

BADANIA I OCENA STATECZNOŚCI KOPARKI ŁAŃCUCHOWEJ RS 560

STABILITY TESTS AND ASSESSMENT OF THE BUCKET CHAIN EXCAVATOR RS 560

Jerzy Alenowicz, Marek Onichimiuk, **Marian Wygoda** - „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

Podano przyczyny i uwarunkowania prowadzenia badań i oceny stateczności koparek górnictwa odkrywkowego. Przedstawiono sposób prowadzenia badań oraz metodę oceny stateczności. Omówiono zagadnienie korekty stateczności na podstawie uzyskanych wyników badań. Zaprezentowano uzyskane wyniki badań koparki łańcuchowej Rs 560. Stwierdzono, że stateczność koparki jest zachowana dla wszystkich stanów obciążeń zgodnie z normą ISO 5049-1.

Słowa kluczowe: górnictwo odkrywkowe, badania, ocena, stateczność, koparka łańcuchowa

The reasons and conditions for testing and assessing of open cast mining excavators stability have been given. The way of conducting tests and the method for assessing stability have been showed. The issue of stability correction based on obtained tests results has been discussed. The obtained bucket chain excavator Rs 560 test results have been presented. It has been found that the excavator's stability is maintained for all load states in accordance with the ISO5049-1 standard.

Keywords: open cast mining, tests, assessment, stability, bucket chain excavator

Wstęp

Stateczność koparek wielonaczyniowych należy do najważniejszych czynników mających wpływ na ich bezpieczeństwo pracy i trwałość. Wynika to ze specyfiki budowy tych maszyn charakteryzującej się bardzo dużymi wysięgami podstawowych zespołów roboczych, co z kolei związane jest z technologią wydobycia węgla brunatnego metodą odkrywkową [1]. Na skutek utraty stateczności może dojść do wywrotu nadwozia lub całej maszyny co w praktyce oznacza jej zniszczenie. Przykładem może być awaria koparki SchRs1200 w KWB „Adamów”, gdzie na skutek utraty równowagi statycznej doszło do przewrócenia się i całkowitego zniszczenia nadwozia [2]. Ponadto przy położeniu środka ciężkości nadwozia odbiegającego od położenia dokumentacyjnego, zachodzi przyspieszone zużycie bieżni łożyska kulowego, co poza zmniejszeniem jego trwałości prowadzi do powstawania dodatkowych obciążeń ustrojów nośnych, zwłaszcza konstrukcji dźwigarów. Awarii dźwigarów pierścieniowych należą do najczęstszych awarii konstrukcji nośnych 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. W przypadku maszyn nowych przed przekazaniem ich do eksploatacji, należy określić rzeczywiste współrzędne położenia środka ciężkości nadwozia, ponieważ przy tak złożonych

