

OKREŚLENIE STATECZNOŚCI NADWOZIA KOPARKI WIELONACZYNIOWEJ KOŁOWEJ SRS 1200

DETERMINATION OF THE BWE SRS 1200 SUPERSTRUCTURE STABILITY

Jerzy Alenowicz – „Poltegor-Instytut”, Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

Podano przyczyny prowadzenia badań stateczności nadwozi koparek wielonaczyniowych kołowych. Przedstawiono sposób prowadzenia badań oraz metodę oceny stateczności. Podano przykład wykonanych badań na koparce SRS 1200. Zaprezentowano uzyskane wyniki. Stwierdzono, że stateczność nadwozia koparki SRS 1200 według obowiązujących norm jest zachowana.

Słowa kluczowe: koparki kołowe wielonaczyniowe, nadwozie, stateczność, badania, ocena, normy

The reasons for testing of the BWEs superstructures stability have been given. The way of conducting tests and the method for assessing stability have been showed. Examples of studies made on BWE SRS 1200 have been given. The obtained tests results have been presented. It has been found that the BWE SRS 1200 superstructure stability has been maintained in accordance with the applicable standards.

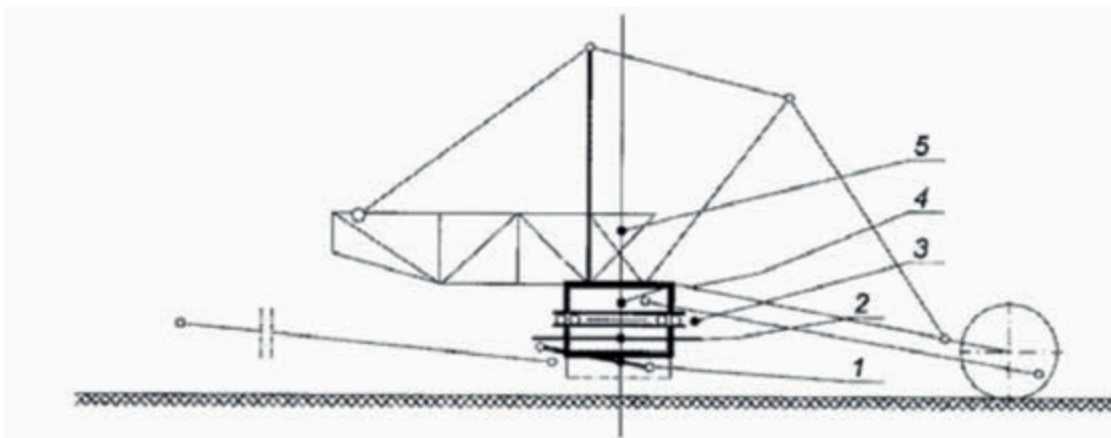
Keywords: bucket wheel excavators (BWEs), superstructure, stability, tests, assessment, standards

Wstęp

Jednym z najważniejszych czynników mających wpływ na bezpieczeństwo pracy koparek wielonaczyniowych kołowych jest stateczność ich nadwozi. Wynika to ze specyfiki budowy tych maszyn (rys. 1)[1], gdzie obrotowe nadwozie spoczywa poprzez dźwigar pierścieniowy górny na wielkogabarytowym łożysku wieńcowym (lub wózkach obrotnicy, co jest rozwiązaniem zanikającym), a to z kolei poprzez dźwigar pierścieniowy dolny wspiera się na portalu podwozia.

