

BADANIA I OCENA STATECZNOŚCI WYSIĘGNIKA PRZECIWWAGI Z WYSIĘGNIKIEM PRZENOŚNIKA ZAŁADOWCZEGO KOPARKI Rs560

STABILITY TESTS AND ASSESSMENT OF THE COUNTERWEIGHT BOOM WITH DISCHARGE CONVEYOR BOOM OF THE EXCAVATOR Rs560

Jerzy Alenowicz, Marek Onichimiuk, Robert Rosik - "Poltegor-Institut" Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

Podano przyczyny prowadzenia badań i oceny stateczności układu: wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadownego koparek łańcuchowych górnictwa odkrywkowego. Przedstawiono sposób prowadzenia badań oraz metodę oceny stateczności. Zaprezentowano uzyskane wyniki badań. Omówiono zagadnienie korekty stateczności na podstawie uzyskanych wyników badań. Stwierdzono, że dla uzyskania położenia środka ciężkości układu wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika zrzutowego zgodnego z położeniem dokumentacyjnym należy na przeciwwadze układu umieścić dodatkowy ciężar. Wartość ciężaru dodatkowego wynosi 34,4 kN. Wskazano na konieczność prowadzenia badań stateczności układów: wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadownego koparek łańcuchowych.

Słowa kluczowe: *górnictwo odkrywkowe, koparka łańcuchowa, wysięgnik przeciwwagi, wysięgnik przenośnika załadownego, badania, ocena, stateczność.*

The reasons for testing and assessing of the counterweight boom – discharge conveyor boom system of chain excavators for open cast mining have been given. The way of conducting tests and the method for assessing stability have been showed. The obtain test results have been presented. The issue of stability correction based on obtain tests results has been discussed. It has been found that in order to obtain the center gravity position of the counterweight boom – discharge conveyor boom system in accordance with documentary position, an additional weight should be placed on the counterweight system. The value of additional weight is 34,4 kN. The necessity of testing stability of counterweight boom – discharge conveyor boom systems of chain excavators has been indicated.

Keywords: *open cast mining, bucket chain excavator, counterweight boom, discharge conveyor boom, tests, assessment, stability.*

Wstęp

Zespołem, który w przypadku koparek łańcuchowych ma znaczący wpływ na stateczność jest poza nadwoziem [1] zespół układu wysięgnik przeciwwagi – wysięgnik przenośnika załadownego. Wynika to ze specyfiki budowy koparek łańcuchowych, w których wysięgnik przenośnika załadownego utrzymywany jest w równowadze statycznej za pomocą oddzielnego wysięgnika przeciwwagi osadzonego na tym samym wale królewskim co całe nadwozie maszyny [2].

Wartość balastu na przeciwwadze, tak jak w przypadku nadwozia jest regulowana w zależności od położenia środka ciężkości powyższego układu. Ze względu na stosunkowo częstą modernizację przenośnika załadownego (np. zmiana szerokości i prędkości taśmy, zmiana krążników) zmianie ulegają wartości rozmieszczonych na nim ciężarów co ma wpływ na stateczność tego układu, a tym samym stateczność nadwozia jak i całej maszyny. Dlatego też układ wysięgnika przeciwwagi z wysięgnikiem przenośnika załadownego powinien w przypadku koparek łańcuchowych

być poddany badaniom stateczności tak jak nadwozie jak i cała maszyna [1].

W celu określenia stateczności należy przede wszystkim wyznaczyć rzeczywiste położenie środka ciężkości powyższego układu, z tym że badania w tym przypadku różnią się (choć nieznacznie) od standardowych badań nadwozia co zostało przedstawione w poniższym artykule. W artykule tym przedstawiono badania stateczności układu wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadowniczego koparki Rs560. Jest to zmodernizowana koparka łańcuchowa obrotowa na podwoziu gąsienicowym produkcji: VEB Schwermaschinenbau Magdeburg-Backau (Niemcy). Wydajność teoretyczna wynosi 700 m³/h, wysokość urabiania 15 m, głębokość urabiania 15 m, całkowita moc zainstalowana ok. 1000 kW, szerokość taśmy przenośnika załadowniczego -B1400, długość przenośnika załadowniczego (między bębni) - 27 m, odległość osi bębna napędowego przenośnika załadowniczego od osi obrotu - 3,3 m, masa nosiwa na przenośniku załadowniczym dla $\gamma = 1700 \text{ kg/m}^3 - 10282 \text{ kg}$.

