



Tomasz ROKITA*

Cierne urządzenie hamujące dla szybu B-1 LKAB Kiruna

Streszczenie: Kopalnia rudy żelaza należąca do państwowego koncernu Luossavaara – Kiirunavaara AB-LKAB posiada kilkanaście górniczych wyciągów szybowych skipowych przeznaczonych do ciągnięcia rudy żelaza. Pomimo stosowania nowoczesnych systemów zabezpieczenia ruchu tych wyciągów w myśl szwedzkich przepisów na tzw. wolnych drogach przejazdu w wieży i rząpiu muszą być stosowane urządzenia do awaryjnego hamowania naczyń.

W artykule omówiono główne wymagania, jakie zgodnie ze szwedzkimi przepisami odnośnie eksploatacji górniczych wyciągów szybowych muszą spełniać tego typu urządzenia oraz przedstawiono zaproponowane rozwiązanie konstrukcyjne urządzenia hamującego górniczego wyciągu szybowego zainstalowanego w szybie B-1 kopalni Kiruna.

W przedmiotowym wyciągu postanowiono zastosować cierny układ hamujący w postaci ruchomych belek odbojowych opracowany w Katedrze Transportu Linowego w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Działanie ruchomych belek odbojowych polega na tym, że belki te, usytuowane na początku wolnych dróg przejazdu, nie tylko wyhamowują rozpędzone naczynia wyciągowe ale też – dzięki wbudowanym urządzeniom wychwytyjącym naczynia – spełniają funkcję podchwytów. Zabezpieczają więc naczynia przed spadkiem do szybu po zakończonym procesie hamowania. Zaletą takiego rozwiązania jest to, że elementy konstrukcyjne: trzonu przewodniczego wieży, głowicy naczynia i belek odbojowych, w momencie uderzenia naczynia w ruchome belki odbojowe przenoszą wielokrotnie mniejsze wartości sił dynamicznych w porównaniu z siłami dynamicznymi powstającymi w chwili uderzenia naczynia w nieruchome belki odbojowe.

W procesie projektowania ruchomych belek odbojowych ważnym etapem jest symulacja hamowania przeprowadzana przy wykorzystaniu programu komputerowego opracowanego w KTL AGH. Program ten umożliwił zamodelowanie lin nośnych i wyrównawczych jako elementów elastycznych o właściwościach sprężysto-tłumiących. Wyniki tych symulacji zwłaszcza w zakresie uzyskanych opóźnień hamowania naczyń, wartości dróg hamowania oraz sił w wartości lin nośnych są kluczowe dla potwierdzenia poprawności przyjętej koncepcji układu awaryjnego hamowania.

Urządzenia hamujące w postaci ruchomych belek odbojowych zostały wykonane przez polską firmę Coal-Bud Sp. z o.o. i obecnie są zabudowywane w wieży i rząpiu szybu B-1 kopalni Kiruna w Szwecji.

Słowa kluczowe: górniczy wyciąg szybowy, awaryjne hamowanie, urządzenia hamujące, analiza dynamiczna

* Dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Transportu Linowego, Kraków; e-mail: rokitom@agh.edu.pl

Frictional arresting devices for the B-1 LKAB Kiruna shaft

Abstract: The iron ore mine owned by the state concern of Luossavaara – Kiirunavaara AB-LKAB state concern has several mining skip shaft hoists for drawing iron ore. Despite using modern systems to secure the travel of these hoists in line with the Swedish regulations, units intended for the emergency breaking of vessels must be used in the so-called free travel paths in the tower and in the shaft sump.

The paper discusses the main requirements that, in accordance with the Swedish regulations as regards the operational use of mining shaft hoists, must be met by devices of this type and a solution was proposed for a structure design of the braking unit for the mining shaft hoist installed in the B-1 shaft in the Kiruna mine.

The frictional braking system in the form of moving bumping beams was decided to be used in the said hoist, developed in the Cable Transport Department in the University of Science and Technology in Krakow.

The action of moving bumping beams consists in these beams, placed at the beginning of free travel paths, not only braking the rushing hoist vessels but also (with the integrated units for vessel capture) performing the function of grips. They secure the vessels against falling down into the shaft after the finished braking process. The advantage of such a solution is that the structural elements: the guiding shank of the tower, the head of the vessel and the bumping beams, transfer many times lower values of dynamic forces at the time of the strike of the vessel against the moving bumping beams when compared with dynamic forces arising at the time of the hit of the vessel against the fixed bumping beams.

In the process of designing moving bumping beams, braking simulation is an important stage conducted with a computer program developed in KTL AGH. This program enables the modelling of load-bearing and balance ropes as flexible elements with elastic and suppressing properties.

The results of these simulations, especially in the scope of the achieved braking deceleration of the vessels, the values of braking distances and forces in the load-bearing ropes are crucial in confirming the correctness of the assumed concept of the emergency braking system.

The braking units in the form of moving bumping beams have been executed by the Polish company Coal-Bud Sp. z o.o. and are now being integrated in the tower and in the shaft sump of the B-1 shaft of the Kiruna mine in Sweden.

