

## Badania drgań naczynia wyciągu jednokońcowego w trakcie hamowania bezpieczeństwa

dr inż. Leszek Kowal  
dr inż. Andrzej Niedworok  
mgr inż. Marcin Talarek  
Instytut Techniki Górniczej KOMAG

### Streszczenie:

W artykule przedstawiono wyniki badań drgań wzdlużnych naczynia wyciągowego górniczego wyciągu szybowego wyposażonego w jednokońcową bębnową maszynę wyciągową, przeprowadzonych w trakcie hamowania bezpieczeństwa w warunkach rzeczywistych. Na podstawie wyników badań dokonano oceny wartości przyspieszeń występujących w naczyniu.

### Abstract:

Results of in-situ measurements of longitudinal vibrations of conveyance of mine shaft hoist equipped with one-end drum hoisting machine, taken during safety braking, are given. Acceleration of the conveyance was assessed based on measurement results.

Słowa kluczowe: górnictwo, wyciągi szybowe, maszyny wyciągowe, bezpieczeństwo, badania drgań

Keywords: mining industry, mine shaft hoists, hoisting machines, safety, measurements of vibration

## 1. Wprowadzenie

W artykule przedstawiono badania drgań naczynia wyciągowego w górnim wyciągu szybowym z zainstalowaną maszyną bębnową jednokońcową. Maszyny tego typu nie są powszechnie stosowane, zwłaszcza w szybach głębokich. Z reguły prowadzone są badania drgań naczyń w wyciągach z ciernym sprzężeniem liny na linopędni, tj. w wyciągach dwunaczyniowych (dwukońcowych) powszechnie stosowanych w krajowych wyciągach górnich [1]. Urządzenia tego typu wyposażane są w zawieszenia naczyń z układami do pomiaru sił w linach [0].

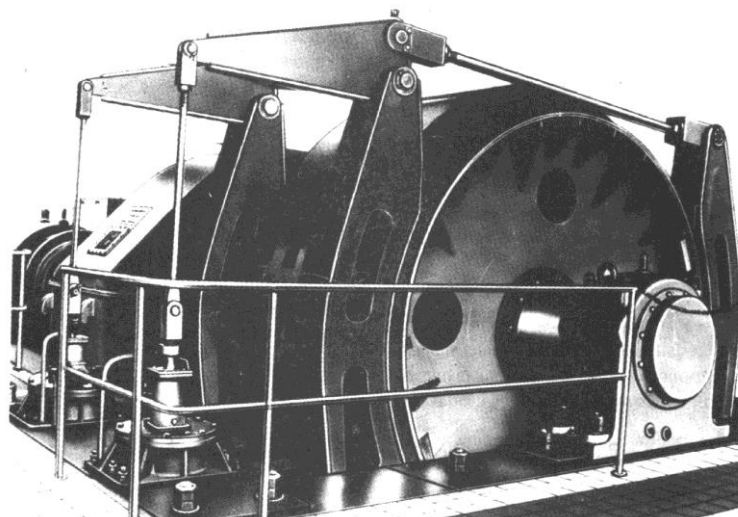
Będący na ukończeniu głąbienia szyb o głąbokości ok. 1300 m stanowił poligon do przeprowadzenia badań, których celem była ocena wartości przyspieszeń, jakie generowane są w naczyniu wyciągowym (kuble) w różnych warunkach jego ruchu tj. kierunku ruchu i wielkości obciążenia zawieszzonego na linie.

Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły na zidentyfikowanie wartości przyspieszeń w naczyniu, a tym samym obciążen, jakim m.in. poddawani są transportowani w nim ludzie w trakcie wyzwolenia procesu tzw. „hamowania bezpieczeństwa”. Proces ten cechuje się bardziej dynamicznymi przebiegami drgań naczynia niż drgania naczynia w trakcie zwalniania maszyny przy dojeździe do poziomów skrajnych i sterowanemu zwalnianiu maszyny silnikiem napędowym.

Wyniki badań posłużyły do weryfikacji modelu matematycznego górniczego wyciągu szybowego jednokońcowego.

## 2. Obiekt badań

Badania drgań przeprowadzono w głębionym górniczym wyciągu szybowym, wyposażonym w zmodernizowaną, jednokońcową maszynę wyciągową typu B-5000 (rys. 1).