Nadwozie to jest tak zaprojektowane, aby środek jego ciężkości nie wychodził poza obrys łoża kulowego łożyska wieńcowego (lub szyny obrotnicy), poza tym ze względu na konieczność zapewnienia równomiernych nacisków na łożysku

wieńcowym powinien on znajdować się w pobliżu osi obrotu maszyny (położenie tzw. dokumentacyjne). Uzyskiwane jest to poprzez równoważenie momentów pochodzących od ciężaru wysięgnika roboczego i obciążeń zmiennych, ciężarem pochodzącym od wysięgnika przeciwwagi wraz z balastem, tak że cały układ konstrukcyjny nadwozia znajduje się w równowadze statycznej. Jedynym zabezpieczeniem mechanicznym przed wywróceniem są podchwyty usytuowane na wewnętrznej konstrukcji dźwigara górnego, ale zabezpieczają one nadwozie jedynie przy bardzo niewielkich przechyłach. Przy przekroczeniu położenia środka ciężkości nadwozia obrysu łoża kulowego (lub szyny obrotnicy) może nastąpić jego całkowite przewrócenie się, co w praktyce oznacza zwykle zniszczenie maszyny. Przykładem może być awaria koparki



Rys. 1. Schemat ideowy położenia dźwigarów pierścieniowych w koparce kołowej: 1 – portal podwozia; 2 – dźwigar pierścieniowy dolny; 3 – zespół obrotu nadwozia: łoża kulowe lub rolkowe, wózki szynowe; 4 – dźwigar pierścieniowy górny; 5 – nadwozie maszyny

Fig. 1. Schematic diagram of the ring girders position in BWE: 1 – chassis portal, 2 – bottom ring girder, 3 – the main slewing mechanism: ball races or roller races, rail carriages, 4 – upper ring girder, 5 - superstructure



Rys. 2. Koparka wielonacyniowa kołowa SRs1200
Fig. 2. The superstructure of the BWE SRs 1200

SchRs 1200 w KWB „Adamów”, gdzie na skutek utraty równowagi statycznej doszło do przewrócenia się i całkowitego zniszczenia nadwozia [1].

Ponadto przy położeniu środka ciężkości nadwozia odbiegającym od położenia dokumentacyjnego, zachodzi przyspieszone zużycie bieżni łożyska wieńcowego, co poza zmniejszeniem jego trwałości prowadzi do powstawania dodatkowych obciążeń ustrojów nośnych, zwłaszcza konstrukcji dźwigarów [2]. Awaryjne dźwigarów pierścieniowych należą do najczęstszych awarii konstrukcji nośnych [1] i są przyczyną częstych postojów remontowych maszyn, co z kolei ma wpływ na wzrost kosztów eksploatacji.

Badania i ocena stateczności prowadzone są zarówno dla maszyn nowych jak i poddanych długoletniej eksploatacji [3]. W przypadku maszyn nowych przed przekazaniem ich do eksploatacji, należy określić rzeczywiste współrzędne położenia środka ciężkości nadwozia, ponieważ przy tak złożonych obiektach jakimi są koparki i zwałowarki górnictwa odkrywkowego, nie sposób jest obliczyć dokładnie jego położenia. Natomiast w przypadku maszyn poddanych długoletniej eksploatacji często dochodzi do ich moderniza-

cji, przebudowy itp., co powoduje zwykle zmianę wartości i rozkładów mas na nadwoziu, a to z kolei może powodować naruszenie warunków równowagi statycznej.

Przedmiot badań

Przedmiotem badań było obrotowe nadwozie koparki SRs 1200. Koparka SRs 1200 jest koparką średniej wielkości o wydajności teoretycznej 3450 m³/h. Producentem maszyny były zakłady VEB Schwermaschinenbau Lauchhammerwerk (Niemcy). Jest to koparka kołowa na podwoziu gąsienicowym z zespołem ładującym w postaci przejezdnego obrotowego wózka taśmowego na gąsienicach. Moc napędu koła czerpakowego wynosi 630 kW, średnica koła czerpakowego 8,35 m, ilość czerpaków 10, pojemność czerpaka 1080 dm³, wysokość urabiania nadpoziomowego 24 m, wysokość urabiania podpoziomowego 1,65 m, maksymalna prędkość jazdy 6 m/min, najmniejszy promień łuku jazdy 60 m, długość wysięgnika koła czerpakowego 29 m, dopuszczalne nachylenie poziomu w czasie pracy: wzdłużne 1:33, poprzeczne 1:33, w czasie transportu: wzdłużne 1:20, poprzeczne 1:33, całkowita zainstalowana moc napędów 2030 kW.

