

ANALIZA MONITOROWANIA ZAGROŻENIA STATECZNOŚCI NADWOZIA MASZYN PODSTAWOWYCH GÓRNICTWA ODKRYWKOWEGO

ANALYSIS OF THE MONITORING OF THE HAZARD OF STABILITY OF BODYWORK MACHINES OF BASIC MINING DISCONTINUES

Stefan Wojciech Szepietowski - „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

Przeprowadzono analizę celowości monitorowania stateczności nadwozia maszyn górnictwa odkrywkowego. Wykazano opłacalność monitorowania stateczności nadwozia zwałowarek taśmowych. Podano zależności matematyczne w oparciu o które, wykorzystując wartości uzyskane z monitoringu, można ocenić aktualny stan stateczności nadwozia zwałowarki oraz dopuszczalną prędkość wiatru.

Słowa kluczowe: monitorowanie, stateczność nadwozia maszyn górnictwa odkrywkowego

An analysis of the advisability of monitoring the stability of the surface mining machinery body was performed. The cost-effectiveness of monitoring the stability of the belt web billboards has been demonstrated. Mathematical relations are given based on which, using the values obtained from monitoring, one can assess the current state of stability of the belt stacker body and allowable wind speed.

Keywords: monitoring, stability of body of open cast mining machinery

Wprowadzenie

Na nadwozia koparek wielonaczyniowych i zwałowarek taśmowych, w czasie ich eksploatacji działa wiele sił. Można je podzielić na dwie grupy (tab. 1): siły stałe i zmienne, takie których wartość lub kierunek ulega zmianie zależnie od warunków eksploatacji. Zmiany te mogą być na tyle duże, że mogą zagrozić wywróceniem nadwozia. Norma bezpieczeństwa stroju nośnego tych maszyn PN-7400 [1], jak i powszechnie stosowana na świecie, niemiecka norma DIN 22261 [2] wymaga zachowania poniższego warunku bezpieczeństwa przed wywróceniem:

$$\beta_N \leq \beta = \frac{\sum_{i=1}^{i=u} MP_{ui}}{\sum_{n=1}^{n=w} MP_{wn}} \quad (1)$$

gdzie: β_N - wymagana wartość współczynnika stateczności, określona w wyżej wspomnianych normach, β - konstrukcyjna wartość współczynnika stateczności nadwozia, MP_{ui} - moment względem krawędzi wyrotu i-tej siły działającej przeciw wywróceniu, MP_{wn} - moment względem krawędzi wyrotu n-tej siły wywracającej.

Tab. 1. Siły działające na nadwozie maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego podczas normalnej eksploatacji

Tab. 1. Forces operating on the body of mining machinery during normal operation

Rodzaj maszyny	Siły uwzględnianie przy ocenie stateczności nadwozia	
	stałe	zmienne
Koparka wielonaczyniowa	1. Ciężar własny nadwozia	1. Siła urabiania 2. Siła wynikająca z pochylenia poziomego jezdnego koparki 3. Ciężar urobku na przenośnikach wewnętrznego układu transportowego koparki 4. Zanieczyszczenie urobkiem stroju nośnego nadwozia 5. Obciążeniem wiatrem
Zwałowarka taśmowa	1. Ciężar własny nadwozia 2. Obciążenia od ciężaru podawarki	1. Siła wynikająca z pochylenia poziomego jezdnego zwałowarki 2. Obciążenia od urobku na wewnętrznym układzie transportowym maszyny 3. Obciążenie od urobku na podawarce 4. Obciążenie wiatrem

W świadectwie stateczności, wymaganym przez powyższe normy, przyjmuje się konstrukcyjne ograniczenia wartości sił (maksymalnie dopuszczalne) oraz najbardziej niekorzystny kierunek i ewentualnie położenie sił zmiennych. Natomiast monitoring umożliwia ocenę stateczności dla aktualnych parametrów poszczególnych sił działających na nadwozie. Umożliwia to, w przypadku gdy rzeczywista wartość niektórych obciążeń jest inna od decydujących dla świadectwa stateczności, zwiększenie wartości któregoś z obciążeń poza jego wielkości konstrukcyjne, przy zachowaniu wymaganej wartości współczynnika stateczności. Taką możliwość, ale w mocno ograniczonym zakresie, wykorzystano w produkowanych przez firmę TAKRAF w byłej NRD wielonaczyniowych koparkach kołowych ale bez monitorowania stateczności nadwozia. Mianowicie, miały one z założenia możliwość przemieszczania się podczas transportu po terenie o większym nachyleniu niż w czasie pracy, wtedy gdy siła urabiania jest równa zeru [3].