Rys. 1. Maszyna wyciągowa B-5000/2×1000

Podstawowe dane górniczego wyciągu szybowego były następujące:

- |  |          |
|--|----------|
| – maksymalna głębokość ciągnięcia                                      | 1250 m,  |
| – masa naczynia (kubel 4 m <sup>3</sup> ) z zawieszeniem i saniami     | 2471 kg, |
| – masa urobku lub materiałów w naczyniu                                | 6400 kg, |
| – masa ludzi (10 osób × 90 kg)   | 900 kg,  |
| – masa koła linowego zredukowana na średnicę nawijania liny (ø4000 mm) | 1338 kg. |

Z kolei parametry maszyny wyciągowej miały następujące wartości:

- |   |               |
|---|---------------|
| – moc silników napędowych   | 2×1000 kW,    |
| – średnica linopędni  | 5 m,          |
| – maksymalna prędkość jazdy   | 8 m/s,        |
| – średnica liny nośnej  | 0,035 m,      |
| – masa elementów wirujących maszyny zredukowana na średnicę nawijania liny    | ok. 51600 kg, |
| – hamulec szczękowy z pneumatyczno-obciążnikowym napędem hamulcowym           | typu HOP-V,   |
| – ciśnienie resztkowe w układzie hamulcowym podczas hamowania bezpieczeństwa: |               |
| – podnoszenie naczynia  | 0,14 MPa,     |
| – opuszczanie naczynia  | 0,35 MPa.     |

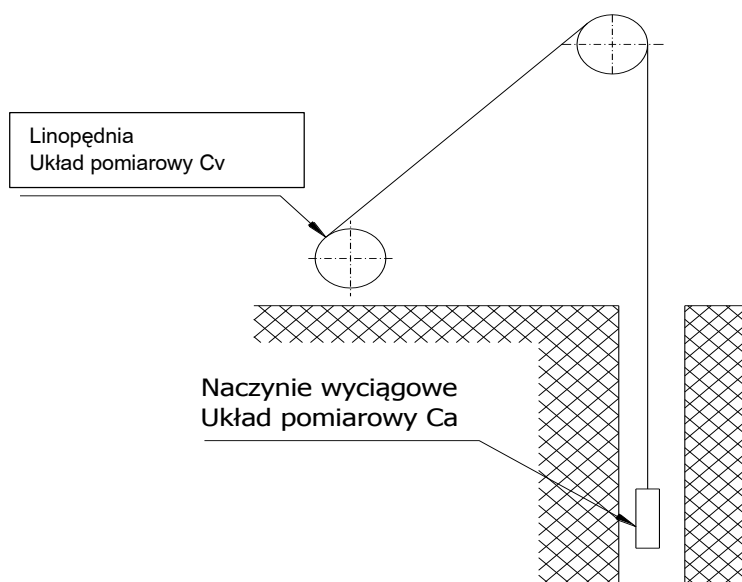
Wieżę wyciągową wraz z kubłem, w którym zamocowano przetwornik przyspieszenia przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Kubel transportowy na zrębie szybu [5]

### 3. Układy pomiarowe

W trakcie badań mierzono i rejestrowano prędkość linopędni maszyny wyciągowej oraz przyśpieszenie wzdłużne naczynia zawieszono na końcu liny. Stosowano dwa układy pomiarowe (rys. 3):

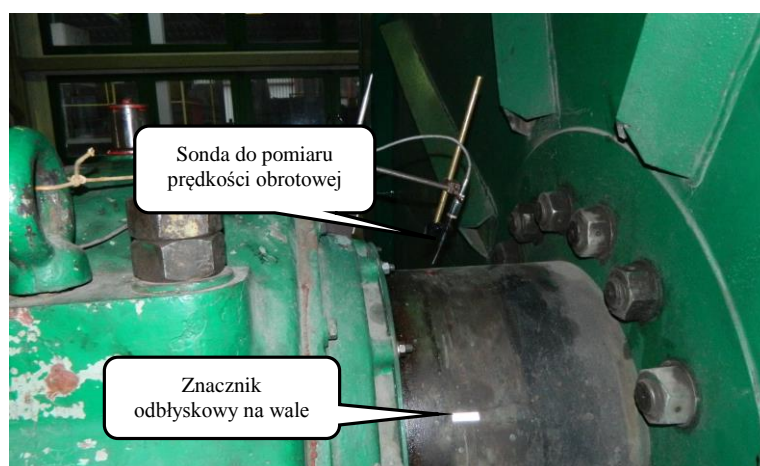


Rys. 3. Rozmieszczenie przetworników pomiarowych na obiekcie rzeczywistym  
[Źródło: opracowanie własne]