Doświadczalne określenie położenia środka ciężkości nadwozia badanej koparki

Do określenia położenia środka ciężkości zastosowano metodę opartą na: pomiarach reakcji od obciążeń masy nadwozia maszyny, podpartej w położeniu poziomym oraz pomiarach rozstawu punktów podparcia nadwozia na podwoziu, względem środka obrotu maszyny [4]. W tym celu dokonano trzykrotnego uniesienia i opuszczenia nadwozia za pomocą podnośników hydraulicznych poprzez przetworniki siły typu 350T, produkcji IGO Poltegor (rys. 3), mierząc równocześnie wartość siły w czterech punktach podparcia. Wartości siły w przetwornikach zarejestrowano programem Catman 3.0, wykorzystując wzmacniacz pomiarowy DMCplus produkcji Hottinger Baldwin Messtechnik [5].

Ponieważ, jak wspomniano w opisie przedmiotu badań,



Rys. 3. Tensometryczny przetwornik siły wraz z cyfrowym miernikiem odkształceń

Fig. 3. The strain gauge force transducer and digital strain meter

koparka SRs 1200 jest maszyną dwuzespołową tzn. posiada zespół ładujący na oddzielnym, obrotowym, samojezdnym wózku, pomiary wykonano dla trzech położenia wózka, który poprzez specjalny zespół tzw. krzesła obrotowego opiera się na nadwoziu co ma oczywiście wpływ na położenie jego środka ciężkości. Stąd też pomiary przeprowadzono dla następujących położenia krzesła obrotowego i wysięgnika koła czerpakowego:

- krzesło obrotowe obrócone o kąt 90° w stosunku do wysięgnika przeciwwagi oraz wysięgnik koła czerpakowego w pozycji poziomej,
- krzesło obrotowe położone równolegle w stosunku do wysięgnika przeciwwagi oraz wysięgnik koła czerpakowego w pozycji poziomej,
- krzesło obrotowe położone równolegle w stosunku do wysięgnika przeciwwagi oraz wysięgnik koła czerpakowego maksymalnie uniesiony.

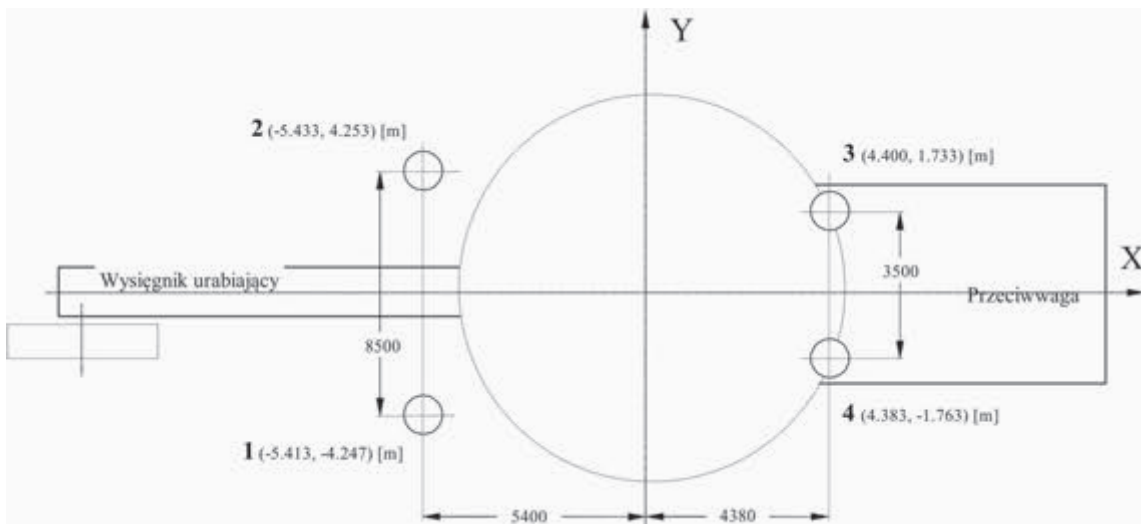
Przewidziano 3-krotne powtórzenie pomiarów dla każdego z wyżej wymienionych położenia, most podawarki w pozycji rozciągniętej.