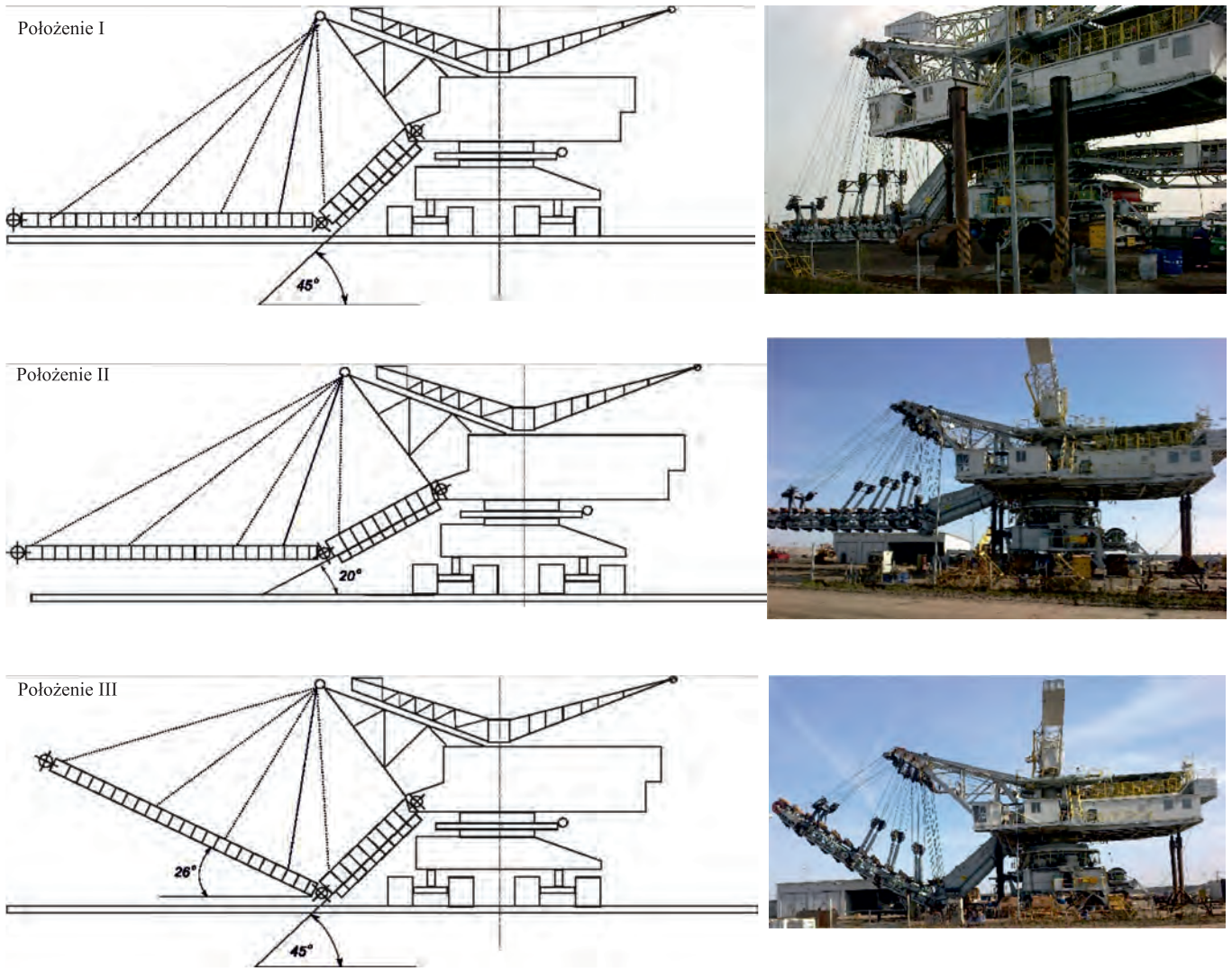
obiektach jakimi są koparki górnictwa odkrywkowego, nie sposób jest obliczyć dokładnie jego położenie. Natomiast w przypadku maszyn poddanych długoletniej eksploatacji często dochodzi do ich modernizacji, przebudowy itp., co powoduje zwykle zmianę wartości i rozkładów mas na nadwoziu, a to z kolei może powodować naruszenie warunków równowagi statycznej [1].

W celu określenia stateczności należy przede wszystkim wyznaczyć rzeczywiste położenie środka ciężkości budowanego obiektu. W niniejszym artykule przedstawiono badania stateczności koparki Rs 560. Jest to koparka łańcuchowa, obrotowa na podwoziu gąsienicowym produkcji: VEB Schwermashinenbau Magdeburg-Buckau Niemcy. Wydajność teoretyczna wynosi 700 m³/h, wysokość urabiania 15 m, głębokość urabiania 15 m, całkowita moc zainstalowana ok. 1000 kW.

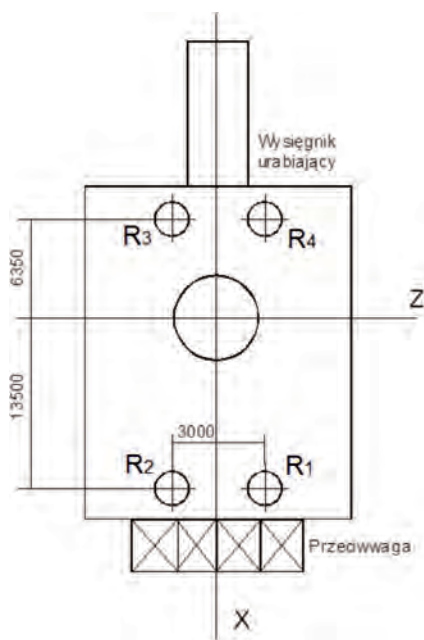
Doświadczalne wyznaczenie położenia środka ciężkości nadwozia koparki Rs 560

Środek ciężkości koparki wyznaczono poprzez pomiar sił reakcji od obciążenia ciężarem nadwozia obrotowego koparki wraz z wysięgnikiem urabiającym w punktach podparcia nadwozia [3].