- Układ pomiarowy **Ca**, przeznaczony był do pomiaru i rejestracji przyspieszenia naczynia wyciągowego. Składał się on z przetwornika przyspieszenia wraz ze wzmacniaczem pomiarowym oraz komputera rejestrującego. Czujnik przyspieszenia zamontowano bezpośrednio do naczynia wyciągowego (kubła). Układ posiadał niezależne zasilanie.
- Układ pomiarowy **Cv**, przeznaczony był do pomiaru i rejestracji prędkości linopędni. Składał się on z przetwornika pomiaru prędkości linopędni wraz ze wzmacniaczem pomiarowym i komputerem rejestrującym. Pomiar prędkości tym układem zweryfikowano pomiarem z zastosowaniem uniwersalnego miernika drgań i obrotów.

Pomiar przyspieszenia naczynia (**Ca**) realizowano dedykowaną aparaturą pomiarową, zaprojektowaną i wykonaną w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG w Laboratorium Badań Stosowanych. Przetwornik przyspieszenia wykonano w oparciu o przetwornik ADXL311 firmy Analog Devices o zakresie pomiarowym  $\pm 2g$ . Wyjściowy sygnał napięciowy z przetwornika, proporcjonalny do przyspieszenia, podawano na rejestrator Spider8 firmy Hottinger Baldwin Messtechnik.

Prędkość linopędni (**Cv**) mierzono na podstawie sygnału napięciowego tachoprądnicy maszyny wyciągowej. Sygnał napięciowy o wartości 0,06 V odpowiadający 1 obr/min podano na wejście napięciowe rejestratora Spider8 firmy Hottinger Baldwin Messtechnik. W celu weryfikacji poprawności odczytu prędkości linopędni zastosowano przetwornik typu Vibroport 30 firmy Schenck, którego sondę pomiarową zainstalowano na wale linopędni (rys. 4).



Rys. 4. Umiejscowienie sondy przetwornika do pomiaru prędkości linopędni – pomiar weryfikacyjny [5]

Weryfikację poprawności pomiaru prędkości linopędni za pomocą sygnału z tachoprądnicy porównywano ze wskazaniami przyrządu typu Vibroport 30 podczas jazdy ustalonej.

Wspólną podstawę czasu dla obu układów pomiarowych (przyspieszenia oraz prędkości linopędni) zapewniono poprzez synchronizację zegarów systemowych komputerów rejestrujących. Uzyskane sygnały rejestrowano z częstotliwością próbkowania 100 Hz, zależną w głównej mierze od własności sprężystych liny nośnej [1] oraz czasu pomiaru (około 25 min).

#### 4. Badania na obiekcie rzeczywistym

Pomiary wykonano w odniesieniu dla dwóch wariantów obciążenia maszyny wyciągowej:

- opuszczania i podnoszenia pustego naczynia (kubła),
- opuszczania i podnoszenia pełnego naczynia (kubła) – ładunek o masie 6,4 Mg.

Wykonano je dwukrotnie dla każdego obciążenia maszyny. W trakcie każdego pomiaru wykonywano cztery hamowania bezpieczeństwa, według wariantów obciążenia przedstawionych w tabeli 1.

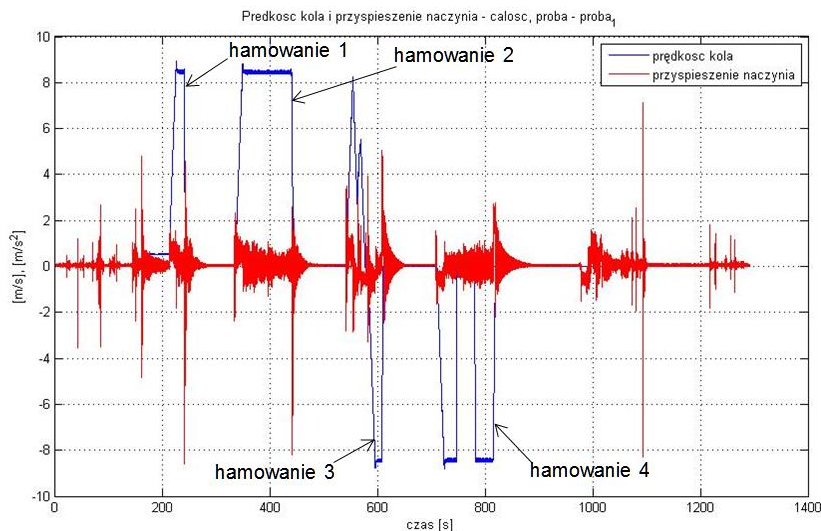
**Warianty obciążenia maszyny wyciągowej podczas badań**

