z tym wprowadza się pojęcie względnych miar wartości parametrów statystycznych, tzw. kryteriów, odnosząc je do długości odcinków toru lemniśkatowego i dwulemniśkatowego w przedziałach stosowanych wysokości w czasie eksploatacji obu obudów.

Obliczone parametry statystyczne dla obudów o dwulemniśkatowym torze stropnicy w przedziale stosowanych w czasie eksploatacji wysokości, z uwzględnieniem luzów w parach kinematycznych obrotowych, wykazują większy wpływ na odchyłki od wartości średniej  $x_{A\bar{sr}}$  w porównaniu z obudowami o lemniśkatowym torze stropnicy. Wynika to przede wszystkim z większej ilości par kinematycznych obrotowych obudów o dwulemniśkatowym torze stropnicy w odniesieniu do obudów o lemniśkatowym torze stropnicy, oraz geometrii i rozmiarów obu torów.

Celem zmniejszenia dużego (czterokrotnego) wpływu luzów na odchyłki od wartości średniej w układach dwulemniśkatowych w porównaniu z torami lemniśkatowymi, należy stosować bardziej precyzyjne technologie wykonawcze par kinematycznych obrotowych w obudowach dwulemniśkatowych i stosować mniejsze luzy w porównaniu do par kinematycznych obrotowych układów

lemniskatowych. Zmniejszenie luzów zużycia można uzyskać przez konstytuowanie specjalnych warstw wierzchnich na współpracujących powierzchniach obrotowych par kinematycznych, zapewniających mniejsze tarcie i zużycie.

Duże zalety układów dwulemniskatowych to krótkie ruchy transportowe, a tym samym większa trwałość (żywołność) urządzenia, mniejsze zużycie energii w czasie eksploatacji, mniejsze zużycie w parach kinematycznych, większa możliwość pełnej automatyzacji i większa czułość wspomagania.

Analiza uzyskanego pasma dwulemniskatowego wykazuje, że dla wysokości  $H > 5,7897$  [m] występują zbyt duże odchylenia lokalne od wartości średniej  $x_{A\bar{s}r}$ . Biorąc również pod uwagę geometrię (wymiary podłużne i poprzeczne) poszczególnych ogniów układu dwulemniskatowego (na przykładzie obudowy typu "Dowty Mining Equipment Limited"), zakres wysokości punktu A stropnicy badanej obudowy należy ograniczyć do przedziału wysokości  $2,3711 \leq H \leq 5,7897$  m, który można uznać za zakres poprawnej pracy obudowy.

#### LITERATURA

- [1] Jakubowicz A., Kapłanek J., Rzytko J., Wróbel G., Gębicki Z.: Analiza metodą elementów skończonych w komputerowym wspomaganiu projektowania wysięgników kombajnu węglowego ZN Politechniki Śląskiej, seria "Mechanika" z. 82, Gliwice 1985.
- [2] Bogucki Z., Ober G., Szuścik W.: Badania teoretyczne prowadzenia lemniskatowego obudów zmechanizowanych z uwzględnieniem luzów w parach obrotowych. "Górnictwo" z. 137/85, Gliwice 1985.
- [3] Szuścik W., Węgrzyn J., Dziubiński J., Mazur M., Czop M., Szczok E., Bogucki Z., Kuczyński J., Szweda S., Ober G., Kumor L., Markowicz J.: Doskonalenie metod projektowania i obliczeń obudów zmechanizowanych. Etap II. Prace Z.Z. MWG Instytutu Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice 1982, Biblioteka IMG Politechniki Śląskiej.

Recenzent: Prof. dr inż. Zbigniew KORECKI

Wpłynęło do Redakcji we wrześniu 1992 r.

## A b s t r a c t

In the course of designing it is a constructional design feature what should be distinguished among a number of factors being to a various degree decisive for operational performance of longwall powered roof supports.

The modern modified system for guiding longwall powered supports "Dowty - Leg 1000 Tone Thick Seam Chock Shield" (Dowty Mining Equipment Limited) has been subject to the analysis of results of the selection of constructional design feature, the selection being optimum in respect of defined criteria, as assumed in the work.

The modification expressed as a model consists in that the previously applied articulated four-bar linkage has been replaced by an articulation system composed of six bars.

In the original system the point determining the translation of a canopy had moved a lemniscate trajectory in accordance of the law of motion of an articulated four-bar linkage. In the modified system the point determining the translation of a canopy moves along "a double lemniscate" trajectory being a special case of the Cassini's oval.

Calculations made in the work have been adapted to calculations of coordinates of a trajectory of double lemniscate guiding of powered roof supports with dimensions of the structure controlling the canopy motion being so selected that trajectories of any point of the canopy are a part of the cassini's oval realting to the case when this oval consists of two separate curves closed around focal points.

The absolute mean value of a standard deviation from the average ( $\delta_p$ ) from vertica axis for a double lemniscate trajectory is almost twice as large as ( $\delta_p$ ) determined for a lemniscate trajectory within the range of applied heights of suport units.

This means that elements of the set  $x_{iA}$  are less concentrated around the mean value  $x_{Asr}$  in the case of the double lemniscate trajectory than in the case of the lemniscate trajectory and thus within the height range of a support unit being tested the deflection of the double lemniscate trajectory from a vertical straight line as compared to that of the lemniscate trajectory is greater.

The work proves that absolute values  $\delta_p$  for the double lemniscate trajectory cannot makea full measure for a mean standard deviation from the mean value  $x_{Asr}$  when comparing it with an analogical quantity of the lemniscate trajectory.



Therefore, a term of relative values of statistical parameters the so called criteria have been introduced and these are related to lengths of lemniscate trajectory and of the double lemniscate one within the height ranges applied during operation of the both supports.

Statistical parameters calculate for supports provided with the double lemniscate trajectory of a canopy within the height range applied in the course of operation with regard to plays in rotary kinematic pairs indicate a greater influence on deviations from the mean value  $x$  than that of supports provided with the lemniscate trajectory of the canopy when compared.

First of all this in consequence of a greater number of rotary kinematic pairs occurring in supports with the double lemniscate trajectory of the canopy in relation to supports with the lemniscate trajectory of the canopy as well as it results from geometry and dimensions of the two trajectories.

In order to decrease the great (fourfold) influence exerted by plays on deviations from the mean value in case of the double lemniscate system as compared with that of the lemniscate system it is necessary to apply more precise production technologies when manufacturing rotary kinematic pairs in supports with the double lemniscate system and to use smaller plays that those applied to rotary kinematic pairs of the lemniscate system.

Plays resulting from wear can be reduced through applying special coatings on to mating surfaces of rotary kinematic pairs providing for less friction and wear.

These are major advantages of double lemniscate systems: short transport movements and thus longer service life of the equipment reduced energy consumption in the course of operation, less wear in kinematic pairs, greater possibility of full automation as well as greater sensitivity of assistance.

The analysis of the obtained double lemniscate band indicates that as regards the maximum heights of support units the occurring local deviations from the mean value  $x_{A5R}$  are to great. When taking into account the geometry (longitudinal and transverse dimensions) of particular elements of the double lemniscate system on the ground of example of the support type "Dowty Mining Equipment Limited" expressed in numbers it is evident that the height range of the canopy of the support being tested should be limited and so within the height range the value  $H = 6,2672$  [m] is to be limited to  $5,7897$  [m] at  $H = 2,3711$  [m] which can be recognized as the range of correct operation of the support.