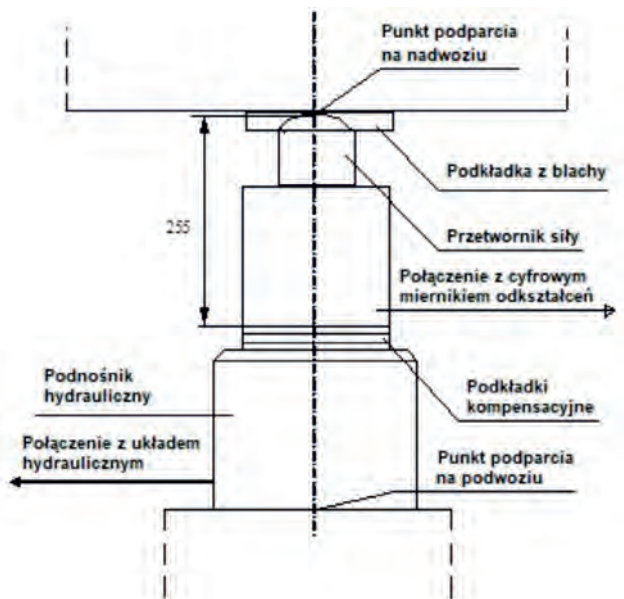
Wartość siły reakcji i położenie środka ciężkości nadwozia obrotowego wyznaczono trzykrotnie unosząc



Rys. 1. Schemat koparki wraz z położeniem wysięgnika urabiającego podczas pomiarów
 Fig.1. Scheme of the excavator with the location of the working boom during tests



Rys. 2. Rozmieszczenie punktów podparcia nadwozia obrotowego
 Fig. 2. Location of rotary superstructure suport points



Rys. 3. Usytuowanie podnośnika hydraulicznego i przetwornika siły pomiędzy punktami podparcia
 Fig. 3. Location of hydraulic jack and force transducer between support points

nadwozie podnośnikami hydraulicznymi za pośrednictwem przetworników siły, dla każdego z trzech położenia wysięgnika urabiającego (rys. 1). Wyróżniono tu trzy położenia wysięgnika urabiającego :

położenie 1 – wysięgnik poziomo do terenu, rynną maksymalnie opuszczona

położenie 2 – wysięgnik poziomo do terenu, rynną maksymalnie uniesiona

położenie 3 – wysięgnik maksymalnie uniesiony, rynną maksymalnie opuszczona

Wartości sił reakcji w przetwornikach zarejestrowano programem Catman5.0, wykorzystując wzmacniacz pomiarowy DMC plus produkcji Hottinger Baldwin Messtechnik Niemcy.

Rozstaw punktów podparcia wraz z rozmieszczeniem dynamometrów pokazuje rysunek 2, usytuowanie podnośników hydraulicznych i dynamometrów przedstawiono na rysunku 3. Korzystając z otrzymanych wartości sił reakcji od obciążeń w poszczególnych punktach pomiarowych oraz wartości odległości tych punktów od osi obrotu nadwozia otrzymano współrzędne położenia środka ciężkości zgodnie ze wzorem:

$$W = \begin{cases} x_c = \frac{\sum R_i \cdot x_i}{\sum R_i} \\ z_c = \frac{\sum R_i \cdot z_i}{\sum R_i} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie: R_i – reakcje cząstkowe; x_i, z_i – współrzędne obciążeń cząstkowych wg przyjętego układu odniesienia; x_c, z_c – współrzędne środka ciężkości wg przyjętego układu odniesienia; N – ilość punktów pomiarowych ($n = 4$); $\sum R_i = Q_c$ – ciężar nadwozia otrzymany w wyniku pomiarów.

Przyjęto poziomy prawoskrętny układ współrzędnych XZ, którego początek stanowi oś obrotu, a oś X wyznacza pionowa płaszczyzna symetrii układu: wysięgnik urabiający- wysięgnik przenośnika załadowniczego.