Tabela 1

Pomiar	Nr hamowania	Nadwaga	Kierunek ruchu	Położenie naczynia podczas hamowania	Prędkość
1	1	Puste naczynie	Opuszczanie naczynia	Nadszybie (ok. 200 m)	8 m/s
	2			Podszybie (ok. 1000 m)	8 m/s
	3		Podnoszenie naczynia	Podszybie (ok. 1000 m)	8 m/s
	4			Nadszybie (ok. 200 m)	8 m/s
3	9	Pełne naczynie	Opuszczanie naczynia	Nadszybie (ok. 200 m)	8 m/s
	10			Podszybie (ok. 1000 m)	8 m/s
	11		Podnoszenie naczynia	Podszybie (ok. 1000 m)	8 m/s
	12			Nadszybie (ok. 200 m)	8 m/s

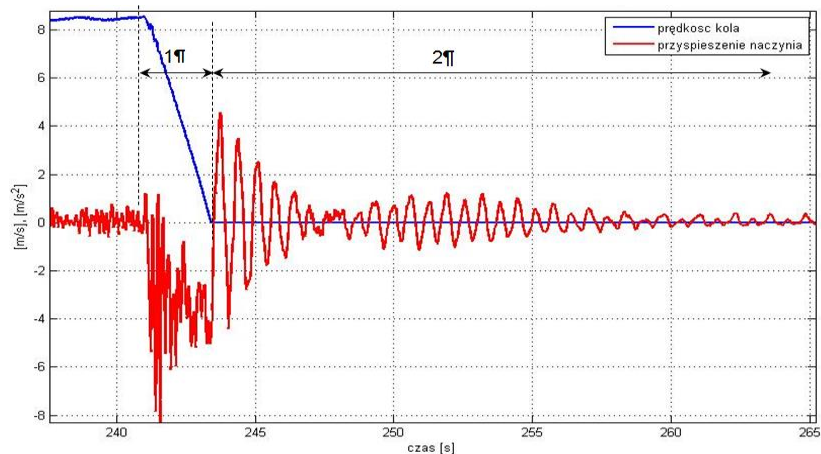
Na rysunku 5 przedstawiono przebieg (pomiar 1) – prędkości linopędni oraz przyspieszenia naczynia, dla warunków opuszczania i podnoszenia pustego naczynia. Widoczne są cztery przebiegi hamowania bezpieczeństwa:

- hamowanie 1 (na głębokości około 200 m) i hamowanie 2 (na głębokości około 1000 m), realizowane podczas opuszczania naczynia,
- hamowanie 3 (na głębokości około 1000 m) i hamowanie 4 (na głębokości około 200 m), realizowane podczas podnoszenia naczynia.

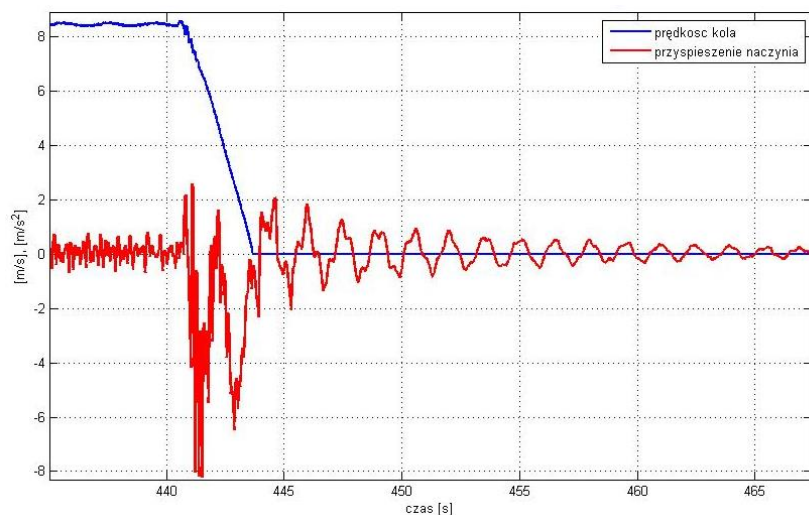


Rys. 5. Pomiar 1 – jazda pustym naczyniem [6]