Oplacalność monitorowania stateczności nadwozia

Użytkownicy maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego mają bezpośredni wpływ na wartość większości zmiennych sił, decydujących o stateczności nadwozia, eksploatowanych maszyn. Wydaje się, że celowość zwiększenia którejś z nich przy normalnej eksploatacji maszyny, w przypadku wartości pozostałych mniejszych od przyjętych konstrukcyjnie, będzie występować jedynie sporadycznie. Ponadto mogłoby to prowadzić do przekroczenia konstrukcyjnych wartości obciążeń któregoś z mechanizmów, do czego nie dopuszcza odpowiednie zabezpieczenie tego mechanizmu, gdyż mogłoby to zwiększyć prawdopodobieństwo jego awarii lub przedwczesnego zużycia. Zasadniczo jedyną siłą, działającą na nadwozie maszyny, na którą eksploatator nie ma jakiegokolwiek wpływu, jest obciążenie wiatrem. Monitorowanie stateczności nadwozia może umożliwić w wielu przypadkach zwiększenie dopuszczalnej prędkości, szczególnie przy krótkotrwałych porywach, bez ujemnego oddziaływania na trwałość maszyny. Zabezpieczenia dotyczące tego obciążenia wynikają właśnie z oceny stateczności.

Koparki wielonaczyniowe w większości eksploatowane są w odkrywcę poniżej poziomu terenu. Są, zatem, w pewnym stopniu chronione przed przypadkowymi porywami wiatru. Prędkość wiatru, przekraczająca dopuszczalną wartość, ze względu na stateczność maszyny, wstrzymuje tylko pracę samej koparki i ponowne jej uruchomienie nie generuje dłuższego postoju. Zatem monitorowanie stateczności nadwozia koparki wielonaczyniowej może być mało opłacalne. Natomiast zwalówki na ogół pracują powyżej poziomu terenu a ich wyłączenie z ruchu powoduje automatyczne zatrzymanie całego układu KTZ. Ponowny rozruch całego układu technologicznego wymaga znacznego czasu. Z doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że roczna strata efektywnego czasu pracy układu KTZ, powodowana wstrzymaniem ruchu zwalówki, wywołanym krótkotrwałymi podmuchami wiatru, może osiągnąć nawet kilkaset godzin [4]. To uzasadnia celowość monitorowania stateczności nadwozia zwalówek taśmowych. Dopuszczenie do pracy zwalówki przy chwilowym porywie wiatru o niewielkim przekroczeniu jego prędkości określonej dla stanu pracy było od zawsze dążeniem eksploatatorów tych maszyn. Jednak nie wiązało się to z monitoringiem a z oceną ewentualnych skutków energii krótkotrwałego porywu wiatru [4].

Monitorowanie stateczności nadwozia zwalówki taśmowej

Miejsce przyłożenia i kierunek działania poszczególnych sił działających na nadwozie zwalówki podczas jej eksploatacji obrazuje rysunek 1. Założono przy tym, że pochylenie poziomu jezdnego zwalówki generuje odrębną siłę. Tak, jak to jest przyjęte w świadectwie stateczności, zgodnie z normą PN-7400. Przyjęty układ współrzędnych związany jest z platformą obrotu nadwozia. Oś z pokrywa się z osią obrotu nadwozia, a oś x ma kierunek wysięgnika zwalującego. Zatem, cały układ współrzędnych obraca się wraz z nadwoziem. Jak widać na rysunku 1, siły działające na nadwozie mają albo kierunek prostopadły (siły ciężkości) albo równoległy do płaszczyzny obrotnicy (pochylenie i obciążenie wiatrem).

W przypadku obrotnicy kulowej, a taka z reguły występuje w zwalówkach taśmowych, krawędzią wywrotu może być, zgodnie z normą PN-7400, każda cięciwa obrotnicy o kącie środkowym 60 stopni kątowych [1]. W ogólnym przypadku jest to ta z nich, dla której wyznaczona, w oparciu o monitorowane parametry sił obciążających nadwozie, wartość współczynnika stateczności jest najmniejsza.