Po uniesieniu nadwozia sprawdzono czy całkowicie spoczywa ono na dynamometrach poprzez sprawdzenie luzu kul na łożysku obrotnicy. Ze względu na istnienie w koparce wału królewskiego sprawdzono czy po uniesieniu nadwozia wał królewski nie opiera się o segmenty łożyska obrotnicy [4].

Wartość siły reakcji w poszczególnych punktach pomiarowych otrzymano zgodnie ze wzorem

$$R_i = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \cdot k_i \quad (2)$$

gdzie: R_i – wartość sił reakcji; ε_1 - odczyt ze wskazań cyfrowego miernika odkształceń DMCplus przed obciążeniem dynamometrów; ε_2 – odczyt ze wskazań cyfrowego miernika odkształceń DMCplus po obciążeniu dynamometrów; k_i – współczynnik regresji charakterystyki poszczególnych dynamometrów.

Wstawiając wartości otrzymanych wyników pomiarów reakcji R_i oraz wartości ich współrzędnych w przyjętym układzie odniesienia do wzoru (1) otrzymano współrzędne (x_c, z_c) środka ciężkości nadwozia koparki. Jako wyniki badań przyjmuje się wartości współrzędnych będące średnimi arytmetycznymi wyników co najmniej trzech pomiarów dla

danego położenia wysięgnika urabiającego. Wyniki pomiarów dla nadwozia koparki Rs 560 zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Współrzędne środka ciężkości nadwozia koparki Rs 560 dla położenia wysięgnika urabiającego według rys. 1

Tab. 1. The coordinates of the superstructure gravity center of the excavator Rs 560 for the working boom position according to Figure 1

położenie wysięgnika urabiającego	x_c	z_c
	m	m
I	-0,30	-0,08
II	-0,79	-0,13
III	-0,24	-0,13

Ciężar nadwozia Q_c otrzymano w wyniku 9. pomiarów (po trzy pomiary dla każdego położenia wysięgnika urabiającego). Ciężar nadwozia obrotowego koparki wynosi średnio: $Q_c = 4295$ kN.

Analiza i ocena stateczności nadwozia koparki Rs 560

Nadwozie koparki spoczywa na łożu kulowym o średnicy $\varnothing 3100$ mm na 80. kulach o średnicy $\varnothing 120$ mm i dodatkowo utrzymywane jest w środku obrotu przez wał królewski. Jest to układ statycznie niewyznaczalny [3].

W celu oceny stateczności nadwozia należy porównać położenie środka ciężkości otrzymane w wyniku badań z położeniem dokumentacyjnym (zawartym w Dowodzie Stateczności koparki Rs 560). Ze względu na fakt, że położenie wysięgnika urabiającego w poz. II według rysunku 1 jest najbardziej niekorzystne ze względu na stateczność (największa wartość momentu wywracającego) stąd też porównanie należy przeprowadzić przede wszystkim dla tego położenia. Porównanie dla pozostałych położen należy również wykonać, ale ma ono jedynie charakter kontrolny.

Według Dowodu Stateczności koparki współrzędna x położenia środka ciężkości nadwozia wynosi 1,45 m. Współrzędną tą obliczono dla wysięgnika urabiającego w poziomie i rynną maksymalnie uniesionej. Ponieważ w trakcie pomiarów położenia tego nie można było uzyskać ze względów technicznych (nie ma możliwości tak wysokiego uniesienia rynn) dokonano na podstawie dokumentacji przeliczenia wartości położenia środka ciężkości dla rynn jak podczas pomiarów (poł. II rys. 1). Współrzędna położenia środka ciężkości nadwozia dla tego położenia wynosi $x_1 = 1,29$ m. (Obliczeń dokonano tylko w płaszczyźnie XY uznając, że w tej płaszczyźnie istnieje największe prawdopodobieństwo utraty stateczności).

Korekta stateczności nadwozia koparki Rs 560

Położenie środka ciężkości nadwozia koparki uzyskane w wyniku pomiarów na obiekcie wynosi $x_c = -0,79$ m (dla poł. II wysięgnika urabiającego). Położenie środka ciężkości nadwozia według Dowodu Stateczności koparki wynosi po korekcie $x_1 = 1,29$ m. Z powyższego wynika, że współrzędna środka ciężkości nadwozia koparki jest przesunięta o 0,5 m w kierunku przeciwwagi w stosunku do położenia dokumentacyjnego. W celu dokonania korekty stateczności należy dokonać zmian w ciężarze balastu na przeciwwadze.