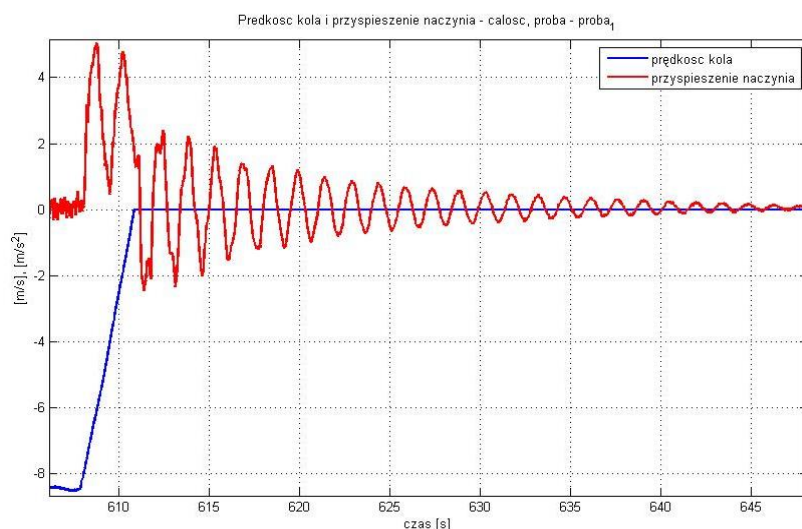
Na rysunkach 6 ÷ 9 przedstawiono rozszerzone części pomiaru 1 (rys. 5). Zaznaczony na rysunku 6 przedział czasowy oznaczony jako 1, związany jest bezpośrednio z hamowaniem bezpieczeństwa. W przedziale tym następował szybki spadek prędkości linopędni maszyny wyciągowej, z prędkości jazdy ustalonej, wynoszącej ok. 8 m/s do zera. Widoczna jest również znaczna amplituda zmian przyspieszenia naczynia. Po zatrzymaniu maszyny nastąpiła druga faza (oznaczona jako przedział czasowy 2), w której stopniowo zmniejszała się wartość amplitudy przyspieszenia.



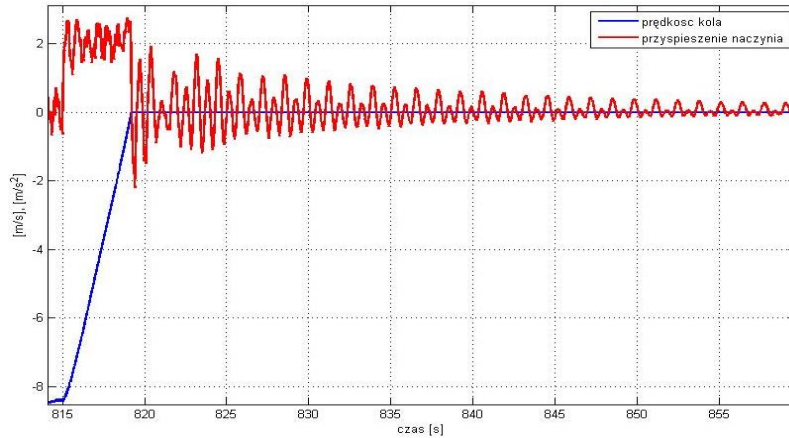
Rys. 6. Pomiar 1 – jazda pustym naczyniem w dół, hamowanie na głębokości ok. 200 m [6]



Rys. 7. Pomiar 1 – jazda pustym naczyniem w dół, hamowanie na głębokości ok. 1000 m [6]