Rozstaw punktów podparcia wraz z rozmieszczeniem dynamometrów pokazuje rysunek 4, natomiast usytuowanie podnośników hydraulicznych wraz z dynamometrami przedstawiono na rysunku 5. Korzystając z otrzymanych wartości reakcji od obciążenia w poszczególnych punktach pomiarowych oraz wartości odległości tych punktów od osi obrotu nadwozia otrzymano współrzędne położenia środka ciężkości zgodnie ze wzorem:

$$W = \begin{cases} x_c = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{\sum P_i} \\ y_c = \frac{\sum P_i \cdot y_i}{\sum P_i} \end{cases}$$

gdzie:

- P_i – wartość sił reakcji od obciążenia cząstkowych
- x_i, y_i – współrzędne obciążenia cząstkowych wg przyjętego układu odniesienia



Rys. 4. Rozstaw punktów pomiarowych nadwozia
Fig. 4. Location of superstructure measuring points

x_c, y_c – współrzędne środka ciężkości wg przyjętego układu odniesienia

n – ilość punktów pomiarowych ($n = 4$)

Wartości sił reakcji w poszczególnych punktach pomiarowych otrzymujemy zgodnie ze wzorem:

$$R_i = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \cdot z_i \quad (1)$$

gdzie:

R_i – wartości sił reakcji w [kN]

ε_1 – odczyt ze wskazań cyfrowego miernika odkształceń przed obciążeniem przetworników siły

ε_2 – odczyt ze wskazań cyfrowego miernika odkształceń po obciążeniu przetworników siły masą nadwozia

z_i – współczynnik regresji charakterystyk poszczególnych przetworników siły

Przyjęto poziomy prawoskrętny układ współrzędnych XY, którego początek stanowi oś obrotu nadwozia, a oś X wyznacza pionowa płaszczyzna symetrii wysięgnika przeciwwagi.