Obliczenia wartości tych zmian dokonano według wzoru (3), a wyniki zestawiono w tabeli 2.

$$G_d = G_c \cdot \frac{x_t - x_c}{x_d - x_t} \quad (3)$$

gdzie: x_t – położenie środka ciężkości obliczone na podstawie danych dokumentacyjnych; x_d – współrzędna x dodatkowego balastu; x_c – współrzędna x ciężaru konstrukcji nadwozia obrotowego; G_c – ciężar nadwozia koparki otrzymany z pomiaru.

Tab. 2. Obliczony ciężar balastu dodatkowego G_d dla położenia środka ciężkości x_t

Tab. 2. Calculated additional ballast weight for the superstructure gravity center x_t

x_c	x_t	G_c	x_d	G_d
m	m	kN	m	kN
-0,790	-1,290	4295,0	16,1	-123,5

Z dokonanych obliczeń wynika, że w celu uzyskania położenia środka ciężkości nadwozia zgodnego z dokumentacyjnym należy z przeciwwagi zdjąć ciężar wynoszący 123,5 kN.

Analiza i ocena stateczności koparki Rs 560

Analizę i ocenę stateczności koparki przeprowadzono w oparciu o normę ISO 5049-1 [5]. Miarą oceny stateczności według powyższej normy są współczynniki stateczności przed wywróceniem v . Współczynniki te definiowane są według wzoru

$$v = \frac{M_s}{M_k} \quad (4)$$

gdzie: M_s – moment ustalający od wszystkich obciążeń stałych, obliczony względem przyjętej krawędzi wywrotu; M_k – moment wywracający od wszystkich obciążeń zmiennych, obliczony według przyjętej krawędzi wywrotu dla przypadków obciążeń według normy ISO 5049-1: I – obciążenia główne, II – obciążenia główne i dodatkowe; III – obciążenia główne, dodatkowe i specjalne. Sposób obliczenia i kojarzenia przedstawionych tu obciążeń podany jest w powyższej normie.

Sprawdzenie stateczności przed wywróceniem należy przeprowadzić względem tej krawędzi wywrotu, która daje najmniejszy współczynnik bezpieczeństwa. Przyjmuje się, że ruchome elementy ciężaru własnego urządzenia znajdują się w najniekorzystniejszych położeniach.

W przypadku koparki Rs 560 krawędź wywrotu przyjęto w osi mocowania gaśienic do dźwigara podwozia (1,5 m od poziomu gruntu). Krawędź ta wynosi 2,46 m od osi obrotu koparki.

Współrzędne stateczności przed wywróceniem v (według wzoru 4) można przedstawić w postaci:

$$v = \frac{M_s}{M_k} = \frac{\frac{f}{e}}{1 - \frac{\sum P_v}{G} \cdot \left(\frac{f}{e} - 1\right)} \quad (5)$$

gdzie: f – odległość środka ciężkości G ciężaru własnego

urządzenia od przyjętej krawędzi wywrotu, e – wyrażone jest równaniem:

$$e = \frac{\sum P_h h + \sum P_v (a + f)}{G + \sum P_v} \quad (6)$$

gdzie: h – pionowy odstęp sumy wszystkich sił poziomych ($\sum P_h$) od krawędzi wywrotu; a – poziomy odstęp sumy wszystkich sił pionowych ($\sum P_v$) od krawędzi wywrotu. Współczynniki bezpieczeństwa przed wywróceniem dla poszczególnych przypadków obciążeń zestawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Współczynniki bezpieczeństwa przed wywróceniem
Tab. 3. Safety ratios against overturning

przypadek obciążeń	v_k
według normy ISO 5049-1	
I	1,5
II	1,3
III	1,2

Ocenę stateczności przeprowadzono dla położenia środka ciężkości i jego ciężaru uzyskanych w wyniku pomiarów dla położenia wysięgnika urabiającego II (według rys. 1) oraz dla wysięgnika zrzutowego ustawionego pod kątem 45 stopni w stosunku do wysięgnika urabiającego jako najbardziej niekorzystnego ze względu na stateczność.