Keywords: mine shaft hoist, emergency braking, arresting devices, dynamics analysis,

Wprowadzenie

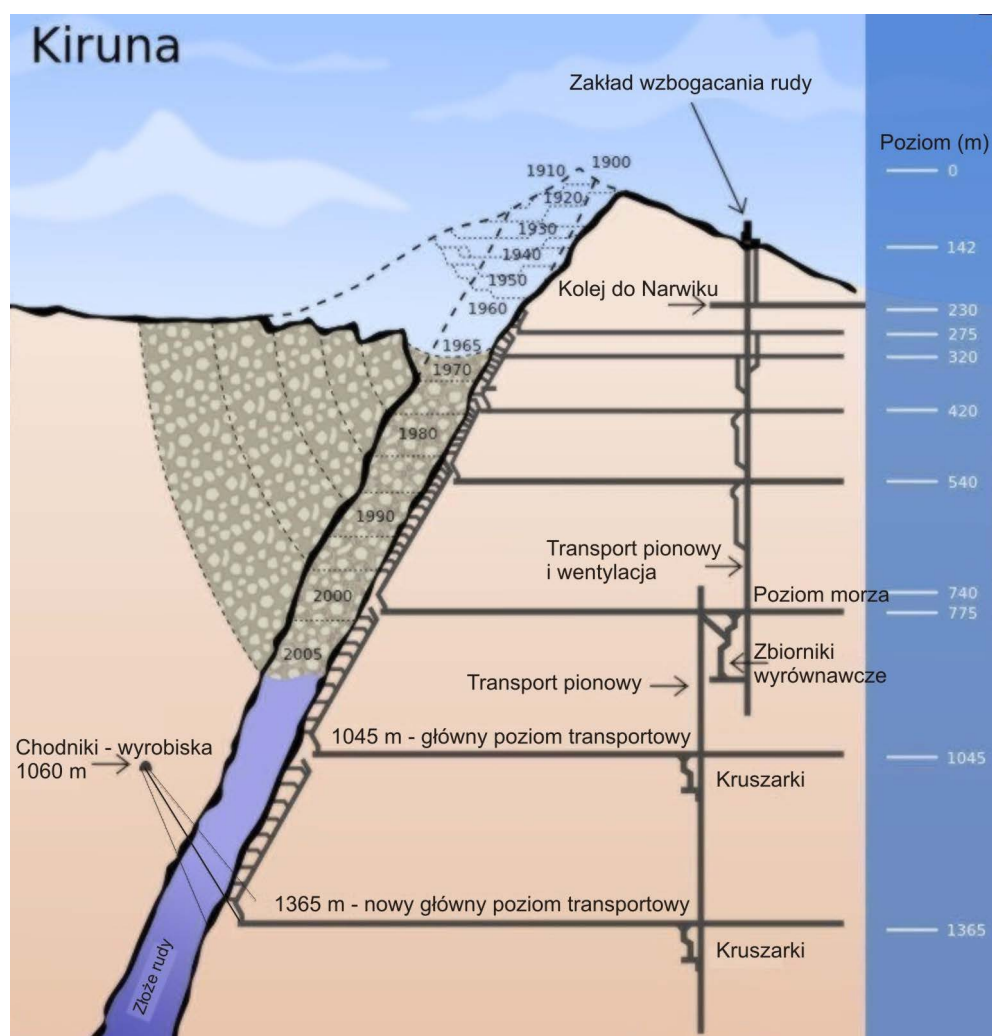
Kiruna jest największą na świecie podziemną kopalnią rudy żelaza i jest uznawana za jedną z najbardziej nowoczesnych w tej branży przemysłu, ze względu na wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń i technologii, umożliwiających zwiększenie zdolności produkcyjnej.

Kopalnia położona jest w północnej Szwecji, w odległości około 145 kilometrów od koła podbiegunowego; jest własnością firmy Luossavaara-Kiirunavaara AB.

Luossavaara Kiirunavaara AB (LKAB) to szwedzka spółka górnicza, która prowadzi dwie duże podziemne kopalnie rudy żelaza i jedną kopalnię odkrywkową, położone za kołem podbiegunowym w północy Szwecji w miejscowości Kiruna i Malmberget. Firma produkuje około 45 mln ton surowej rudy rocznie. LKAB zamierza uruchomić dwie nowe kopalnie odkrywkowe w sąsiedztwie Svappavaara i zwiększyć produkcję rudy surowej do około 60 mln ton rocznie. Rezerwy Kiruna składają się głównie z rudy magnetytu wysokogatunkowego. Rezerwy Malmberget są to w 80–85% wysokiej klasy rudy magnetytu i około 15–20% rudy hematytu. Oprócz tych dwóch działających kopalni podziemnych, firma posiada zakłady przetwórcze w Kirunie, Svappavaara i Malmberget. Ruda po wzbogaceniu transportowana jest koleją do portów znajdujących się w Narwiku w Norwegii i Luleå w Szwecji.

Obecnie wydobycie rudy odbywa się na głębokości 1365 metrów (rys. 1). Jest to siódmy główny poziom w historii LKAB Kiruna. Produkcja na tym poziomie rozpoczęła się w roku 2013 i będzie trwała aż do 2033. Łączna ilość rudy *in situ* przeznaczona do wydobycia oceniana jest na ponad 600 mln ton przy średniej zawartości żelaza około 65% (Engberg 2015).