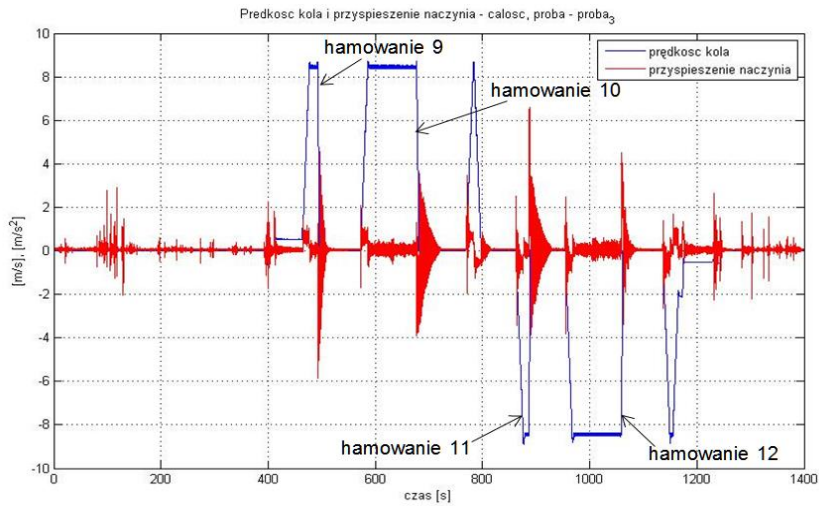


Rys. 8. Pomiar 1 – jazda pustym naczyniem do góry, hamowanie na głębokości ok. 1000 m [6]



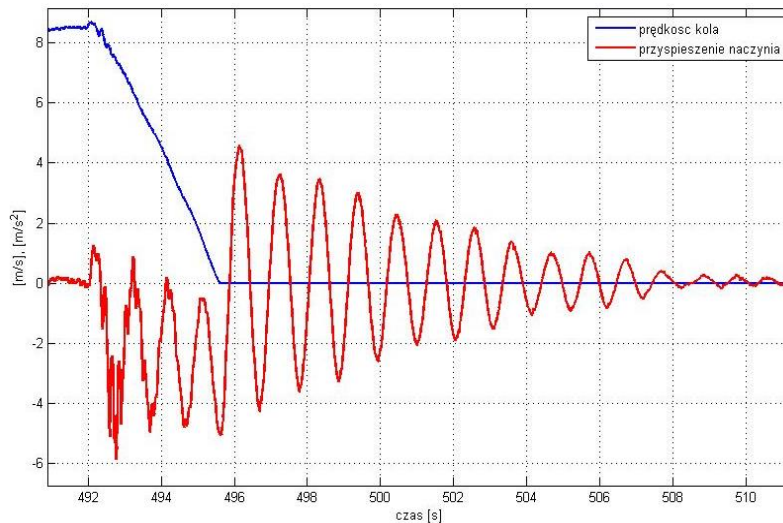
Rys. 9. Pomiar 1 – jazda pustym naczyniem do góry, hamowanie na głębokości ok. 200 m [6]

Pomiar 3 wykonano podczas opuszczania i podnoszenia naczynia z ładunkiem o masie 6,4 Mg (rys. 10).

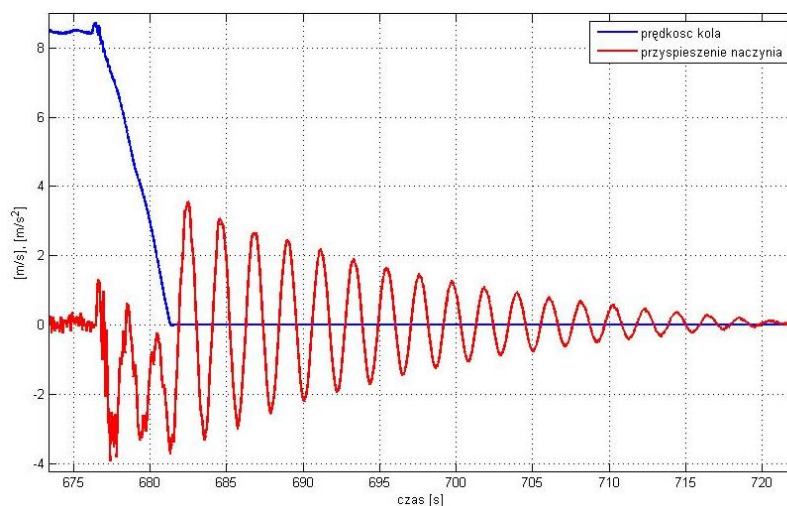


Rys. 10. Pomiar 3 – jazda pełnym naczyniem [6]