Doświadczalne wyznaczenie położenia środka ciężkości układu: wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośników załadowniczego

Do określenia położenia środka ciężkości układu wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadowniczego zastosowano metodę opartą na:

- pomiarach reakcji od obciążeń ciężaru wysięgnika przeciwwagi,
- pomiarach składowej pionowej siły pochodzącej od ciężaru wysięgnika przenośnika załadowniczego podpartego w punkcie zawieszenia [3].

W trakcie pomiarów dokonano czterokrotnego uniesienia i opuszczenia wysięgnika przeciwwagi za pomocą podnośników hydraulicznych na przetworniki siły typu 350T (dynamometry), produkcji „Poltegor-Instytut” IGO. Opuszczanie ciężaru na przetworniki siły jest korzystniejsze ze względu na dokładność pomiaru w stosunku do unoszenia go za pomocą siłowników i ustawionych na nich przetwornikach siły, lecz nie zawsze jest to możliwe technicznie [4]. W celu wyeliminowania wpływu składowej poziomej siły pochodzącej od jego zawieszenia, wysięgnik przenośnika załadowniczego w trakcie pomiarów podparty został na podporze. Osobnym pomiarem wyznaczono wartość siły reakcji w punkcie podparcia wysięgnika przenośnika załadowniczego. Wpływ ciężaru wysięgnika załadowniczego na położenie środka ciężkości układu uwzględniony został w obliczeniach. Rozstaw punktów podparcia wraz z rozmieszczeniem dynamometrów przy pomiarze wysięgnika przeciwwagi pokazano na rysunku 1, usytuowanie podnośników hydraulicznych i dynamometrów przedstawiono na rysunku 3, natomiast na rysunku 2 przedstawiono sposób podparcia i pomiar siły reakcji wynikającej z ciężaru wysięgnika przenośnika załadowniczego.

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

Korzystając z otrzymanych wartości sił reakcji od obciążeń w poszczególnych punktach pomiarowych oraz wartości odległości tych punktów od osi obrotu wysięgnika przeciwwagi otrzymano współrzędne położenia środka ciężkości zgodnie ze wzorem:

$$W = \begin{cases} x_0 = \frac{\sum (R_i \cdot x_i)}{\sum R_i} \\ z_0 = \frac{\sum (R_i \cdot z_i)}{\sum R_i} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie: R_i – reakcje cząstkowe; x_i, z_i – współrzędne obciążeń cząstkowych wg przyjętego układu odniesienia; x_0, z_0 – współrzędne środka ciężkości wg przyjętego układu odniesienia; N – ilość punktów pomiarowych ($n = 4$); $\sum R_i = G_0$ – ciężar wysięgnika przeciwwagi otrzymany w wyniku pomiarów.

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

Po uniesieniu wysięgnika przeciwwagi sprawdzono czy całkowicie spoczywa on na dynamometrach poprzez sprawdzenie luzu kul na łożysku obrotu wysięgnika. Ze względu na istnienie w koparce wału królewskiego sprawdzono czy po uniesieniu wysięgnika przeciwwagi wał królewski nie opiera się o segmenty jego łożyska.