Równanie linii prostej, której odcinkiem jest możliwa krawędź wywrotu, przemieszczająca się po obwodzie obrotnicy z kątem α , (w układzie biegunowym) ma postać [5]:

$$r = \rho \cos(\phi - \alpha) \quad (2)$$

gdzie (rys. 1): α - kąt położenia krawędzi wywrotu, ρ , ϕ - odpowiednio współrzędne układu biegunowego, r - odległość krawędzi wywrotu od początku układu współrzędnych, równa:

$$r = r_{ob} \cos \frac{\pi}{3} \quad (3)$$

gdzie: r_{ob} - promień obwodu obrotnicy.

Moment siły pionowej względem krawędzi wywrotu nadwozia, której położenie określa kąt α jest równy:

$$M_P(\alpha) = P_i |d_i(\alpha)| \quad (4)$$

gdzie: P_i - wartość i -tej siły pionowej, $|d_i(\alpha)|$ - odległość i -tej siły od krawędzi wywrotu, położonej pod kątem α .

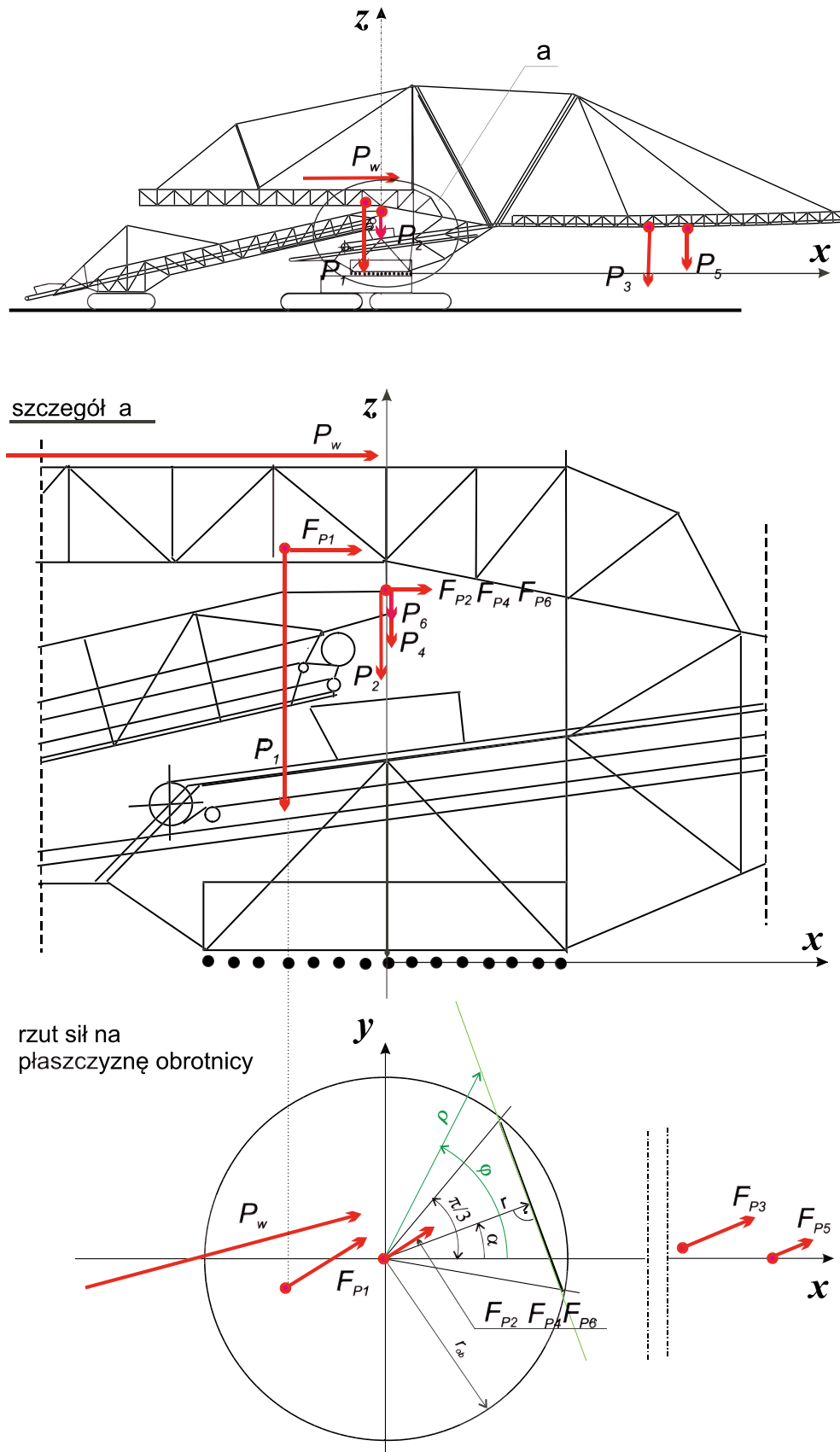
Korzystając z zależności na odległość punktu od linii prostej otrzymuje się [6]:

$$d_i(\alpha) = x_i \cos \alpha + y_i \sin \alpha - r \quad (5)$$

gdzie: x_i , y_i - odpowiednie współrzędne punktu przyłożenia i -tej siły pionowej (rys. 1).

Czy moment siły P_i względem zmieniającej swoje położenie z kątem α potencjalnej krawędzi wywrotu, ma działanie stabilizujące czy też wywracające zależy od położenia tej siły względem danej krawędzi wywrotu - od strony początku układu współrzędnych czy też przeciwnej. To położenie określa znak funkcjonału, stojącego po prawej stronie zależności (5). Mianowicie:

$$\operatorname{sgn}(d_i(\alpha)) = \begin{cases} - \text{moment siły } P_i \text{ działa stabilizująco} \\ + \text{moment siły } P_i \text{ działa wywracająco} \end{cases} \quad (6)$$

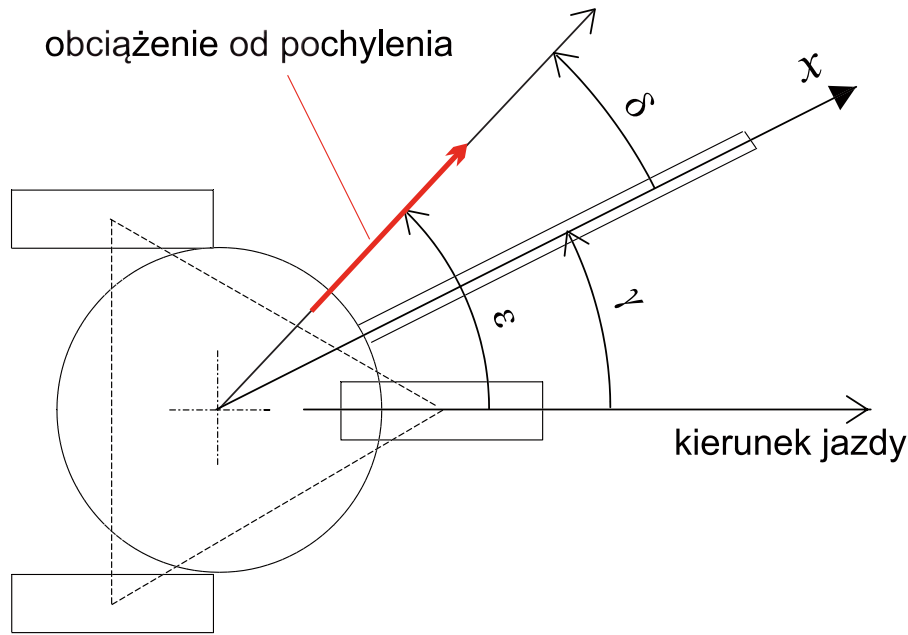


Rys. 1. Schemat sił działających na nadwozie zwalówki taśmowej

P_1 - ciężar własny nadwozia, P_2 - obciążenie do ciężaru podawarki, P_3 - ciężar urobku na układzie transportowym zwalówki, P_4 - obciążenie od urobku na przenośniku podawarki, P_5 - zanieczyszczenie urobkiem na nadwoziu zwalówki, P_6 - obciążenie od zanieczyszczenia na podawarce, P_w - obciążenie wiatrem, F_{P_i} - odpowiednio obciążenie od i-tej siły wywołane pochyleniem.

Fig. 1. Diagram of forces acting on the belt stacker body

P_1 - self-weight of the body, P_2 - load to the weight of the feeder, P_3 - weight of spoil on the stacker transport system, P_4 - load on the spoil conveyor, P_5 - spoilage on the stacker body, P_6 - load on the feeder, P_w - wind load, F_{P_i} - the respective i-strength load due to the inclination.