Tab. 4. Wartości współczynników bezpieczeństwa przed wywróceniem koparki Rs 560

Tab. 4. The values of safety ratios against overturning for the excavator Rs 560

przypadek obciążenia	wartość v	
	wg badań i obliczeń	minimalny wg normy ISO5049-1
I	3,33	1,5
II	2,97	1,3
III	1,79	1,2

Wartości współczynników bezpieczeństwa koparki Rs 560 uzyskane na podstawie badań i obliczeń według normy ISO5049-1 zestawiono w tabeli 4. Wynika z niej, że warunki stateczności dla koparki Rs 560 zostały zachowane dla wszystkich przypadków obciążeń. Wobec powyższego nie ma konieczności prowadzenia korekty stateczności dla koparki według normy ISO 5049-1.

Wnioski i podsumowanie

Stateczność koparek wielonaczyniowych górnictwa odkrywkowego ze względu na specyfikę ich budowy i użytkowania należy do najważniejszych czynników mających wpływ na bezpieczeństwo pracy i trwałość tych maszyn. Badania i ocena stateczności prowadzone są zarówno dla maszyn nowych jak i poddanych długotrwałej eksploatacji. W artykule przedstawiono badania i ocenę stateczności koparki łańcuchowej Rs 560 po długoletniej eksploatacji i modernizacji. Ocenę stateczności przeprowadzono w stosunku do obrotowego nadwozia koparki

jak i nadwozia wraz z podwoziem. Do oceny stateczności niezbędne jest wyznaczenie położenia środka ciężkości badanego obiektu. Środek ciężkości nadwozia wyznaczono poprzez jego całkowite uniesienie i pomiar wartości wszystkich reakcji. Do pomiaru wartości reakcji w miejscach podparcia użyto specjalnych dynamometrów (tensometrycznych przetworników siły) o zakresie 5 – 3434 kN każdy. W wyniku badań stwierdzono, że środek ciężkości nadwozia dla położenia wysięgnika urabiającego poziomo do terenu i rynnę uniesionej (położenia II rys. 1) jest przesunięty w stosunku do położenia dokumentacyjnego (Dowód Stateczności koparki Rs 560) o 0,5 m w

kierunku przeciwwagi. W celu uzyskania położenia środka ciężkości nadwozia zgodnego z dokumentacją należy zdjąć z balastu przeciwwagi ciężar 123,5 kN. Oceny stateczności całej koparki (nadwozie + podwozie) dokonano w oparciu o normę ISO 5049-1. W wyniku badań dokonano obliczenia współczynników stateczności przed wywróceniem i wyniosły one: $v=3,33$ dla obciążeń głównych; $v=2,97$ dla obciążeń głównych i dodatkowych; $v=1,79$ dla obciążeń głównych, dodatkowych i specjalnych. Na tej podstawie można stwierdzić, że stateczność koparki Rs 560 dla wszystkich stanów obciążeń jest zachowana zgodnie z normą ISO 5049-1.

Literatura

- [1] Alenowicz J., *Stateczność nadwozi koparek i zwalowarek górnictwa odkrywkowego*. Górnictwo Odkrywkowe nr 6/2009
- [2] Babiarsz S., Dudek D., *Kronika awarii i katastrof maszyn podstawowych w polskim górnictwie odkrywkowym*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007
- [3] Onichimiuk M., Wygoda M., Wojtowicz A., *Doświadczalne wyznaczenie środka ciężkości nadwozia koparki Rs 560/2 w tym: -wykonanie doświadczalnego wyznaczenia położenia środka ciężkości nadwozia koparki; - wykonanie doświadczalnego wyznaczenia położenia środka ciężkości wysięgnika przeciwwagi koparki*. Praca niepublikowana, nr arch. 6722/IGO, Wrocław 2014
- [4] Alenowicz J., *Instrukcja wyważania nadwozi wybranych typów maszyn podstawowych w górnictwie odkrywkowym*. Praca niepublikowana, nr arch. 2857/IGO, Wrocław 1991
- [5] Norma ISO 5049-1. *Urządzenia przejezdne do transportu ciągłego materiałów sypkich*. Cz.1 Wytyczne do obliczeń statycznych konstrukcji nośnych



Fot. Pracownia NS Poltegor – Instytut

Kopalnia Wapienia „Połom” w Wojcieszowie