Przewiduje się, że z poziomu 1365 m pozyskiwać się będzie średnio 100 kiloton rudy dziennie przez cały okres jego eksploatacji, co daje roczną zdolność produkcyjną na poziomie 35 milionów.



Rys. 1. Schemat przedstawiający historię rozbudowy kopalni rudy żelaza w Kirunie (na podstawie Carlsten 2010)

Fig. 1. Diagram showing the history of the expansion of the iron ore mine in Kiruna (after Carlsten 2010)

Transport rudy pod ziemią odbywa się głównie za pomocą elektrycznej kolei podziemnej bezzałogowej, wykorzystującej sześć pociągów o składzie 20 wozów, każdy o pojemności 17 m³. Wozy tych składów są typu samowładowczego. Nowy poziom 1365 m jest już czwartym poziomem z automatycznie sterowanymi pociągami oraz zdalnym ich napełnianiem rudą. Operacje te wykonywane są z centralnej dyspozytorni zlokalizowanej na powierzchni kopalni. System sterowania również optymalizuje załadunek i rozładunek. Przed operacją transportu na powierzchnię ruda przechodzi przez kruszarki.

1. Transport pionowy w Kirunie

Transport pionowy rudy odbywa się w dwóch etapach. Najpierw ruda jest transportowana na poziom 775 m, gdzie odbywa się przeładowanie w celu dalszego ciągnięcia na powierzchnię.

W układzie transportowym kopalni kluczową rolę odgrywają górnicze wyciągi szybowe. Podczas gdy większość kopalni posiada kilka górniczych wyciągów szybowych, to Kiruna ma takich wyciągów trzynaście. Pięć z tych wyciągów (tzw. wyciągi podpoziomowe) obsługuje pierwszy etap transportu pionowego rudy na poziom 775 m (droga ciągnięcia 705 m). Wyciągi te wyposażone są w skipy o ładowności 34 Mg, które poruszają się z prędkością 17 m/s. Czas cyklu wynosi około 81 s, co daje wydajność wyciągu 1510 t/h. Skipy są zawieszane na sześciu linach o średnicy 40 mm, średnica bębna napędowego wynosi 3,25 m, a moc silnika 5600 kW.

Pozostałe osiem wyciągów transportuje rudę z poziomu 775 m na poziom 230 m do miejsca załadunku na wagony kolejowe (droga ciągnięcia 802 m). Wyciągi te wyposażone są w skipy o ładowności 40 Mg, które poruszają się z prędkością 17 m/s. Skipy są zawieszane na sześciu linach o średnicy 40 mm, średnica bębna napędowego wynosi 3,25 m, a moc silnika 4300 kW.

Całkowita moc zainstalowanych napędów to ponad 62 MW.

Pierwsze dziesięć wyciągów zostało dostarczonych przez firmę ABB już w latach siedemdziesiątych XX w., gdy główny poziom wydobywania został przesunięty na głębokość 775 metrów. W latach dziewięćdziesiątych XX w. ABB zmodernizowało wyciągi, gdy powstał nowy poziom wydobywania na głębokości 1045 metrów. Pięć górniczych wyciągów szybowych podpoziomowych wyposażonych jest w energooszczędne zmiennoprędkościowe napędy ACS6000SD, silniki synchroniczne o mocy 5600kW i systemy sterowania AC800M. Pozostałe osiem wyciągów posiada klasyczne napędy prądu stałego (Carlsten 2010).

Na uwagę zasługuje fakt, że górniczymi wyciągami szybowymi transportuje się wyłącznie rudę, a transport ludzi i maszyn w kopalni odbywa się samochodami.

Pomimo wysokiego poziomu nadzoru bezpieczeństwa ruchu górniczych wyciągów szybowych przez urządzenia elektroniczne nie rezygnuje się z zabezpieczenia tych wyciągów w urządzenia awaryjnego hamowania zabudowane na drogach przejazdu w wieży i rzapiu szybu.

2. Wymagania odnośnie awaryjnego hamowania wyciągów obowiązujące w Szwecji

Wytyczne odnośnie eksploatacji górniczych wyciągów szybowych eksploatowanych w Szwecji zawarte są w dokumencie pt.: Branschavisningar för gruvhissar i Sverige – BRAGS z 2012 r (BRAGS 2012).

Powołane wytyczne zobowiązują do zainstalowania w wieży i rzępiu szybu urządzeń do awaryjnego hamowania naczyń. Przy czym w nadszybiu muszą być też urządzenia wychwytyjące naczynia i zabezpieczające przed spadkiem do szybu. Wymagania odnośnie parametrów procesu hamowania awaryjnego zależą od rodzaju transportu (transport osób, materiałów, urobku) oraz od prędkości jazdy naczynia. Generalnie dla urządzeń skipowych najważniejsze są dwa parametry:

- prędkość z jakiej należy wyhamować naczynie, równa 11,7 m/s,
- opóźnienie maksymalne hamowania skipu, równe 9,81 m/s²,
- ważnym parametrem jest też długość wolnej drogi przejazdu w wieży, która wynosi zwykle około 10 m.