Rys. 2. Kierunek działania obciążenia od pochylenia terenu
Fig. 2. The direction of force from the slope of the terrain

Z reguły inklinometry, mierzące pochylenie terenu jeźdźnego zwałowarki względem kierunku jazdy umieszczone są na podwoziu maszyny. Zatem kierunek działania obciążeń poziomych, pochodzących od sił ciężkości, wywołanych pochyleniem maszyny, w układzie współrzędnych związanym z nadwoziem określa zależność (rys. 2):

$$\delta = \varepsilon - \gamma \quad (7)$$

gdzie: δ - kierunek siły, wywołanej pochyleniem nadwozia, w układzie współrzędnych związanym z platformą obrotniczą, ε - kierunek pochylenia terenu jeźdźnego liczony od kierunku jazdy, wskazywany przez inklinometry umieszczone na podwoziu maszyny, γ - kąt obrotu nadwozia względem kierunku jazdy. Oczywiście zwrot wektora tej siły jest skierowany w stronę pochylenia terenu.

Wartość składowej siły od pochylenia, prostopadłej do rozpatrywanej krawędzi wywrotu w rzucie pionowym na platformę obrotniczą, określa zależność:

$$F_{P_i} = [|P_i| \cos(\alpha - \delta)] \tan \lambda \quad (8)$$

gdzie: λ - kąt pochylenia poziomu jeźdźnego.

Znak wyrażenia stojącego po prawej stronie równania (8) określa czy zwrot wektora siły F_{P_i} jest od tej krawędzi wywrotu w stronę osi obrotu nadwozia (-) czy też przeciwny (+). Wielkość momentu siły F_{P_i} względem krawędzi wywrotu wynosi:

$$MF_{P_i} = |F_{P_i} z_i| \quad (9)$$

gdzie: z_i - współrzędna z punktu przyłożenia siły P_i . Charakter jego działania zależy od znaku siły F_{P_i} , określonej zależnością (8). Mianowicie:

$$\text{sgn } F_{P_i} = \begin{cases} - \text{moment stabilizujący} \\ + \text{moment wywracający} \end{cases} \quad (10)$$

Korzystając z zależności (4) i (9) oraz pojęcia sumy warunkowej warunków bezpieczeństwa stateczności (1) dla nadwozia zwałowarki taśmowej przybiera postać:

$$\beta_N \leq \frac{\sum_{i=1}^{i=4} [(MP_i \text{ if } (\text{sgn } d_i(\alpha) = -)) + (MF_{P_i} \text{ if } (\text{sgn } F_{P_i} = -))]}{\sum_{i=1}^{i=6} [(MP_i \text{ if } (\text{sgn } d_i(\alpha) = +)) + (MF_{P_i} \text{ if } (\text{sgn } F_{P_i} = +))] + P_w z_w} \quad (11)$$

gdzie: P_w - siła naporu wiatru, z_w - współrzędna z wypadkowej siły wiatru, wartość indeks i w symbolu siły określa jej rodzaj zgodnie z rysunkiem 1.

Praktycznie nie ma możliwości monitorowania obciążenia stroju nośnego zanieczyszczeniami urobkiem. Ze względu na jego rozłożenie na dużej powierzchni jak i stosunkowo małą wartość. Dlatego zależność (11) uwzględnia go tylko, gdy jest obciążeniem wywracającym, a jego wartość należy przyjąć zgodną z normą PN 7400.

Kierunek działania wiatru zmienia się nieustannie i w znacznym zakresie. Szczególnie dotyczy to chwilowych porywów. Dla większego bezpieczeństwa przyjęto w analizie, że jest on zawsze prostopadły do rozważanej krawędzi wywrotu nadwozia. Zatem siła wiatru wynosi:

$$P_w = C_\alpha v_w^2 \quad (12)$$

gdzie: C_α - współczynnik oporu wiatru nadwozia w kierunku prostopadłym do rozważanej krawędzi wywrotu, położonej pod kątem α , v_w - prędkość wiatru.

Z zależności (11) i (12) otrzymuje się:

$$v_{w \max \alpha}^2 = \frac{1}{C_\alpha z_{w\alpha}} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{i=4} [(MP_i \text{ if } (\text{sgn } d_i(\alpha) = -)) + (MF_{P_i} \text{ if } (\text{sgn } F_{P_i} = -))]}{\beta_N} + \right. \\ \left. - \sum_{i=1}^{i=6} [(MP_i \text{ if } (\text{sgn } d_i(\alpha) = +)) + (MF_{P_i} \text{ if } (\text{sgn } F_{P_i} = +))] \right\} \quad (13)$$

gdzie: $v_{w \max \alpha}$ - maksymalna dopuszczalna prędkość wiatru dla krawędzi wywrotu położonej pod kątem α , $z_{w\alpha}$ - współrzędna z wypadkowej siły wiatru wiejącego z kierunku prostopadłego do krawędzi wywrotu położonej pod kątem α .