Wyniki pomiarów

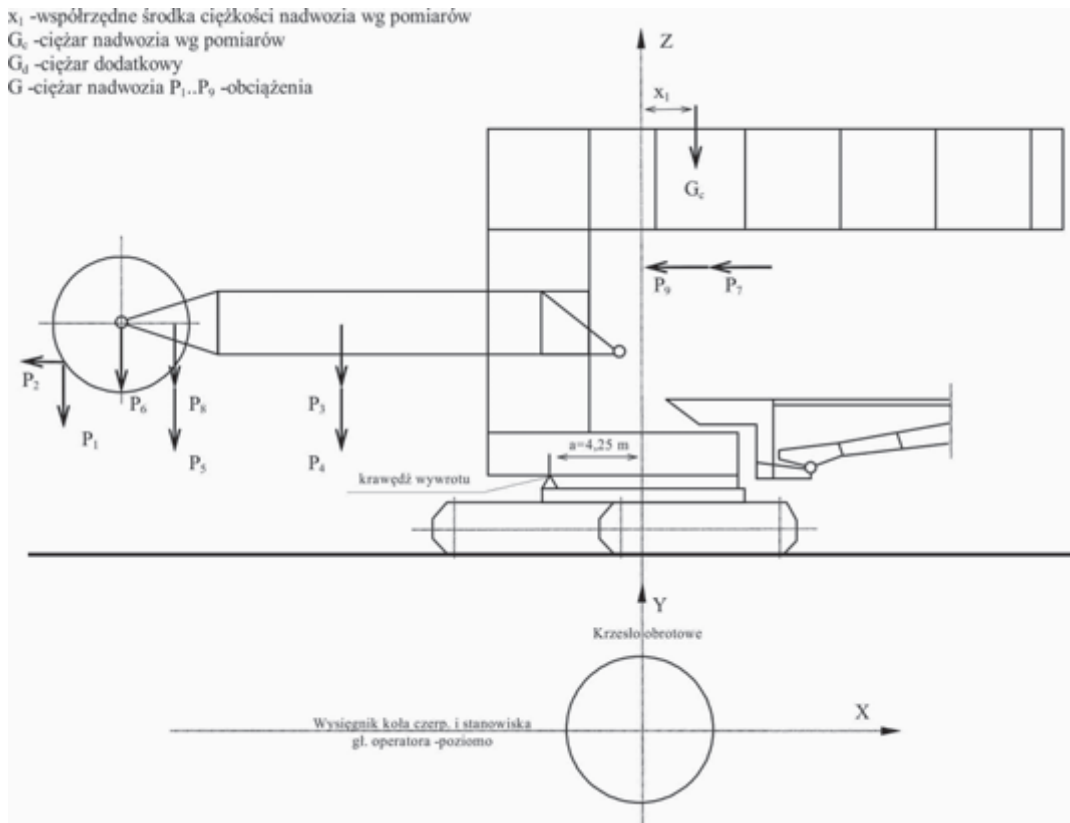
Wstawiając wartości otrzymanych reakcji R_i oraz wartości ich współrzędnych w przyjętym układzie odniesienia do wzoru (1), otrzymujemy współrzędne x_c, y_c środka ciężkości nadwozia maszyny. Jako wyniki badań przyjęto wartości współrzędnych, będące średnimi arytmetycznymi wyników co najmniej trzech pomiarów dla danego położenia wysięgnika roboczego koła czerpakowego i krzesła obrotowego.

Wyniki pomiarów dla trzech położenia wysięgnika koła czerpakowego i krzesła obrotowego zestawiono w tabeli 1.

Analiza stateczności koparki

Analizę stateczności nadwozia koparki przeprowadzono wg normy ISO 5049/1 [6]. Według powyższej normy w celu zabezpieczenia urządzenia przed wywróceniem należy obliczyć współczynnik bezpieczeństwa wg wzoru:

$$V = \frac{M_s}{M_k} \quad (2)$$



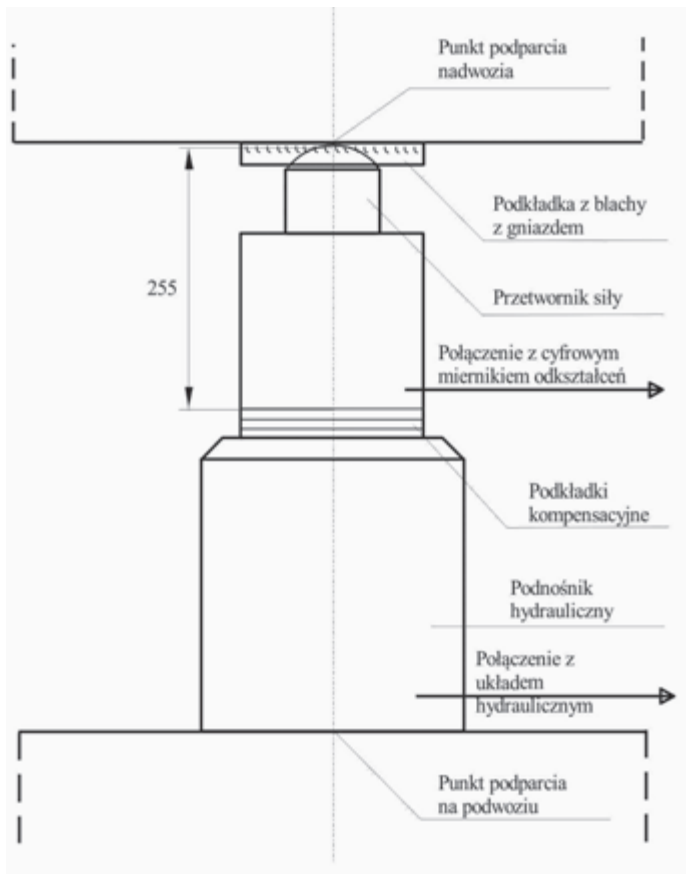
Rys. 6. Schemat obciążeń nadwozia koparki SRs 1200. Analiza stateczności
 Fig. 6. Diagram of the superstructure loads of BWE SRs 1200. Stability analysis