Wartości sił reakcji w poszczególnych punktach pomiarowych otrzymano zgodnie ze wzorem

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

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_0, z_0) środka ciężkości wysięgnika przeciwwagi. Jako wyniki badań przyjmuje się wartości współrzędnych będące średnimi arytmetycznymi wyników z co najmniej trzech (w tym przypadku czterech) pomiarów. Wyniki pomiarów dla wysięgnika przeciwwagi koparki Rs560 zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Współrzędne środka ciężkości wysięgnika przeciwwagi oraz jego ciężar uzyskane w wyniku pomiarów

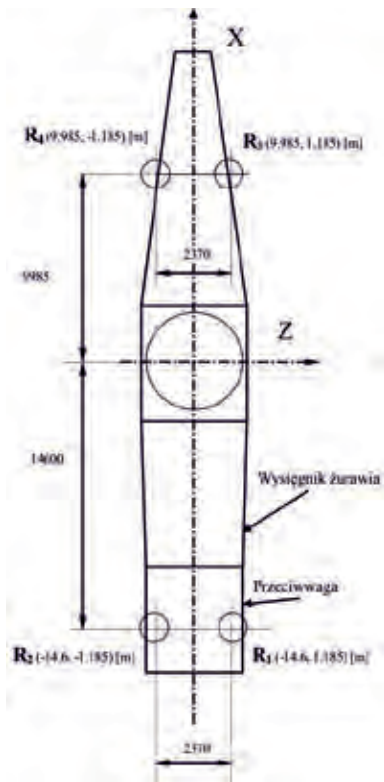
Tab. 1. The gravity center coordinates of the counterweight boom and the weight obtained as a result of measurements

Nr pomiaru	x_0 [m]	z_0 [m]	G_1 [kN]
1	-6,032	0,178	545,51
2	-6,106	0,159	542,48
3	-6,060	0,155	543,81
4	-6,068	0,142	542,69

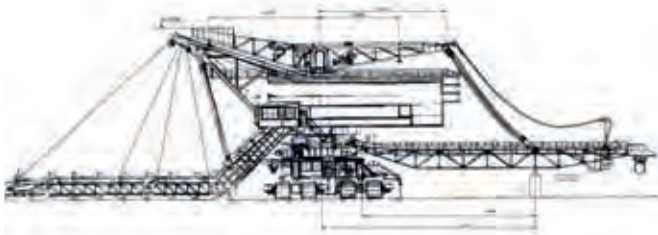
Na podstawie danych z tabeli 1 przyjęto średnie wartości współrzędnych położenia środka ciężkości z czterech pomiarów:

$$x_0 = -6,07 \text{ [m]}, z_0 = 0,16 \text{ [m]}$$

oraz średni ciężar konstrukcji wysięgnika przeciwwagi: $G_0 = 543,6 \text{ kN}$



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów podparcia wsięgnika przeciwwagi
Fig. 1. Location of counterweight boom support points



Rys. 2. Schemat koparki Rs560. Pomiar siły reakcji pochodzącej od ciężaru wsięgnika przenośnika załadowniczego
Fig. 2. Scheme of the excavator Rs560. Measurement of reaction force from the weight of the discharge conveyor boom

Jak podano powyżej określono również wartość składowej pionowej siły pochodzącej od ciężaru wsięgnika przenośnika załadowniczego. W tym celu podparto wsięgnik przenośnika załadowniczego do całkowitego zluźnienia lin nośnych. W miejscu podparcia umieszczono dynamometr pomiarowy (rys. 2). Dokonano trzykrotnego pomiaru wartości siły reakcji R_p unosząc każdorazowo wsięgnik przenośnika załadowniczego i opuszczając go na dynamometr. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

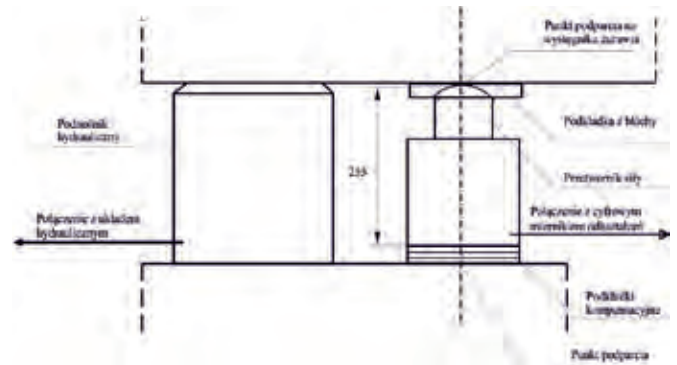
Na podstawie danych z tabeli 2 przyjęto średnią wartość składowej pionowej siły pochodzącej od ciężaru wsięgnika przenośnika załadowniczego P_2 .