W stosunku do polskich przepisów najważniejsza różnica to ograniczenie opóźnienia podczas hamowania skipu do 9,81 m/s². Czynnikiem ten ma decydujący wpływ na ograniczenie siły hamowania. Dla porównania – w wymaganiach obowiązujących w Polsce przepisów opóźnienie naczynia (skipu) hamowanego w wieży może wynosić do 30 m/s² (Rozporządzenie... 2002; Załącznik... 2002).

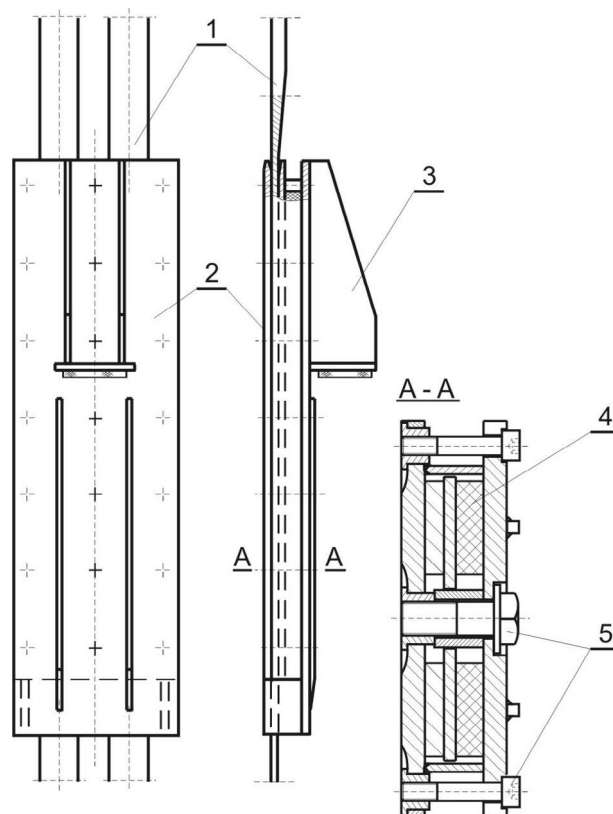
3. Układ awaryjnego hamowania dla szybu B-1

Szyb B-1 jest jednym z ośmiu szybów przeznaczonych do transportu rudy z poziomu 775 m do stacji przeładunkowej na wagony pociągów. W szybie jest eksploatowany górniczy wyciąg szybowy skipowy z przeciwwagą. Maszyna wyciągowa jest typu ciernego, bez koła odciskowego. Skip o udźwigu 400 kN jest zawieszony na sześciu linach nośnych i prowadzony po linach prowadniczych. Prędkość jazdy skipu wynosi 17 m/s.

Jako rozwiązanie problemu awaryjnego hamowania dla szybu B-1 zaproponowano cierny układ hamujący (HS2W-2) opracowany w Katedrze Transportu Linowego w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (Rokita i Wójcik 2005; Wójcik i Rokita 2007).

Cierny układ hamujący (HS2W-2) jest stosowany w górniczych wyciągach szybowych w różnych odmianach konstrukcyjnych od ponad 20 lat i z powodzeniem konkuruje z innymi rozwiązaniami znanymi w świecie (du Preez. i Hill 2010; Hamilton 2010).

Podstawową ideą konstrukcji hamulca ciernego (nazwa pochodzi od wykorzystanej w hamulcu siły tarcia) było wykorzystanie do hamowania naczyń siły tarcia, występującego pomiędzy powierzchniami stalowymi dociskanymi do siebie siłami sprężystości ściskanych elementów gumowych. Na rysunku 2 przedstawiono schemat działania ciernego urządzenia hamującego. Cierny układ hamujący składa się z parzystej liczby hamulców rozmieszczonych symetrycznie względem osi naczynia wyciągowego. Każdy hamulec cierny (rys. 2) składa się z nieruchomej, zabudowanej na drodze przejazdu naczynia listwy (1), o wzra-



Rys. 2. Konstrukcja hamulca HS2W-2 o budowie dwulistwowej
 1 – listwa stalowa o wzrastającej grubości, 2 – korpus hamulca ciernego, 3 – zabierak hamulca ciernego,
 4 – element gumowy, 5 – śruby uwalniające powierzchnie trące