Tab. 1. Wartości średnie ciężaru i współrzędnych położenia środka ciężkości nadwozia oraz błędów pomiarowych
 Tab. 1. Mean values of the weight and coordinates of the superstructure gravity center and measurement errors

	Ciężar				Środek ciężkości			
	\bar{G}_i	$\pm U_i$	\bar{G}_i	$\pm U_i$	\bar{X}_c	$\pm U_{xc}$	\bar{Y}_c	$\pm U_{yc}$
	kN	kN	T	T	m	m	m	m
A	8003,5	3,5	815,9	0,4	0,321	0,034	0,714	0,020
B	7965,1	25,1	811,9	2,6	0,814	0,014	0,157	0,013
C	8024,5	42,0	818,0	4,3	1,255	0,056	0,189	0,033

Tab. 2. Wartości współczynników bezpieczeństwa nadwozia koparki SRs 1200
 Tab. 2. The values of the safety coefficients of BWE SRs 1200 superstructure

Stan obciążeń wg normy ISO 5049/1	Współczynnik bezpieczeństwa przed wywróceniem V_i	Położenie wysięgnika koła czerpakowego i krzesła obrotowego
Obciążenia główne I	2,07	Wysięgnik koła czerpakowego w pozycji poziomej do podłoża, krzesło obrotowe obrócone o kąt 90° do wysięgnika koła czerpakowego i wysięgnika przeciwwagi (poł. A)
Obciążenia dodatkowe II	1,63	
Obciążenia specjalne III	1,42	



Rys. 5. Usytuowanie podnośnika hydraulicznego i przetwornika siły pomiędzy punktami podparcia

Fig. 5. Location of hydraulic jack and force transducer between support points

gdzie:

M_s - moment ustalający od wszystkich obciążeń stałych obliczony względem przyjętej krawędzi wywrotu

M_k - moment wywracający od wszystkich obciążeń zmiennych dla przypadków obciążeń I, II, III, obliczony względem przyjętej krawędzi wywrotu.

Współczynnik bezpieczeństwa przed wywróceniem wg normy ISO 5049/1 powinien przyjmować wartości:

$$\begin{aligned} v_I &\geq 1,50 \text{ dla I przypadku obciążeń} \\ v_{II} &\geq 1,30 \text{ dla II przypadku obciążeń} \\ v_{III} &\geq 1,20 \text{ dla III przypadku obciążeń} \end{aligned} \quad (3)$$

Na rysunku 6 przedstawiono układ obciążeń dających moment ustalający M_s i moment wywracający M_k nadwozia koparki dla krzesła obrotowego obróconego o kąt 90° w stosunku do wysięgnika przeciwwagi i wysięgnika koła czerpakowego w pozycji poziomej A (stan najmniej korzystny dla zachowania warunków stateczności).

Dla tego przypadku zgodnie z tabelą 1 współrzędne środka ciężkości nadwozia wynoszą: $x_c = 0,321$ m, $y_c = 0,714$ m, natomiast średni ciężar nadwozia wynosi 8003,5 kN.