$$P_2 = 254,16 \text{ kN}$$

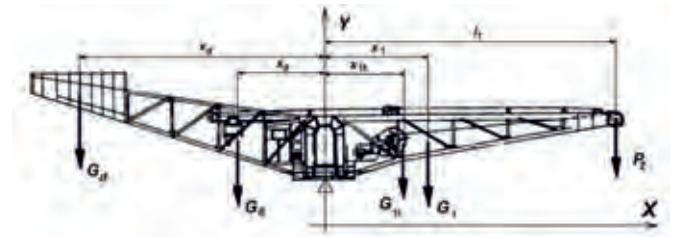
Tab. 2. Wyniki doświadczalnego wyznaczenia siły reakcji w punkcie podparcia wsięgnika przenośnika załadowniczego
Tab. 2. Results of the experimental determination of the reaction force at the discharge conveyor boom support point

Nr pomiaru	ozn.	R_p [kN]
1	P_2	254,16
2	P_2	254,09
3	P_2	254,24

Następnie w oparciu o uzyskane wyniki pomiarów obliczono współrzędne położenia środka ciężkości układu: wsięgnik przeciwwagi – wsięgnik przenośnika załadowniczego. Schemat obciążeń układu wsięgnik przeciwwagi – wsięgnik przenośnika załadowniczego przedstawiono na rysunku 4.



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



Rys. 4. Schemat obciążeń wsięgnika przeciwwagi wraz z reakcją od ciężaru wsięgnika przenośnika załadowniczego
Fig. 4. Diagram of counterweight boom loads with a reaction from the weight of the discharge conveyor boom

gdzie:

- x_1 współrzędna położenia środka ciężkości układu wsięgnik przeciwwagi – wsięgnik przenośnika załadowniczego wg pomiarów,
- G_1 sumaryczny ciężar układu wsięgnik przeciwwagi – wsięgnik przenośnika załadowniczego wg pomiarów,
- G_0 ciężar wsięgnika przeciwwagi wg pomiarów,
- x_0 współrzędna środka ciężkości wsięgnika przeciwwagi,
- P_2 składowa pionowa siły reakcji w punkcie podparcia wsięgnika przenośnika załadowniczego,
- l_1 odległość zawieszenia wsięgnika przenośnika załadowniczego od środka obrotu
- x_{1t} współrzędna położenia środka ciężkości układu wsięgnik przeciwwagi – wsięgnik przenośnika załadowniczego wg dokumentacji
- G_{1t} sumaryczny ciężar układu wsięgnik przeciwwagi – wsięgnik przenośnika załadowniczego wg dokumentacji,
- x_d współrzędna położenia środka ciężkości ciężaru przeciwwagi,
- G_d ciężar dodatkowy umieszczony na przeciwwadze.

Wyniki obliczeń położenia środka ciężkości układu: wsięgnik przeciwwagi – wsięgnik przenośnika załadowniczego zamieszczono w tabeli 3.

Tab. 3. Współrzędne środka ciężkości układu: wysięgnik przeciwwagi – wysięgnik przenośnika załadunkowego uzyskane w wyniku pomiarów
 Tab. 3. The gravity center coordinates of the counterweight boom - discharge conveyor boom system as a result of measurements

Zespoły układu wysięgnik przeciwwagi – wysięgnik przenośnika załadunkowego wraz z zawieszeniem	G_i	x_i	$M_i = G_i \cdot x_i$
	kN	m	kNm
Wysięgnik przeciwwagi	543,6	-6,07	-3299,65
Wysięgnik przenośnika załadunkowego	254,16	21,18	5383,11
Talerz	566,53	-0,1	-56,65
Σ	1364,29	1,49	2026,81

Przy czym współrzędną powyższego układu x_1 uzyskano korzystając z wzoru:

$$x_1 = \frac{\sum M_{it}}{\sum G_{it}} = 1,49m \quad (3)$$

Analiza stateczności układu: wysięgnik przeciwwagi – wysięgnik przenośnika załadunkowego koparki Rs560

Wysięgnik przeciwwagi koparki spoczywa na łożu kulowym o średnicy \varnothing 1800 mm na 74 kulach o średnicy \varnothing 69,8 mm i dodatkowo utrzymywany jest w środku obrotu przez wał królewski. Jest to układ statycznie niewyznaczalny.