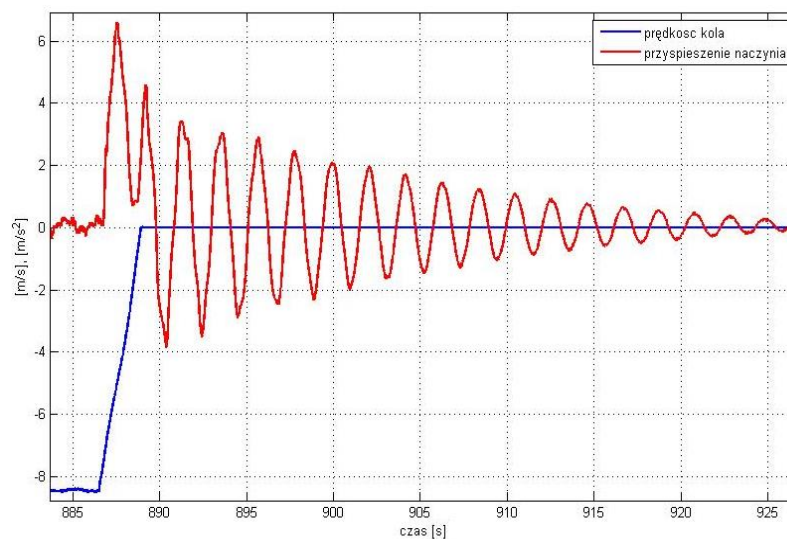
Na rysunkach 11 ÷ 14 przedstawiono części pomiaru 3.



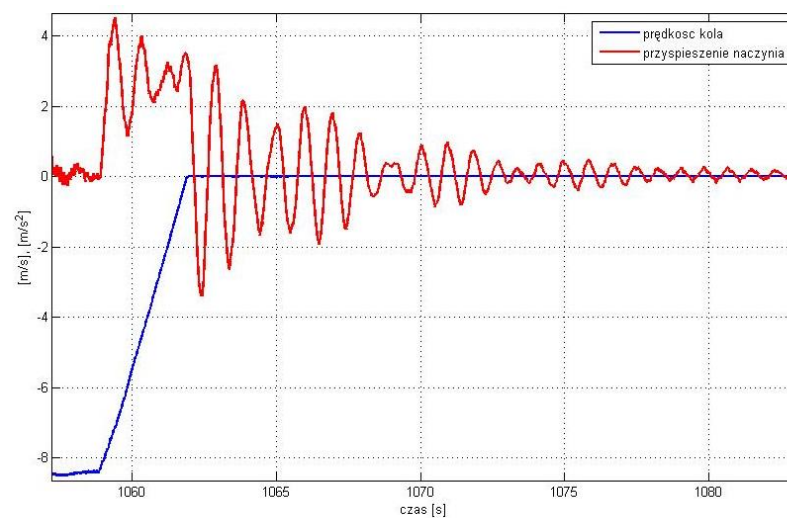
Rys. 11. Pomiar 3 – jazda pełnym naczyniem w dół, hamowanie na głębokości ok. 200 m [6]



Rys. 12. Pomiar 3 – jazda pełnym naczyniem w dół, hamowanie na głębokości ok. 1000 m [6]



Rys. 13. Pomiar 3 – jazda pełnym naczyniem do góry, hamowanie na głębokości ok. 1000 m [6]



Rys. 14. Pomiar 3 – jazda pełnym naczyniem do góry, hamowanie na głębokości ok. 200 m [6]



W tabeli 2 przedstawiono maksymalne i minimalne chwilowe wartości przyspieszenia naczynia oraz średnie wartości przyspieszenia linopędni maszyny wyciągowej w trakcie hamowania bezpieczeństwa oraz po zatrzymaniu maszyny. Dodatkowo wartości przyspieszeń oznaczają odciążenie naczynia, natomiast wartości ujemne, dociążenie naczynia.

**Wartości przyspieszenia zarejestrowane podczas badań**

Tabela 2

Kierunek ruchu i położenie naczynia w szybie	Obiekt	Przedział	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4
			puste naczynie	puste naczynie	pełne naczynie 6,4 Mg	pełne naczynie 6,4 Mg
Opóźnienia średnie (dla maszyny) [m/s <sup>2</sup> ] Opóźnienia chwilowe (dla naczynia) [m/s <sup>2</sup> ]						
Opuszczanie /nadszybie 200 m	maszyna	hamowanie	3,81	3,81	2,67	2,58
	naczynie	hamowanie	+1,2 do -8,6	+1,25 do -8,3	+1,15 do -5,84	+1,05 do -5,49
		postój	-4,4 do +4,6	-3,7 do +4,12	-4,10 do +4,37	-2,85 do +3,16
Opuszczanie /podszybie 1000 m	maszyna	hamowanie	2,96	2,96	1,82	1,88
	naczynie	hamowanie	+2,6 do -8,2	+2,86 do -8,1	+1,14 do -3,68	+1,48 do -4,07
		postój	-2,2 do +2,1	-1,64 do +2,05	-3,17 do +3,42	-3,48 do +3,34
Podnoszenie /podszybie 1000 m	maszyna	hamowanie	2,81	2,83	3,54	3,5
	naczynie	hamowanie	+5,0 do +0,5	+4,78 do +0,65	+6,44 do +0,89	+6,25 do +0,90
		postój	-2,4 do +2,3	-2,02 do +2,04	-3,69 do +3,39	-3,58 do +3,33
Podnoszenie /nadszybie 200 m	maszyna	hamowanie	2,05	2,08	2,71	2,71
	naczynie	hamowanie	+2,7 do +1,1	+2,72 do +1,3	+4,29 do +1,42	+4,13 do +1,46
		postój	-2,2 do +1,9	-2,07 do +1,86	-3,28 do +3,03	-3,17 do +2,89