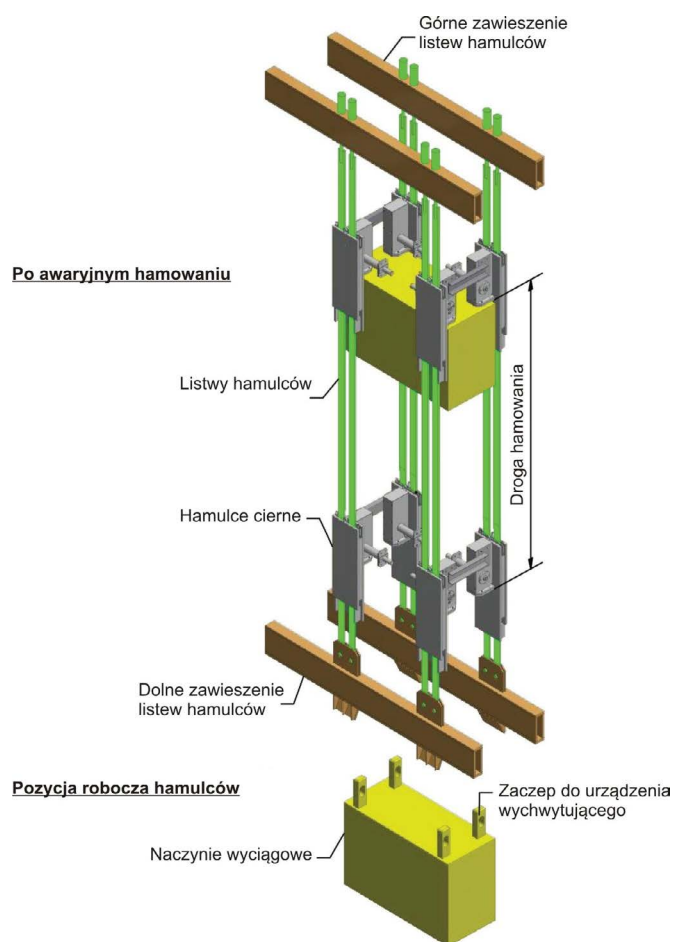
Fig. 2. Drawing of friction braking HS2W-2 about two strips construction
 1 – steel strip of increasing thickness, 2 – body of friction braking, 3 – braking lifter,
 4 – linear elastic element, 5 – bolts mechanism for release of the braking

stającej grubości oraz obejmującego tę listwę zespołu hamulca (2), zawierającego ściskane elementy gumowe (4). Ściskane elementy gumowe, poprzez powierzchnie stalowe hamulca, oddziałują na zbieżne listwy, powodując powstawanie siły tarcia hamującej naczynie. Rozpędzone naczynie, przejeżdżając krańcowe położenie, uderza w oczekujący tam zabierak hamulca lub ramę łączącą hamulce (3) i, przesuując je wzdłuż zbieżnych listew (2), powoduje powstawanie siły tarcia hamującej naczynie. Po zakończeniu hamowania możliwe jest natychmiastowe wyjechanie naczynia z tej strefy. Przemieszczenie korpusów hamulców ciernych do pozycji wyjściowej odbywa się poprzez uwolnienie powierzchni trących, które są utrzymywane w odpowiednim położeniu za pomocą prostego mechanizmu śrubowego (5).

Rozwiązanie konstrukcyjne ruchomych belek odbojowych polega na połączeniu za pomocą skrzynkowych profili naprzeciwległych hamulców ciernych układu awaryjnego hamowania, w celu uzyskania większej sztywności całego układu hamującego. Takie połączenie

umożliwiło zabudowanie w tych profilach urządzeń wychwytyjących naczynie. Brak odpowiedniej sztywności układu hamującego powodował, że jednoczesny proces wychwycenia naczynia przez kilka urządzeń wychwytyjących był trudny do zrealizowania.

Działania ruchomych belek odbojowych polegają na tym, że belki te, usytuowane na początku wolnych dróg przejazdu, są połączone suwliwie z ciernymi układami hamującymi. W ruchome belki odbojowe są wbudowane urządzenia wychwytyjące, spełniające funkcję podchwytów, łączące naczynie wyciągowe z belkami poprzez zaczepy przymocowane do głowicy naczynia wyciągowego. Zaletą takiego rozwiązania jest to, że elementy konstrukcyjne: trzonu prowadniczego wieży, głowicy naczynia i belek odbojowych, w momencie uderzenia naczynia w ruchome belki odbojowe przenoszą wielokrotnie mniejsze wartości sił dynamicznych w porównaniu z siłami dynamicznymi powstającymi w chwili uderzenia naczynia w nieruchome belki odbojowe. Schemat pokazujący zasadę działania ruchomych belek odbojowych podczas procesu hamowania przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat działania ruchomych belek odbojowych podczas procesu hamowania

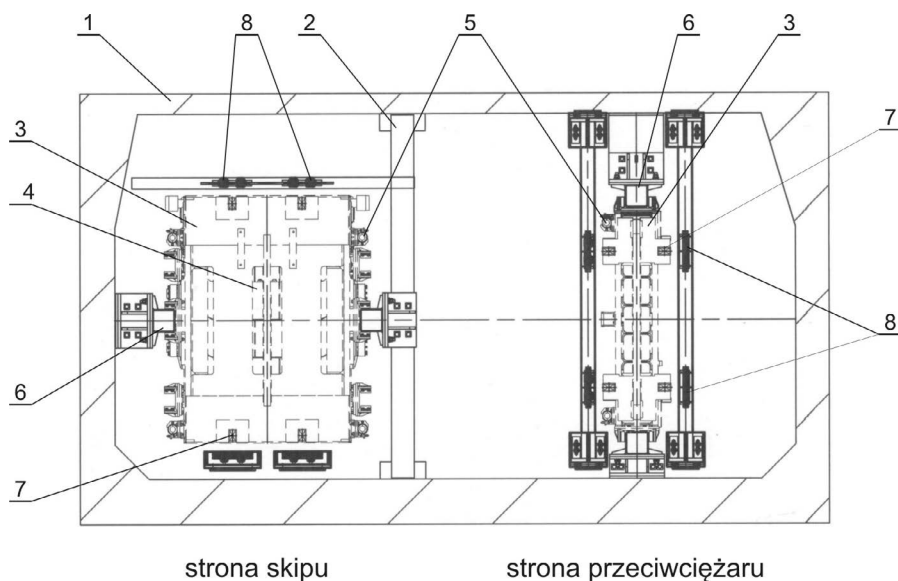
Fig. 3. Diagram showing the principle of operation of movable fender beams during emergency braking