W celu oceny stateczności układu wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadunkowego porównano położenie środka ciężkości układu otrzymane w wyniku badań z położeniem dokumentacyjnym według [5].

Porównania dokonano dla kąta uniesienia wysięgnika przenośnika załadunkowego = 0 (wysięgnik poziomo do podłoża)

Wyniki obliczeń układu: wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadunkowego na podstawie danych z [5] zestawiono w tabeli 4.

Tab. 4 Współrzędne środka ciężkości układu: wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadunkowego uzyskane na podstawie dokumentacji
 Tab. 4. The gravity center coordinates of the counterweight boom - discharge conveyor boom system obtained on the basis of documentation

Zespoły układu wysięgnik przeciwwagi – wysięgnik przenośnika załadunkowego wraz z zawieszeniem	G_{it}	x_{it}	$M_{it} = G_{it} \cdot x_{it}$
	kN	m	kNm
Wysięgnik przeciwwagi	549,26	-7,00	-3844,82
Wysięgnik przenośnika załadunkowego	257,32	21,18	5450,04
Talerz	566,53	-0,1	-56,65
Σ	1373,11	1,13	1548,57

przy czym współrzędną powyższego układu x_{1t} uzyskano korzystając ze wzoru:

$$x_{1t} = \frac{\sum M_{it}}{\sum G_{it}} = 1,13m \quad (4)$$

Z powyższego porównania wynika, że współrzędna układu wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadunkowego jest przesunięta w stosunku do położenia dokumentacyjnego o 0,36 m w kierunku wysięgnika przenośnika załadunkowego. Obliczeń dokonano tylko w płaszczyźnie XY uznając, że w tej płaszczyźnie istnieje największe prawdopodobieństwo utraty stateczności.

Zagadnienie korekty istniejącego stanu stateczności

Jak wykazano w poprzednim rozdziale położenie środka ciężkości układu: wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik prze-

nośnika załadunkowego obliczone na podstawie pomiarów jest przesunięte w stosunku do położenia obliczonego według danych zawartych w [5] o 0,36 m w kierunku wysięgnika przenośnika załadunkowego. W celu korekty położenia środka ciężkości powyższego układu do położenia dokumentacyjnego należy na jego przeciwwadze umieścić dodatkowy ciężar. Wartość ciężaru dodatkowego obliczono według wzoru (4)

$$G_d = \sum G_i \cdot \frac{x_{1t} - x_1}{x_d - x_{1t}} \quad (5)$$

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 5.

W wyniku obliczeń stwierdzono, że w celu uzyskania położenia środka ciężkości układu wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadunkowego zgodnego z położeniem dokumentacyjnym należy na jego przeciwwadze umieścić dodatkowy ciężar wynoszący 34,4 kN.

Wnioski

Ze specyfiki budowy koparek łańcuchowych wynika, że zespołem który oprócz nadwozia ma znaczący wpływ na ich stateczność jest zespół układu wysięgnik przeciwwagi - wysię-

Tab. 5. Wartość ciężaru dodatkowego dla osiągnięcia położenia środka ciężkości układu wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadunkowego zgodnie z dokumentacją