Według rysunku 6. poszczególne oznaczenia dotyczą:

- P_1 – siła skrawania styczna skrajna
- P_2 – siła skrawania boczna
- P_3 – urobek skrajny na taśmie koła czerpakowego
- P_4 – zanieczyszczenie wysięgnika koła czerpakowego
- P_5 – zanieczyszczenie rynny zsyków
- P_6 – zanieczyszczenie koła czerpakowego
- P_7 – pochylenie terenu (z nosiwem na taśmie i w rynnie) 4,3%
- P_8 – zatkanie rynny zsykowej
- P_9 – napór wiatru
- x_l – współrzędna położenia środka ciężkości nadwozia bez obciążeń zmiennych
- G_c – ciężar nadwozia bez obciążeń zmiennych
- a – przyjęta krawędź wywrotu

W tabeli 2 zestawiono obliczone wg wzoru (2) wartości współczynników bezpieczeństwa przed wywróceniem dla położenia wysięgnika koła czerpakowego i krzesła obrotowego A i trzech stanów obciążeń wg normy ISO 5049/1 (obciążenia główne I, dodatkowe II i specjalne III).

Z tabeli 2 wynika, że dla najbardziej niekorzystnego ze względu na stateczność położenia wysięgnika koła czerpakowego i krzesła obrotowego współczynniki bezpieczeństwa nadwozia koparki przed wywróceniem są zachowane dla wszystkich trzech stanów obciążeń wg normy ISO 5049/1.

Podsumowanie

Zespołem, który najbardziej narażony jest na utratę stateczności w przypadku koparek wielonaczyniowych kołowych jest zespół nadwozia. Wynika to głównie ze specyfiki budowy tych maszyn ale również w dużym stopniu ze względu na sposób i warunki ich pracy. Stąd też dokonuje się okresowo oceny stateczności powyższych maszyn, zwłaszcza po wszelkich zmianach (najczęściej modernizacyjnych, remontach lub przebudowie), które mogą naruszyć warunki równowagi statycznej. Jako przykład przedstawiono ocenę stateczności nadwozia koparki SRs 1200 po długoletniej eksploatacji. Oceny dokonano w oparciu o normę ISO 5049/1. Według powyższej normy warunki stateczności nadwozia koparki dla najbardziej niekorzystnego położenia wysięgnika koła czerpakowego, wysięgnika przeciwwagi i krzesła obrotowego oraz wszystkich stanów obciążeń (obciążenie główne, dodatkowe i specjalne) są zachowane. Świadczy to o tym, że podczas długoletniej eksploatacji koparki nie dokonano zmian powodujących naruszenie warunków równowagi statycznej na nadwoziu.

Literatura

- [1] Babiarz St., Dudek D., *Kronika awarii i katastrof maszyn podstawowych w polskim przemyśle odkrywkowym*. Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007
- [2] Alenowicz J., Musiał W., *Wpływ czterowózkowej konstrukcji obrotnicy na obciążenia ustroju nośnego maszyn podstawowych*. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 1, 1996
- [3] Alenowicz J., *Stateczność nadwozi koparek i zwalówarek górnictwa odkrywkowego*. *Górnictwo Odkrywkowe* 6/2009
- [4] Zięba T., Wygoda M., Wojtowicz A., *Określenie stateczności nadwozia koparki SRs 1200/3*. Praca niepubl. Nr arch. 4885/IGO, Wrocław 2002
- [5] Alenowicz J., *Instrukcja wyważania nadwozi wybranych typów maszyn podstawowych w górnictwie odkrywkowym*. Praca nie publ. Nr arch. 2857/IGO. Wrocław 1991
- [6] Norma ISO 5049-1. *Urządzenia przejazdne do transportu ciągłego materiałów sypkich*. Cz. 1. Wytyczne do obliczeń stalowych konstrukcji nośnych