Dla przedmiotowego wyciągu szybowego przeprowadzono typowe obliczenia według algorytmu opisanego w pracy (Wójcik i Rokita 2007). Uzyskane wyniki (wartości sił hamowania) pozwoliły na opracowanie koncepcji projektu układu ciernych urządzeń hamujących w postaci ruchomych belek odbojowych (z wychwytnymi). Był to pierwszy etap prac nad urządzeniem hamującym dla wyciągu szybowego B-1. W wyniku obliczeń i możliwości konstrukcyjnych implementacji ruchomych belek odbojowych do warunków szybu B-1 podjęto decyzje o rozwiązaniu problemu hamowania awaryjnego w sposób opisany niżej.

Każde naczynie będzie hamowane czterema zespołami ciernymi rozmieszczonymi symetrycznie względem osi naczynia (rys. 4 i 5). Liczba zespołów ciernych wynika z koniecznej do zahamowania wartości siły, natomiast ich rozmieszczenie powinno zapewniać symetryczne obciążenie naczynia względem punktu zawieszenia.

W wieży szybu, po stronie skipu, zaproponowano cztery hamulce o sile 300 kN każdy. Sumaryczna siła hamowania skipu wynosi więc 1200 kN. Przewidziano hamulce o konstrukcji dwulistkowej i długości elementu elastycznego równej 1250 mm.

Po stronie przeciwwagi zaproponowano cztery hamulce o sile 220 kN każdy. Sumaryczna siła hamowania przeciwwagi wynosi 880 kN. Przewidziano hamulce o konstrukcji

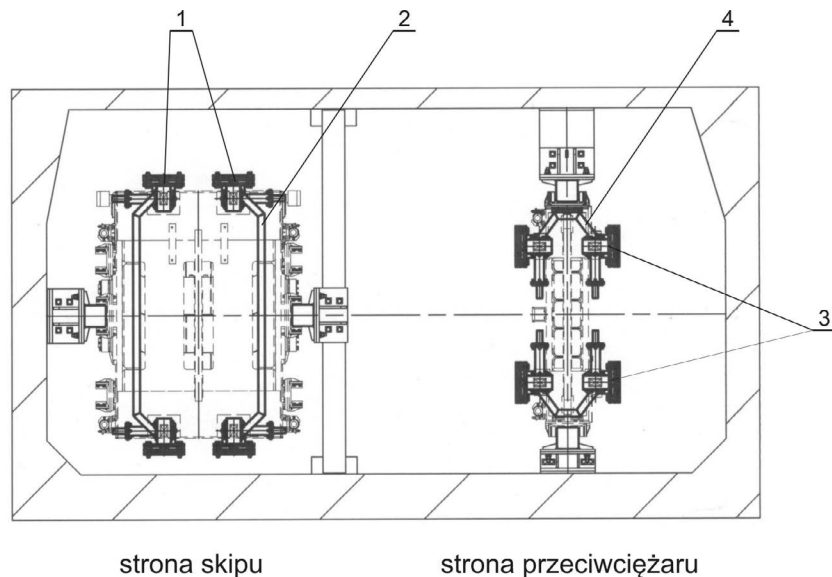


Rys. 4. Tarcza szybu B-1 na poziomie dolnego zamocowania listew hamujących (Arrestor... 2012)

- 1 – obudowa szybu, 2 – dźwigar, 3 – głowica naczynia, 4 – obrys zawieszenia naczynia wyciągowego,
- 5 – prowadzenie linowe, 6 – prowadzenie sztywne (w rejonie wolnych dróg przejazdu),
- 7 – zaczepy do urządzeń wychwytnych, 8 – listwy hamulców ciernych

Fig. 4. Cross-section of the B-1 shaft at the level of the lower assembly of the braking strips

- 1 – shaft lining, 2 – buntton, 3 – conveyance head, 4 – clearance of the conveyance suspension,
- 5 – rope guiding, 6 – angle guiding at overwind travels, 7 – catch, 8 – friction braking strips



Rys. 5. Tarcza szybu B-1 powyżej położenia ruchomych belek odbojowych (Arrestor... 2012)
 1 – cierne urządzenia hamujące dla skipu, 2 – ruchome belki odbojowe dla skipu,
 3 – cierne urządzenia hamujące dla przeciwięzaru, 4 – ruchome belki odbojowe dla przeciwięzaru

Fig. 5. Cross-section of the B-1 shaft above the position of movable fender beams|
 1 – friction braking for the skip, 2 – movable fender beams for the skip,
 3 – friction braking for the counterweight, 4 – movable fender beams for the counterweight

dwulistkowej i długości elementu elastycznego równej 833 mm. Rozmieszczenie hamulców na drodze przejazdu naczyń wyciągowych w wieży pokazano na rysunku 6.