Tab. 5. Value of additional weight in order to reach the gravity center of the counterweight boom - discharge conveyor boom system according to the documentation

x_1	x_{1t}	ΣG_i	x_d	G_d
m	m	kN	m	kN
1,49	1,13	1364,29	-13,15	34,4

gnik przenośnika załadunkowego. Stąd też zespół ten powinien być poddawany badaniom stateczności tak jak nadwozie, jak i cała koparka. W niniejszym artykule przedstawiono sposób prowadzenia badań wraz z oceną stateczności układu wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadunkowego koparki łańcuchowej Rs560. Do oceny stateczności niezbędne było wyznaczenie położenia środka ciężkości powyższego układu. W tym celu wyznaczono środek ciężkości samego wysięgnika

przeciwwagi poprzez umieszczenie go na dynamometrach pomiarowych i rejestrację wartości reakcji w miejscu podparcia. Współrzędne położenia wysięgnika przeciwwagi wyniosły:

$$x_0 = -6,07 \text{ m}, z_0 = 0,16 \text{ m}$$

a jego ciężar:

$$G_0 = 543,6 \text{ kN}$$

Za pomocą oddzielnego pomiaru wyznaczono wartość składowej pionowej siły P_2 pochodzącej od ciężaru wysięgnika przenośnika załadownego. Pomiaru dokonano poprzez kilkukrotne uniesienie i opuszczenie wysięgnika na dynamometr pomiarowy ustawiony na specjalnym rusztowaniu. Wartość siły P_2 wyniosła 254,16 kN. Następnie w oparciu o uzyskane w wyniku pomiarów dane obliczono współrzędną x_1 położenia środka ciężkości układu wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadownego. Współrzędna ta wyniosła:

$$x_1 = 1,49 \text{ m}$$

Porównano następnie otrzymaną wartość współrzędnej x_1 z wartością obliczoną na podstawie Dowodu Stateczności Ko-

parki Rs560 i stwierdzono, że jest ona przesunięta w stosunku do wartości obliczonej x_{1t} o 0,36 m w kierunku wysięgnika przenośnika załadownego. W celu uzyskania położenia współrzędnej środka ciężkości jak w dokumentacji obliczono wartość ciężaru dodatkowego G_d jaki należy umieścić na przeciwwadze powyższego układu. Wartość ta wyniosła $G_d = 34,4 \text{ kN}$.

Badania przeprowadzone na koparce łańcuchowej Rs560 wykazały znaczne przesunięcie położenia środka ciężkości układu wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika zrzutowego w stosunku do położenia dokumentacyjnego. Oznacza to duże obciążenie wału królewskiego i może być przyczyną jego pęknięcia w górnej części, co stanowi zagrożenie utraty stateczności, zarówno badanego układu nadwozia jak i całej maszyny. Ponadto stan ten powoduje nierównomierne i szybsze zużywanie się bieżni łożyska na którym osadzony jest wysięgnik przeciwwagi co może stwarzać konieczność jego częstszej wymiany co generuje z kolei dodatkowe koszty. Dlatego też badania i ocenę stateczności układu wysięgnik przeciwwagi - wysięgnik przenośnika załadownego należy przeprowadzać zawsze z badaniem stateczności nadwozia jak i całej koparki.

Literatura

- [1] Alenowicz J., Onichimiuk M., Wygoda M., *Badania i ocena stateczności koparki łańcuchowej Rs560*. Górnictwo Odkrywkowe nr 6/2019
- [2] Hawrylak H., Sobolski R., *Maszyny podstawowe górnictwa odkrywkowego*. Wydawnictwo Śląsk Katowice 1967
- [3] Onichimiuk M., Wygoda M., Wojtowicz A., *Doświadczalne wyznaczenie środka ciężkości koparki Rs560/3*. Praca niepublikowana, nr ew. NM.43.1.2017/IGO, Wrocław 2017
- [4] Alenowicz J., *Instrukcja wyważania nadwozi wybranych typów maszyn podstawowych w górnictwie odkrywkowym*. Praca niepublikowana, nr arch. 2857/IGO, Wrocław 1991
- [5] Fijas A., *Modernizacja koparki Rs560. Dowód stateczności. Dokumentacja powykonawcza, 7420.1030.312*. Poltegor-Projekt sp. z o.o 2011



Dolny Śląsk. Piękno Gór Izerskich odrodzonych po katastrofie ekologicznej