Maksymalne chwilowe wartości przyspieszenia zarejestrowano podczas hamowania bezpieczeństwa na poziomie ok. 200 m, w trakcie opuszczania pustego naczynia. Maksymalna chwilowa wartość przyspieszeń wyniosła około 8,6 m/s<sup>2</sup>, co odpowiada przeciążeniu ok. 2g.

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania na obiekcie rzeczywistym pozwoliły zidentyfikować zjawiska dynamiczne, jakie zachodzą w naczyniu wyciągowym, w wyciągu jednokońcowym, podczas procesu „hamowania bezpieczeństwa”. Rejestrowane w maszynie wyciągowej przebiegi prędkości linopędni w trakcie hamowania bezpieczeństwa nie odzwierciedlają zachowania się naczynia wyciągowego zawieszono na sprężystej linie. Uzyskane wyniki pomiarów pozwalają porównać chwilowe wartości przyspieszenia, rejestrowane w naczyniu wyciągowym, z wartościami rejestrowanymi na linopędni.

Wyznaczone wartości przyspieszeń zarejestrowanych w naczyniu wyciągowym (kubie) pozwalają określić siłę dynamiczną, jaka oddziaływuje na naczynie (oraz linę), jak również przeciążenie, na jakie narażeni są ludzie przewożeni w naczyniu wyciągowym w sytuacji awaryjnego hamowania maszyny.

## Literatura

- [1] Tejszerska D., Turewicz K.: Obliczenia wytrzymałościowe linopędni z uwzględnieniem wybranych obciążeń dynamicznych. Gliwice: ITG KOMAG, 2009. ISBN 978-83-60708-31-6.
- [2] Hankus J.: Budowa i własności mechaniczne lin stalowych. Katowice: GIG, 2000. ISBN 978-83-87610-26-7.
- [3] Wróbel T.: Systemy ciągłego monitorowania lin nośnych skipów z aplikacją kontroli rozładunku. W: Transport Szybowy: monografia. Red. nauk.: A. Klich, A. Kozieł. Gliwice: ITG KOMAG, 2015, s. 168-176.
- [4] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych (Dz. U. Nr 99, poz. 1003 z późn. zm.) wraz z załącznikiem nr 2 do rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych.
- [5] Dokumentacja fotograficzna Instytutu Techniki Górniczej KOMAG.
- [6] Turewicz K., Kowal L.: Badania drgań naczynia wyciągowego w wyciągu jednokońcowym w trakcie hamowania bezpieczeństwa górniczego wyciągu szybowego. W: Transport Szybowy: monografia. Red. nauk.: A. Klich, A. Kozieł. Gliwice: ITG KOMAG, 2015, s. 225-246.

### *Czy wiesz, że ....*

*... firma Motion Metrics International Corp., po latach intensywnej pracy, wydała kolejną wersję swojego programu komputerowego, wspomagającego diagnostykę techniczną i monitoring kruszarek. Nowy program - LoaderMetrics 2.0 - powstał w oparciu o własny opatentowany algorytm. W wersji 2.0 zastosowano sztuczną inteligencję, bazując na sieciach neuronowych oraz wykorzystując uczenie maszynowe i tzw. pogłębioną analizę dużej ilości danych (Deep Learning). System pomiarowy, wyposażony w zestaw odpowiednich czujników oraz kamer termowizyjnych, pozwala na wczesne wykrycie nieprawidłowości w działaniu kruszarki, a nawet umożliwia przewidywanie wystąpienia uszkodzeń. Istnieje możliwość połączenia systemu z lokalną siecią LAN, a poprzez Ethernet pracować zdalnie.*

*International Mining 2016 nr January s.4*