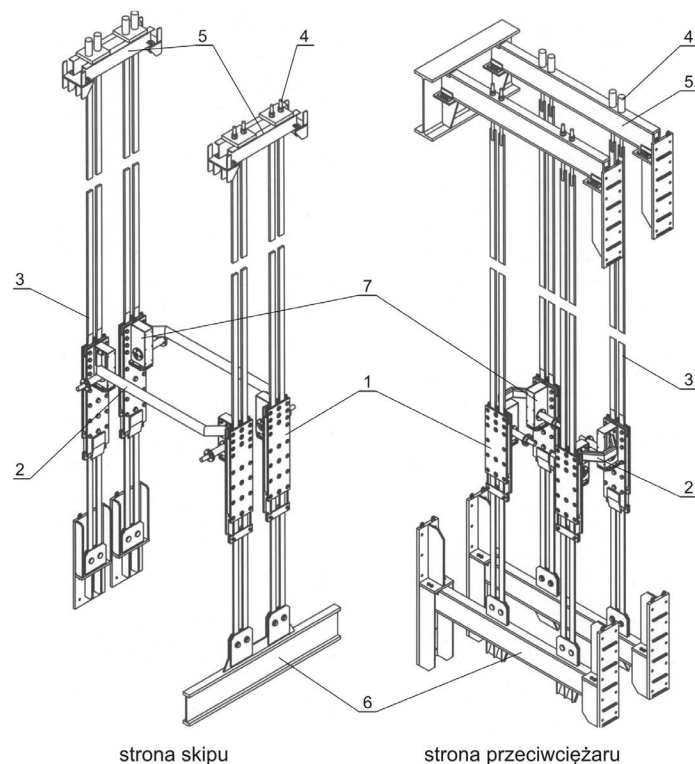
Na uwagę zasługuje fakt, że w szybie B-1 nie ma zbrojenia. W związku z tym mocowania belek, do których przytwierdzone są listwy hamulców należało wykonać poprzez odpowiednie konsole mocowane bezpośrednio do obudowy szybu. W tym celu zostały wykonane szczegółowe pomiary geometrii szybu w rejonie zabudowy układów hamujących. Pomiary te zostały wykonane za pomocą skaningu laserowego.

Dla tak zaprojektowanych hamulców wykonano symulacyjne obliczenia sprawdzające dla mechanicznego wielomasowego modelu urządzenia wyciągowego z uwzględnieniem przebiegu czasowego momentu hamulca bezpieczeństwa oraz momentu silnika napędowego (Arrestor... 2012).

W symulacjach uwzględniono także sprężystość i tłumienie lin nośnych i wyrównawczych.

W wyniku obliczeń wyznaczono takie parametry procesu awaryjnego hamowania, jak m.in. opóźnienia hamowanych naczyń, siły w linach nośnych podczas hamowania oraz skuteczność hamowania układu.

Wyniki tych symulacji potwierdziły słuszność przyjętych założeń konstrukcyjnych hamulców awaryjnych w szybie B-1 oraz spełnienie wymagań odpowiednich przepisów (BRAGS 2012).



Rys. 6. Schemat usytuowania hamulców ciernych w wieży szybu B-1 (Arrestor... 2012)

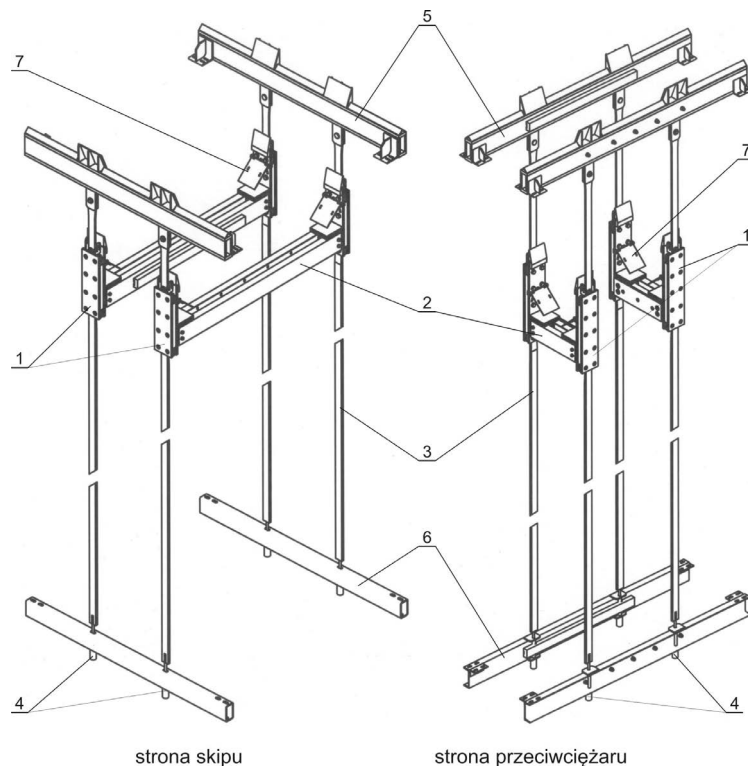
1 – korpusy hamulców ciernych, 2 – ruchome belki odbojowe, 3 – listwy hamulców,
4 – śruby napinające listwy hamulców, 5 – górne belki mocujące listwy,
6 – dolne belki mocujące listwy, 7 – urządzenia wychwytyjące naczynia

Fig. 6. Diagram of the location of friction arresting devices in the headframe of B-1 shaft

1 – body of friction brakes, 2 – movable fender beams, 3 – braking strips,
4 – tensioning bolts of braking strips, 5 – upper beams fixing the strips,
6 – lower beams fixing the strips, 6 – arresting devices of conveyances

W rzępiu po stronie skipu zaproponowano cztery hamulce o sile 80 kN każdy. Sumaryczna siła hamowania skipu wynosi 320 kN. Przewidziano hamulce o konstrukcji jednolistwowej i długości elementu elastycznego równej 667 mm.