Projektant zwałowarki określa wartość dwóch współczynników oporu. Dla wiatru wiejącego wzdłuż płaszczyzny symetrii maszyny oraz w kierunku prostopadłym do niej. Są to wartości ekstremalne. Z dokładnością wystarczającą dla celów praktycznych można przyjąć, że wartość współczynnika oporu zmienia się z kierunkiem działania wiatru zgodnie z elipsą. Zatem, korzystając z biegunowego równania elipsy o środku położonym w początku układu współrzędnych [5], otrzymuje się:

$$C_{\alpha} = \frac{C_x C_y}{\sqrt{C_x^2 \sin^2 \alpha + C_y^2 \cos^2 \alpha}} \quad \text{dla } 0 \leq \alpha < 2\pi \quad (14)$$

gdzie: C_x, C_y - odpowiednio współczynnik oporu wiatru nadwozia dla kierunku zgodnym z osią x (wzdłuż płaszczyzny symetrii) i zgodnym z osią y .

Przy braku dokładniejszych danych można przyjąć, że wartość współrzędnej $z_{w\alpha}$ zmienia się, z kątem obrotu α tak samo jak i współczynnik oporu nadwozia. Stąd:

$$z_{w\alpha} = \frac{z_{wx} z_{wy}}{\sqrt{z_{wx}^2 \sin^2 \alpha + z_{wy}^2 \cos^2 \alpha}} \quad \text{dla } 0 \leq \alpha < 2\pi \quad (15)$$

Dopuszczalna prędkość wiatru, przy której w danych warunkach eksploatacyjnych, zachowany jest (wymagany normą PN 7400)

stopień bezpieczeństwa nadwozia przed wywróceniem jest wartością najmniejszą z pośród wszystkich $v_{w \max \alpha}$:

$$v_{w \text{ dop}} = \min \{ v_{w \max \alpha} \} \quad \text{dla } 0 \leq \alpha < 2\pi \quad (16)$$

W przedstawionej analizie rozważono ogólny stan możliwego obciążenia nadwozia zwałowarki. W rzeczywistości szereg sił może mieć zerowe wartości współrzędnej y [4]. Upraszcza to przebieg monitorowania stanu bezpieczeństwa nadwozia przed wywróceniem.

Wnioski

1. Monitorowanie stanu bezpieczeństwa stateczności nadwozia zwałowarki taśmowej umożliwi zwiększenie dopuszczalnej prędkości wiatru w stanie roboczym. W rezultacie może ulec zmniejszeniu wielkość postojów układu KTZ, powodowanych zatrzymaniem pracy zwałowarki wskutek podmuchów wiatru.

2. Dokonanie symulacji komputerowej, w oparciu o przedstawione zależności, dla konkretnej zwałowarki i prognozowanych warunków eksploatacji umożliwi ilościową ocenę efektywności monitoringu stateczności nadwozia tej maszyny.

Literatura

- [1] PN-7400 *Górnictwo odkrywkowe. Koparki wielonaczyniowe i zwałowarki taśmowe*. Wyd. PKN Warszawa 2011
- [2] DIN 22261 Teil 2 *Bagger, Absetzer und Zusatzgeräte in Braunkohlentagebauen*. Deutsches Institut für Normung 1998, s. 84 DK 621.879.004:622.271.4
- [3] Pajer G., Kurth F., Pfeifer M., Hojder J., *Tagebaugroßgeräte und Universalbagger* Wydaw. VEB Verjag Technik, Berlin wydanie 2 1979
- [4] Szepietowski S. W., Analiza możliwości zmiany nastaw zabezpieczeń przed wiatrem zwałowarek A₂RsB 8800 i A₂RsB 5000 w KWB Konin
- [5] Leja F., *Geometria analityczna*. Wyd. PWN wydanie III Warszawa 1961
- [6] <http://matematyka.sosnowiec.pl/teoria27.html>, *Matematyka | Geometria analityczna płaska*. Copyright by ewwwe 2011



Enigmatyczne lustro przyrody

Fot. Renata S-K