Po stronie przeciwwagi zaproponowano cztery hamulce o sile 100 kN każdy. Sumaryczna siła hamowania przeciwwagi wynosi 400 kN. Przewidziano hamulce o konstrukcji jednolistwowej i długości elementu elastycznego równej 834 mm. Rozmieszczenie hamulców na drodze przejazdu naczyn wyciągowych w wieży pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Schemat usytuowania hamulców ciernych w rzępiu szybu B-1 (Arrestor... 2012)
 1 – korpusy hamulców ciernych, 2 – ruchome belki odbojowe, 3 – listwy hamulców,
 4 – śruby napinające listwy hamulców, 5 – górne belki mocujące listwy,
 6 – dolne belki mocujące listwy, 7 – osłony hamulców

Fig. 7. Diagram of the location of friction arresting devices in the bottom of B-1 shaft
 1 – body of friction brakes, 2 – movable fender beams, 3 – braking strips,
 4 – tensioning bolts of braking strips, 5 – upper beams fixing the strips,
 6 – lower beams fixing the strips, 6 – arresting devices of conveyances

Podsumowanie

Zaprojektowany układ hamowania w szybie B-1 kopalni Kiruna składa się z hamulców rozmieszczonych zarówno w wieży jak i rzępiu szybu. Na skip i na przeciwcieżar będą działać po cztery hamulce cierne o odpowiednio dobranych siłach hamowania. Układ hamowania ciernego w postaci ruchomych belek odbojowych posiadać będzie urządzenia wychwytyjące, asekurujące naczynia w czasie hamowania i zabezpieczające przed spadkiem do szybu.

W wieży szybu, po stronie skipu zaproponowano cztery hamulce o sile 300 kN każdy. Po stronie przeciwwagi zaproponowano cztery hamulce o sile 220 kN każdy.

W rzępiu po stronie skipu zaproponowano cztery hamulce o sile 80 kN każdy. Po stronie przeciwwagi zaproponowano cztery hamulce o sile 100 kN każdy.

Tak zaproponowany układ hamujący zapewni pełne wytracenie energii kinetycznej wyciągu na drodze około 7,68 m z opóźnieniem 9,55 m/s².

Szwecja jest kolejnym krajem, po Francji i Czechach, gdzie znalazły zastosowanie opracowane w Katedrze Transportu Linowego Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie ciernie urządzenia hamujące i ruchome belki odbojowe.

Wszystkie elementy ciernych układów hamujących zostały wykonane w Polsce i dostarczone do Kiruny. Obecnie trwa zabudowa tego układu hamującego w szybie B-1.

Literatura

- Carlsten, K. 2010. Replacing DC-Drives with DTC AC-Drives – LKAB Kiruna, Sweden, *Transport&Logistics* Vol. 10, s. 366–370.
- du Preez, A. i Hill, S., 2010. Emergency Breaking System for Use with Still Mine Shaft Guides. *Proceedings of the International Conference on Hoisting and Haulage*, Las Vegas, s. 155–160.
- Engberg, H. 2015. KUJ 1365 – A New Main Haulage Level in the LKAB Kiruna Mine, *Proceedings of the International Conference on Hoisting and Haulage*, The Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME) Sztokholm Szwecja, s. 313–322.
- Hamilton, R. 2010. Design of Overwind Arresting Systems. *Proceedings of the International Conference on Hoisting and Haulage*. Las Vegas, s. 59–67.
- Rokita, T. i Wójcik, M. 2015. Emergency braking of mine shaft hoists applying friction arresting devices – theory, tests and industrial applications. „*Hoist & Haul*” *Proceedings of the International Conference on Hoisting and Haulage*. *The Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME)* Sztokholm, Szwecja, s. 291–300.
- Wójcik, M. i Rokita, T. 2007. Rozwój ciernych urządzeń hamujących naczynia wyciągowe po przejechaniu poziomów krańcowych, Nowe wyniki prac naukowo-badawczych z zakresu transportu linowego/red. Józef Kuleczka – Kraków AGH WIMiR KTL. *Zeszyty Naukowo-Techniczne Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie*. Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Katedra Transportu Linowego; Nr 41, s. 109–124.
- Arrestor system shaft B1 – shaft tower, Project no. 0481A, Przedsiębiorstwo Coal-Bud Sp. z o.o., Kraków, November 2015 – praca niepublikowana wykonana dla ABB AB.
- Branschavisningar för gruvhissar i Sverige – BRAGS, 2012 r. s. 77–85.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. Nr 139, poz. 1169 oraz z 2006 r. Nr 124, poz. 863 oraz z 2010 r. Nr 126, poz. 855).
- Załącznik Nr 4 „Szczegółowe zasady prowadzenia ruchu w wyrobiskach” do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych.