

Awaryjne hamowanie górniczych wyciągów szybowych urządzeniami ciernymi – urządzenia zastosowane w kopalni Kiruna

Tomasz Rokita¹ , Paweł Molik²

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Kraków

² Przedsiębiorstwo COAL-BUD Sp. z o.o., Olkusz

Streszczenie: LKAB jest międzynarodowym przedsiębiorstwem zajmującym się wydobywaniem i pozyskiwaniem minerałów, w tym uszlachetnionych produktów rudy żelaza, dla przemysłu stalowego. Największa i jedna z najnowocześniejszych na świecie podziemnych kopalni rudy żelaza obsługiwana przez LKAB znajduje się w najbardziej wysuniętym na północ mieście Szwecji, Kirunie. Produkcja zakładu wynosi 30 mln ton surowej rudy żelaza rocznie. Proces wydobywczy w Kirunie jest w pełni zautomatyzowany: od załadunku do naczyń na podszybiu do rozładunku na powierzchni. W artykule zaprezentowano kilkunastoletnie doświadczenia autorów związane z zastosowaniem w górniczych wyciągach szybowych, opracowanego w Katedrze Transportu Linowego (obecnie Katedra Inżynierii Maszyn i Transportu) w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, układu do awaryjnego hamowania naczyń wyciągowych. Artykuł ma charakter techniczny, ale porusza bardzo ważne kwestie dotyczące awaryjnego rozpraszania energii bardzo dużych przemieszczających się mas. Z naukowego punktu widzenia artykuł to podsumowanie praktycznych rozwiązań z tego zakresu dotyczących dynamiki pracy dużych maszyn w stanach awaryjnych. Było to możliwe dzięki zebraniu przez autorów doświadczeń pozyskanych w okresie ponad 30 lat eksploatacji tego typu układów.

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

EMERGENCY BRAKING OF MINE SHAFT HOISTS APPLYING FRICTION ARRESTING DEVICES – INDUSTRIAL APPLICATIONS IN THE KIRUNA MINE

Abstract: LKAB is an international company engaged in mining and sourcing of minerals, including refined iron ore products for steel industry. The largest and one of the most modern underground iron ore mine in the world, operated by LKAB is located in Sweden's northernmost city, Kiruna. An annual production is 30 million tons of raw ore. Mining process in Kiruna is fully automated from loading area underground to unloading on surface.

The article presents several years of authors experience related to using friction braking devices in mine shafts. Friction braking system was developed at Department of Rope Transport (currently Department of Machine Engineering and Transport) at AGH University of Science and Technology in Krakow. This is technical article and it raises very important issue regarding the dissipation of emergency energy of very large masses in motion. From scientific point of view, this article is a summary of practical solutions regarding dynamics of large machines in emergency states. It was possible by the authors collecting and implementing experience gained during over 30 years of operation of these systems

Keywords: mining hoist, emergency braking, braking devices, dynamic analysis

https://doi.org/10.7494/978-83-66727-83-0_8

1. Wprowadzenie

W układzie transportowym kopalni kluczową rolę odgrywają górnicze wyciągi szybowe. Podczas gdy większość kopalni posiada kilka górniczych wyciągów szybowych, to Kiruna ma takich wyciągów 17. Transport rudy na powierzchnię odbywa się w Kirunie dwuetapowo (dwustopniowo). Głównymi poziomami wydobywczymi są dotychczasowy 1045 m i nowo otwarty 1365 m, z których ruda transportowana jest wyciągami głównymi do poziomu 775 m, gdzie odbywa się przeładowanie rudy w celu wydobycia jej wyciągami pośrednimi na powierzchnię (Engberg 2015).

Poziom 1045 m połączony jest z poziomem 775 m czterema szybikami wyposażonymi w główne górnicze wyciągi szybowe z dwoma skipami o ładowności 30 t każdy i wydajności każdego 1560 t/h. Prędkość jazdy wynosi 11 m/s.

Poziom 1365 m połączony jest z poziomem 775 m pięcioma szybikami wyposażonymi również w główne górnicze wyciągi szybowe z dwoma skipami o ładowności 34 t każdy i wydajności każdego wyciągu 1510 t/h. Prędkość jazdy wynosi 17 m/s.

Pozostałe osiem wyciągów, oznaczone odpowiednio od B1 do B8, 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 34 t lub 40 t. Cechą charakterystyczną wyciągów jest to, że nie posiadają kół odciskowych (Carlsten 2010, Hamilton 2010).

Pomimo ścisłego nadzoru urządzeń elektronicznych nad bezpieczeństwem ruchu górniczych wyciągów szybowych nie rezygnuje się z zabezpieczenia tych wyciągów w urządzenia awaryjnego hamowania, które w myśl szwedzkich przepisów muszą być stosowane na tzw. wolnych drogach przejazdu w wieży i rzapiu szybu.

Do roku 2013 wszystkie wyciągi szybowe, zarówno podpoziomowe główne obsługujące poziomy 1045 m i 1365 m, jak i wyciągi pośrednie odpowiedzialne za wydobycie rudy z poziomu 775 m na powierzchnię, wyposażone były w awaryjne urządzenia hamujące na wolnych drogach przejazdu w postaci drewnianych prowadników zgrubionych.

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

Z uwagi na planowaną modernizację wyciągów obsługujących poziom pośredni 775 m firma LKAB we współpracy z ABB AB zdecydowała się na wymianę istniejących przestarzałych, nieskutecznych urządzeń hamujących na nowoczesne, zgodne z obowiązującymi w Szwecji przepisami górniczymi.

2. Wymagania dotyczące awaryjnego hamowania wyciągów obowiązujące w Szwecji

Wytyczne odnośnie do eksploatacji górniczych wyciągów szybowych eksploatowanych w Szwecji zawarte są w dokumencie pt. *Branschavvisningar för gruvhissar i Sverige* –

BRAGS (2015). Wytyczne te zobowiązują do zainstalowania w wieży i rzapiu szybu urządzeń do awaryjnego hamowania naczyń. Przy czym w nadszybiu muszą być też urządzenia wychwytyjące naczynia i zabezpieczające przed spadkiem do szybu. Wymagania co do parametrów procesu hamowania awaryjnego zależą od rodzaju transportu (transport osób, materiałów, urobku) oraz od prędkości jazdy naczynia. Według przepisów BRAGS odnośnie do hamowania awaryjnego każdy wyciąg szybowy, którego naczynia poruszają się z prędkością wyższą od 3 m/s, musi spełniać następujące wymagania:

- prędkość wjazdu w urządzenia hamujące równa 11,7 m/s,
- opóźnienie maksymalne hamowania skipu równe $9,81 \text{ m/s}^2$.

Ważnym parametrem jest też długość wolnej drogi przejazdu w wieży, która wynosi zwykle około 10 m.

W stosunku do polskich przepisów (*Rozporządzenie...* 2017) najważniejsza różnica to ograniczenie opóźnienia podczas hamowania skipu do $9,81 \text{ m/s}^2$. Czynnikiem ten ma decydujący wpływ na ograniczenie siły hamowania. Dla porównania w przepisach obowiązujących w Polsce opóźnienie naczynia (skipu) hamowanego w wieży może wynosić do 30 m/s^2 .

3. Układ awaryjnego hamowania górniczych wyciągów szybowych w Kirunie

3.1. Wprowadzenie

Aby spełnić obowiązujące wymagania (*Branschansvisningar...* 2015) i znacząco poprawić bezpieczeństwo wyciągów szybowych, firmy LKAB i ABB AB zdecydowały się wybrać rozwiązanie techniczne ciernych urządzeń i zlecić jego zaprojektowanie oraz wykonanie polskiej firmie COAL-BUD Sp. z o.o. W wyciągach postanowiono zastosować cierny układ hamujący w postaci ruchomych belek odbojowych opracowany w Katedrze Transportu Linowego w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Urządzenie to za granicą Polski występuje pod nazwą „arrestor system” (*Arrestor system, shaft B2 – shaft bottom* 2017, *Arrestor system, shaft B2 – shaft tower* 2017, *Arrestor system, shaft B5 – shaft bottom* 2019, *Arrestor system, shaft B5 – shaft tower* 2019). Cierny układ hamujący jest stosowany w górniczych wyciągach szybowych w różnych odmianach konstrukcyjnych od ponad 30 lat i z powodzeniem konkuruje z innymi rozwiązaniami znanymi w świecie (Hamilton 2010, du Preez i Hill 2010).

Przedsiębiorstwo COAL-BUD Sp. z o.o. posiada wieloletnie doświadczenie w projektowaniu i produkcji urządzeń dla górnictwa oraz uzyskało licencję Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie na projektowanie i wykonawstwo ciernych urządzeń hamujących w postaci ruchomych belek odbojowych na wolnych drogach przejazdu.

W procesie projektowania ruchomych belek odbojowych ważnym etapem jest symulacja hamowania przeprowadzana przy wykorzystaniu programu komputerowego opracowanego w AGH. Program ten umożliwia 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 linach nośnych – są kluczowe dla potwierdzenia poprawności przyjętej koncepcji układu awaryjnego hamowania. Prace teoretyczne dotyczące awaryjnego hamowania naczyń górniczych wyciągów szybowych opisano między innymi we wcześniejszych publikacjach autora (Rokita i Wójcik 2015, Rokita 2019). W niniejszym artykule położono nacisk na przedstawienie rozwiązań konstrukcyjnych opracowanych wspólnie przez AGH i firmę COAL-BUD, wdrożonych w kopalni w Kirunie.

Do roku 2022 zostały zaprojektowane i wykonane cierne urządzenia hamujące do pięciu wyciągów szybowych: B1, B2, B3, B5 i B6. Obecnie trwają prace nad kolejnym projektem przeznaczonym do szybu B4. Szyby B1, B4, B5 i B6 wyposażone są w wyciągi szybowe ze skipami o ładowności 40 t i przeciwcieżarami. Szyby B2 i B3 wyposażono w wyciągi szybowe z dwoma skipami o ładowności 34 t każdy.

W dalszej części artykułu pokazano rozwiązania problemu awaryjnego hamowania z wykorzystaniem ciernych urządzeń hamujących zabudowanych w szybach B2 i B5.

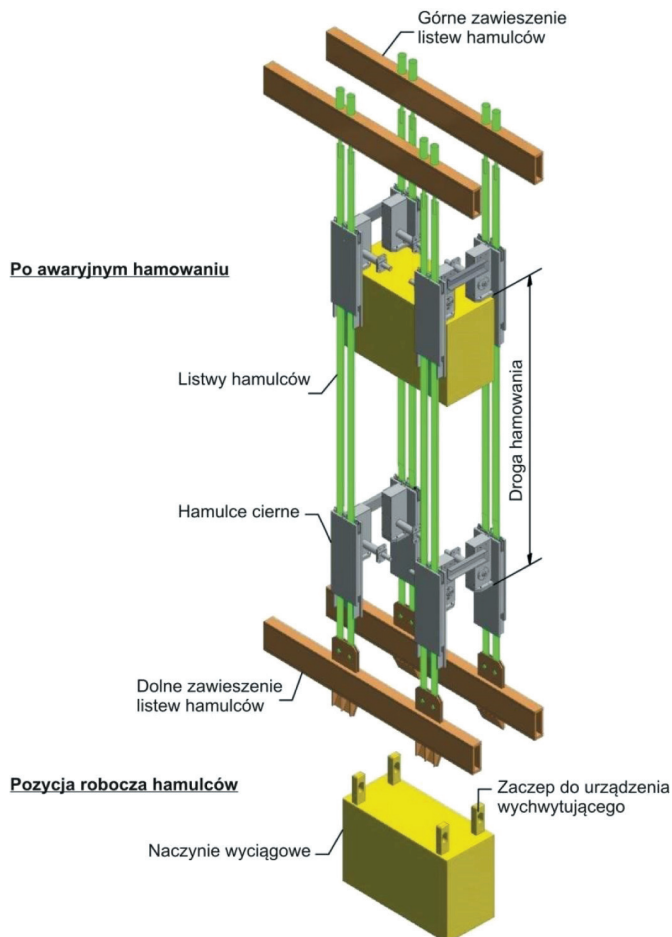
3.2. Charakterystyka i zasada działania ruchomych belek odbojowych

Działanie ruchomych belek odbojowych polega na tym, że usytuowane na początku wolnych dróg przejazdu, nie tylko wyhamowują rozpędzone naczynia wyciągowe, ale też (dzięki wbudowanym urządzeniom wychwytyującym naczynia) spełniają funkcję podchwytów. Zabezpieczają więc naczynia przed spadkiem do szybu po zakończonym procesie hamowania awaryjnego. 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.

Urządzenia w postaci ruchomych belek odbojowych zamontowane w szybie pełnią funkcję awaryjnego hamowania, pozwalając zatrzymać naczynia po przejechaniu ich poziomów technologicznych w wieży i rzapiu szybu. Działanie tego układu opisano już wielokrotnie między innymi w pracach autora (Rokita i Wójcik 2015, Rokita 2019). Zasadę działania tego układu przedstawiono na rysunku 1.

Każdy układ hamujący jest tak zaprojektowany, aby siła hamowania była wystarczająca do całkowitego wytracenia energii wszystkich mas będących w ruchu (skipy, liny nośne, liny wyrównawcze, koła itp.).

W kolejnych podrozdziałach przedstawiono rozwiązanie problemu awaryjnego hamowania dwóch różnych urządzeń wyciągowych pracujących w szybach B2 i B5.



Rys. 1. Schemat działania ruchomych belek odbojowych podczas procesu hamowania

3.3. Rozwiązanie konstrukcyjne urządzenia do awaryjnego hamowania w szybie B2

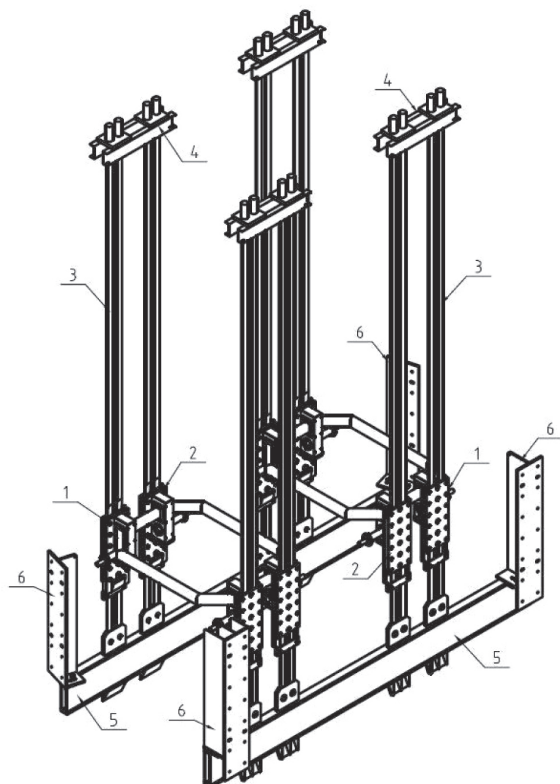
Górniczy wyciąg szybowy B2 jest wyciągiem typu ciernego z dwoma skipami. Podstawowe dane techniczne górniczego wyciągu szybowego są następujące:

- średnica tarczy pędnej 3,25 m,
- prędkość jazdy naczynia 17,0 m/s,
- ładowność skipu 34 000 kg,
- masa kompletnego skipu 27 000 kg,
- liczba lin nośnych 6 sztuk,
- liczba lin wyrównawczych 3 sztuki,
- droga jazdy naczyń 802 m.

Działanie zaprojektowanego do tego szybu układu hamowania awaryjnego w wieży opiera się na czterech hamulcach dwulistwowych zapewniających siłę hamowania 4×180 kN dla każdego skipu. Listwy hamujące są zawieszone w wieży i przymocowane do belek wspartych na istniejącej konstrukcji szybu. Natomiast ich dolne części zamocowane są sworzniowo do belek podwieszonych pod wspornikami zakotwionymi do ścian szybu kotwami Hilti.

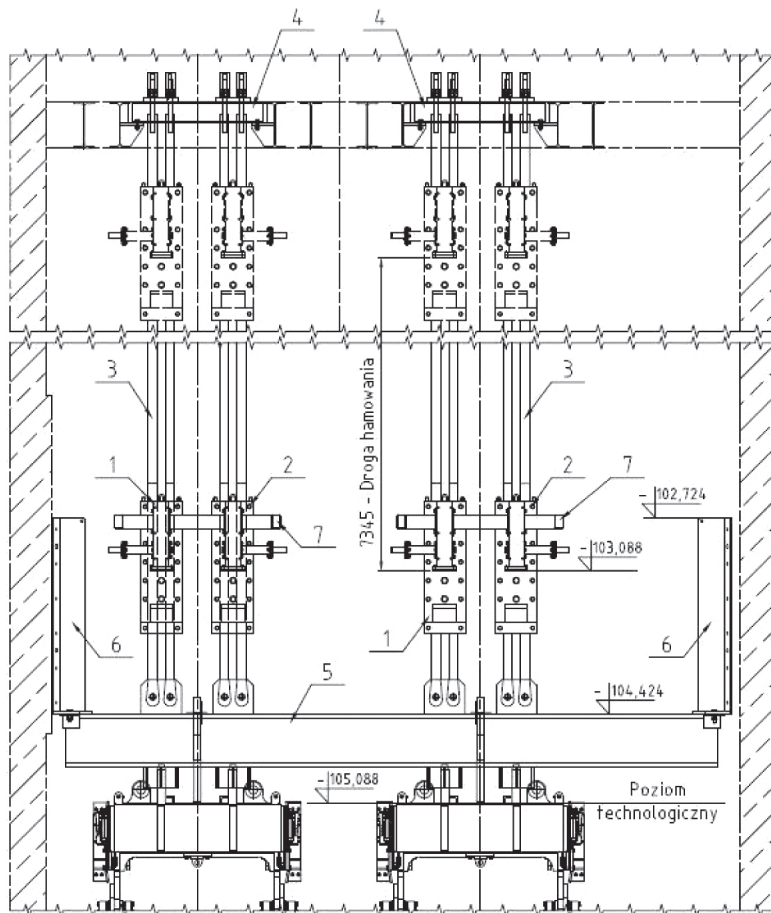
W celu zapewnienia równoczesnej pracy hamulców danego skipu i zachowania jednakowego odstępu między nimi hamulce połączono łącznikami. Na każdy skip przypadają cztery łączniki: dwa zakrzywione z uwagi na ominięcie zawiesznień lin nośnych i dwa proste.

Hamowanie skipu zaczyna się po przejechaniu poziomu zabudowy hamulców ciernych, czyli $-103,088$ m. Wolny wybieg każdego ze skipów wynosi 2000 mm, a skuteczna droga hamowania 7345 mm. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne układu awaryjnego hamowania w wieży szybu B2.



Rys. 2. Model 3D ciernego urządzenia hamującego w wieży szybu B2: 1 – hamulec cierny 180 kN z wychwytem – wykonanie lewe, 2 – hamulec cierny 180 kN z wychwytem – wykonanie prawe, 3 – listwy hamujące, 4 – belki zawieszenia górne, 5 – belki zamocowania dolne, 6 – wsporniki belek dolnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Arrestor system, shaft B2 – shaft tower* (2017)



Rys. 3. Schemat szybu z zainstalowanym ciernym urządzeniem hamującym w wieży B2:

7 – łączniki hamulców (objaśnienia 1–6 jak na rysunku 2)

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Arrestor system, shaft B2 – shaft tower* (2017)

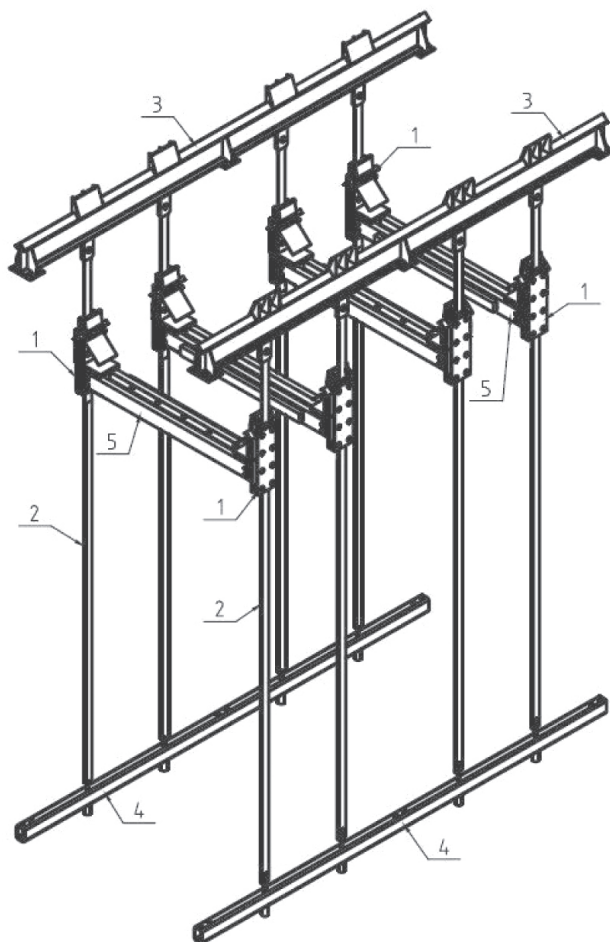
Układ hamowania w rzapiu szybu składa się z czterech hamulców jednolistwowych, zapewniających każdemu ze skipów siłę hamowania 4×70 kN. Każdy z hamulców zamontowany jest na pojedynczej listwie hamującej zabudowanej w odwrotnym kierunku niż w wieży.

Listwy górną częścią podwieszone są sworzniowo do belek wspartych na stalowej konstrukcji w rzapiu. Na każdą belkę przypadają cztery listwy hamujące, po dwie dla każdego skipu. Dolna część listew zamontowana jest za pomocą śruby M20 do belek podwieszonych do konstrukcji w rzapiu. Śruba ta służy również do napinania listew w pionie. Siła hamowania w rzapiu każdego hamulca wynosi 70 kN, czyli siła napinania listew to około 17,5 kN. Dodatkowo każde dwa hamulce zabudowane naprzeciwko

siebie połączone są łącznikami zapewniającymi ich równoczesne działanie oraz zachowanie jednakowego odstępu między nimi. Do łączników wewnętrznych przykręcono specjalne osłony zabezpieczające linę wyrównawczą przed możliwym uszkodzeniem na skutek tarcia o łącznik. Osłony wykonane są z materiału typu elastycznego Trellex WB.

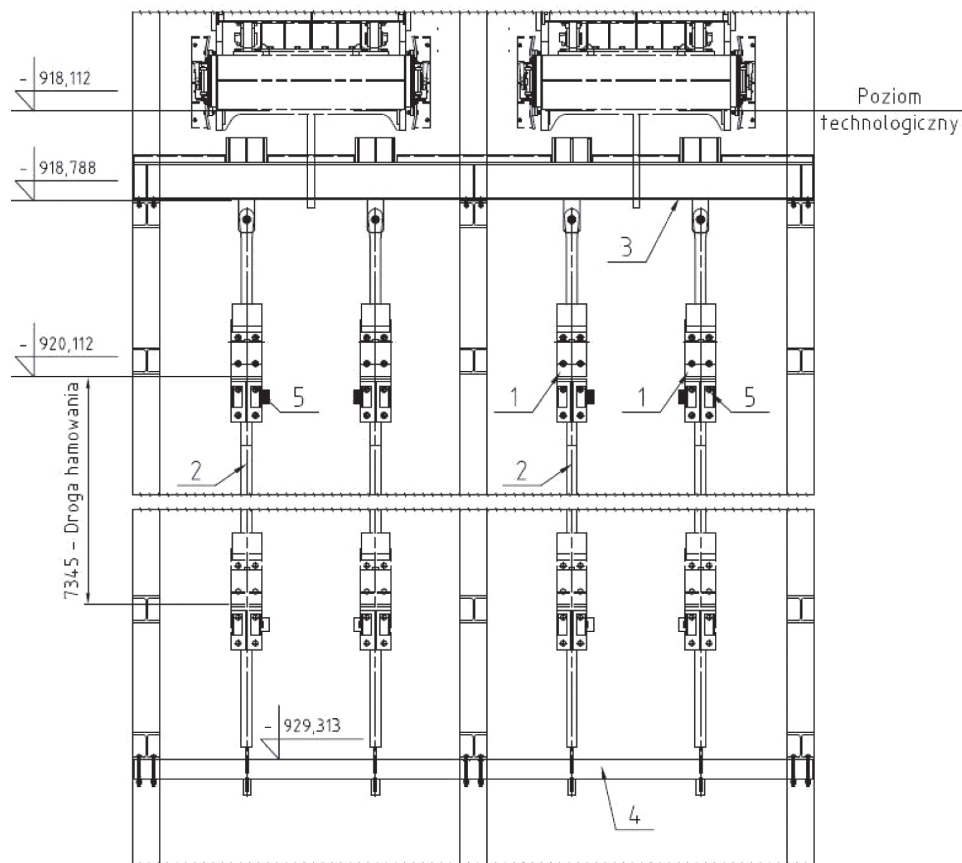
Hamowanie skipów zaczyna się po przejechaniu poziomu technologicznego hamulców, który w rzapiu wynosi $-920,112$ m. Podobnie jak w wieży wolny wybieg każdego ze skipów wynosi 2000 mm, a skuteczna droga hamowania 7345 mm.

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne układu awaryjnego hamowania w rzapiu szybu B2. Efekty skuteczności hamowania przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 4. Model 3D ciernego urządzenia hamującego w rzapiu szybu B2: 1 – hamulec cierny 70 kN, 2 – listwy hamujące, 3 – belki zawieszenia górne, 4 – belki zamocowania dolne, 5 – łączniki hamulców

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Arrestor system, shaft B2 – shaft bottom* (2017)



Rys. 5. Schemat ciernego urządzenia hamującego w rzapiu szybu B2:
(objaśnienia 1–5 jak na rysunku 4)

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Arrestor system, shaft B2 – shaft bottom* (2017)

Tabela 1

Efekty skuteczności hamowania górniczego wyciągu szybowego B2

Przypadek ruchu	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	Droga hamowania [m]
Ciągnięcie urobku	9,78	7,256
Jazda pustym skipem w dół	9,79	7,344

3.4. Rozwiązanie konstrukcyjne urządzenia do awaryjnego hamowania w szybie B5

Górnictwo wyciąg szybowy B5 jest wyciągiem typu ciernego ze skipem i przeciwcieżarem.

Podstawowe dane techniczne górniczego wyciągu szybowego są następujące:

- średnica tarczy pędnej 3,25 m,
- prędkość jazdy naczynia 17,0 m/s,
- ładowność skipu 34 000 kg,
- masa kompletnego skipu 40 000 kg,
- masa przeciwcieżaru 54 000 kg
- liczba lin nośnych 6 sztuk,
- liczba lin wyrównawczych 3 sztuki,
- droga jazdy naczyń 802 m.

Zaprojektowany do tego szybu układ hamowania awaryjnego w wieży szybu B5 składa się z czterech hamulców zapewniających siłę hamowania 4×300 kN dla skipu i czterech hamulców o sile hamowania 4×220 kN dla przeciwcieżaru. Każdy z hamulców zabudowany jest na dwóch listwach hamujących. Wszystkie hamulce wyposażone są w urządzenia zabezpieczające łączące skip i przeciwcieżar z hamulcami, zapewniające, że skip lub przeciwcieżar nie spadną do szybu w razie zerwania liny nośnej podczas hamowania.

Cierne urządzenia skipu

Górne części ośmiu listew hamujących podwieszone są w wieży do belek zbudowanych z dwóch ceowników 200 opartych końcami na belkach odbojowych wieży (dwuteowniki 400). Na jedną belkę przypadają cztery listwy, w sumie są dwie belki ustawione naprzeciwko siebie, po przeciwnych stronach skipu. Belki te zaprojektowane są tak, aby przenieść pełne obciążenie statyczne skipu w razie zerwania lin nośnych. Obciążenie statyczne po stronie skipu wynosi 1050 kN. Listwy przymocowane do belek zabezpieczone są dwoma nakrętkami.

Dolna część listew zamocowana jest sworzniowo z jednej strony do wsporników kotwionych bezpośrednio do obudowy za pomocą kotew Hilti, a z drugiej – do belki o przekroju dwuteowym przymocowanej do stalowej konstrukcji wieży.

Cierne urządzenia przeciwcieżaru

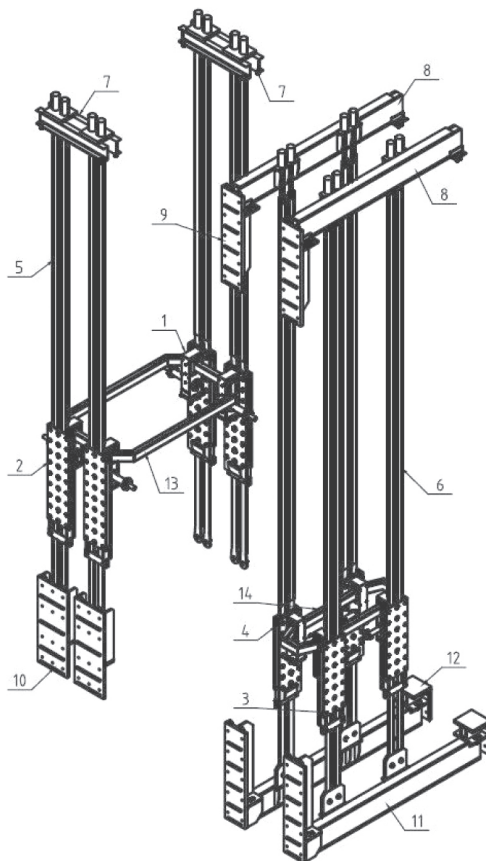
Górne części ośmiu listew hamujących podwieszone są w wieży do dwóch belek spawanych z blach o przekroju prostokątnym. Belki z jednej strony wsparte są na wspornikach kotwionych do obudowy, a z drugiej – na konstrukcji stanowiącej belki odbojowe przeciwcieżaru.

Na jedną belkę przypadają cztery listwy. W sumie są dwie belki ustawione naprzeciwko siebie, wzdłuż dłuższej osi przeciwcieżaru. Belki te zaprojektowane są tak, aby przenieść pełne obciążenie statyczne przeciwcieżaru w razie zerwania lin nośnych.

Obciążenie statyczne po stronie przeciwcieżaru wynosi 850 kN. Listwy przymocowane do belek zabezpieczone są dwoma nakrętkami.

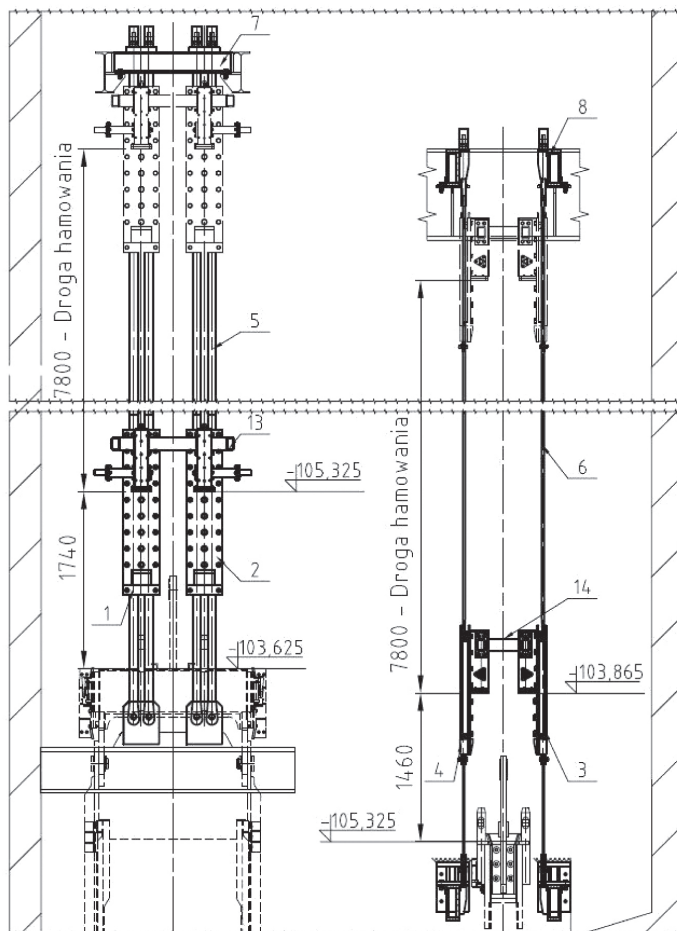
W celu zapewnienia równoczesnej pracy obu układów hamujących (po stronie skipu i po stronie przeciwcieżaru) oraz zachowania jednakowego odstępu między hamulcami w każdym z naczyń zabudowano łączniki hamulców. Wolny wybieg w przypadku obydwu naczyń wynosi 7800 mm.

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne układu awaryjnego hamowania w wieży szybu B5.



Rys. 6. Model 3D ciernego urządzenia hamującego w wieży szybu B5: 1 – hamulec cierny 300 kN z wychwytem – wykonanie lewe, 2 – hamulec cierny 300 kN z wychwytem – wykonanie prawe, 3 – hamulec cierny 220 kN z wychwytem – wykonanie lewe, 4 – hamulec cierny 220 kN z wychwytem – wykonanie prawe, 5 – listwy hamujące skipu, 6 – listwy hamujące przeciwcieżaru, 7 – belki zawieszenia górne skipu, 8 – belki zawieszenia górne przeciwcieżaru, 9 – wspornik przeciwcieżaru, 10 – wspornik dolny skipu, 11 – belki zamocowania dolne przeciwcieżaru, 12 – wsporniki belek dolnych przeciwcieżaru, 13 – łączniki hamulców skipu, 14 – łączniki hamulców przeciwcieżaru

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Arrestor system, shaft B5 – shaft tower* (2019)



Rys. 7. Schemat ciernego urządzenia hamującego w wieży szybu B5
(objaśnienia 1–14 jak na rysunku 6)

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Arrestor system, shaft B5 – shaft tower* (2019)

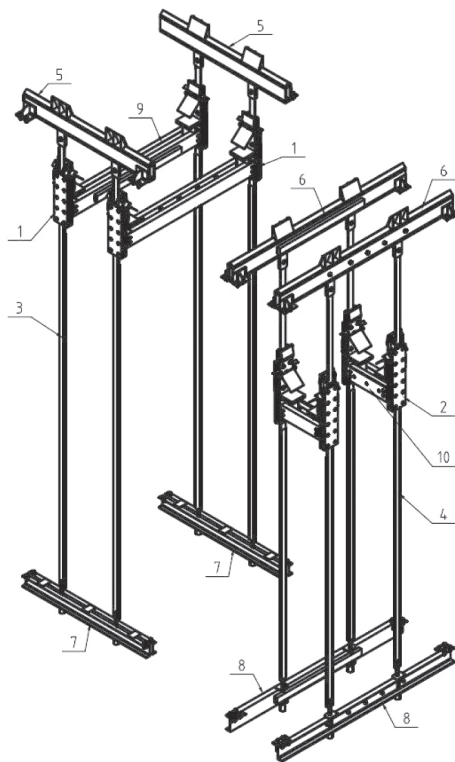
Układ hamowania w rzapiu szybu B5 składa się z czterech hamulców jednolistwowych, zapewniających siłę hamowania 4×80 kN dla skipu i czterech hamulców o siłę hamowania 4×100 kN dla przeciwcieżaru. Każdy z hamulców zamontowany jest na pojedynczej listwie hamującej zabudowanej w odwrotnym kierunku niż w wieży.

W przypadku obu naczyń listwy górną częścią podwieszono do belek wspartych na stalowej konstrukcji w rzapiu. Po stronie skipu i przeciwcieżaru zabudowane są po dwie belki o przekroju $250 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$. Belki skipu i przeciwcieżaru ustawione są do siebie poprzecznie. Z uwagi na małą odległość pomiędzy belkami przeciwcieżaru na wewnętrznych stronach zabudowano osłony liny wyrównawczej. Na każdą belkę przypadają po dwie listwy hamujące. Dolne części listew zamocowane są za pomocą śruby do belek podwieszonych do konstrukcji w rzapiu. Dolne belki w przy-

padku skipu stanowią dwa ceowniki 160 ustawione plecami do siebie i połączone w kilku miejscach blachami węzłowymi od góry i od dołu. Po stronie przeciwcieżaru belki te wykonane są z pojedynczego ceownika 220 z dospawanymi po obu końcach kątownikami. Listwy skipu zostały napięte siłą 20 kN, a listwy przeciwcieżaru – siłą 25 kN.

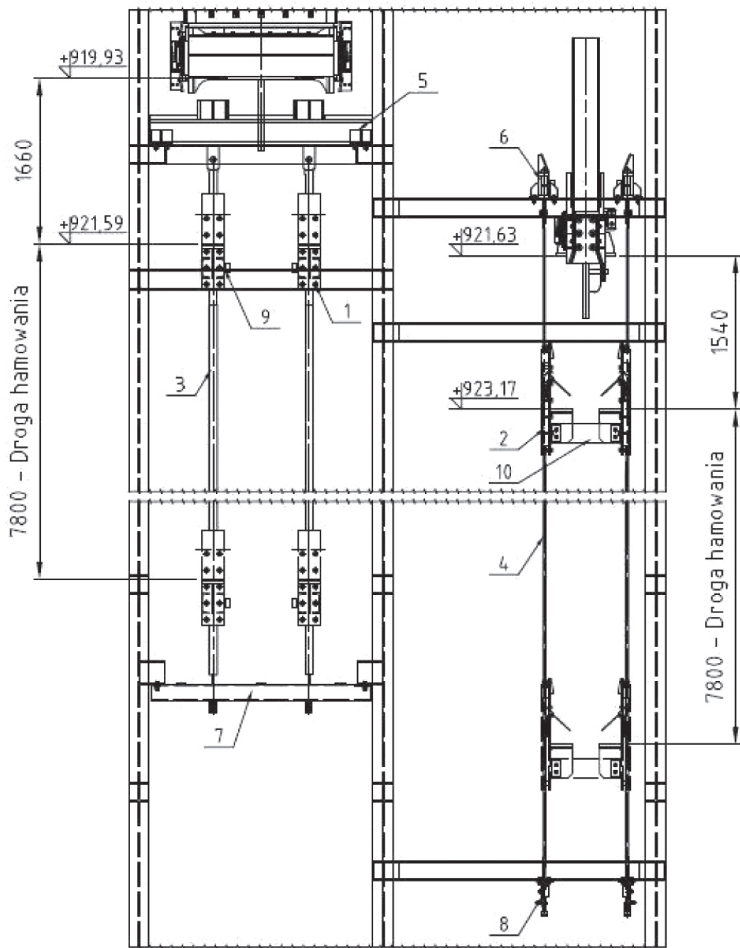
Dodatkowo każde dwa hamulce zabudowane naprzeciwko siebie połączone są łącznikami zapewniającymi ich równoczesne działanie oraz zachowanie jednakowego odstępu między nimi. Do łączników wewnętrznych skipu przykręcono podobnie jak do belek górnych specjalne osłony z materiału Trellex WB, zabezpieczające linę wyrównawczą przed możliwym uszkodzeniem na skutek tarcia o łącznik. Po stronie przeciwcieżaru zastosowano podobne osłony, ale wykonane z materiału sztywnego Robalon-S, zabezpieczające linę wyrównawczą w drugiej płaszczyźnie. Wolny wybieg w przypadku obydwu naczyń wynosi 7800 mm.

Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne układu awaryjnego hamowania w rzepiu szybu B5. Efekty skuteczności hamowania przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 8. Model 3D ciernego urządzenia hamującego w rzepiu szybu B5: 1 – hamulec cierny 80 kN, 2 – hamulec cierny 100 kN, 3 – listwy hamujące skipu, 4 – listwy hamujące przeciwcieżaru, 5 – belki zawieszenia górne skipu, 6 – belki zawieszenia górne przeciwcieżaru, 7 – belki zamocowania dolne skipu, 8 – belki zamocowania dolne przeciwcieżaru, 9 – łączniki hamulców skipu, 10 – łączniki hamulców przeciwcieżaru

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Arrestor system, shaft B5 – shaft bottom* (2019)



Rys. 9. Schemat ciernego urządzenia hamującego w rzępiu szyby B5
(objaśnienia 1–10 jak na rysunku 8)

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Arrestor system, shaft B5 – shaft bottom* (2019)

Tabela 2
Efekty skuteczności hamowania dla górniczego wyciągu szybowego B5

Przypadek ruchu	Opóźnienie hamowania [m/s ²]	Droga hamowania [m]
Ciągnienie urobku	9,55	7,682
Jazda pustym skipem w dół	9,43	7,631

Na rysunkach 10 i 11 pokazano wyprodukowane hamulce ciernie gotowe do montażu w górniczym wyciągu szybowym.



Rys. 10. Hamulce cierne z wychwytyami do zainstalowania w wieży szybu



Rys. 11. Hamulce cierne z osłonami do zainstalowania w rzapiu

4. Podsumowanie

Po zabudowie nowych urządzeń hamujących wszystkie naczynia zostały przeprojektowane, a następnie wykonane według nowych projektów oraz wyposażone w specjalne

zaczepy, spawane do głowicy, współpracujące z urządzeniami wychwytyjącymi (zabezpieczającymi) hamulców w wieży. Specjalnie zaprojektowane urządzenia wychwytyjące pozwalają na stosunkowo szybki powrót do stanu wyjściowego wyciągu szybowego po awaryjnym hamowaniu naczyn w wieży i w rzapiu.

Dodatkowo hamulce w rzapiach szybu B2 i B5 wyposażono w ochronne uchylne daszki zabezpieczające stopy hamulców przed zanieczyszczeniem powierzchni stykowej z naczyniem. W obydwu przypadkach zabudowa ciernych urządzeń hamujących w szybach B2 i B5 pozwoliła na wytracenie 100% energii kinetycznej oraz uzyskanie prawidłowych parametrów hamowania. Zastosowanie ciernych urządzeń hamujących w wieży i rzapiu pozwoliło na całkowite wyeliminowanie starego systemu hamującego w postaci prowadników zgrubionych, drewnianych.

Zastosowanie w kopalni Kiruna opisanych rozwiązań układów awaryjnego hamowania naczyn wyciągowych stanowi bardzo dobry przykład aplikacyjny prac prowadzonych w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Jest to też przykład rozwiązań technicznych, które po zainstalowaniu stan zagrożenia o charakterze losowego przypadku niekontrolowanego poślizgu przekształcają w zdarzenie o charakterze usuwalnej dysfunkcji. Ma to niewątpliwie wpływ na zwiększenie bezpieczeństwa eksploatacji ciernych urządzeń wyciągowych.

Literatura

- Arrestor system, shaft B2 – shaft bottom*, 2017, projekt techniczny przedsiębiorstwa COAL-BUD Sp. z o.o. nr 0540B, Kraków [praca niepublikowana wykonana dla ABB AB].
- Arrestor system, shaft B2 – shaft tower*, 2017, projekt techniczny przedsiębiorstwa COAL-BUD Sp. z o.o. nr 0540A, Kraków [praca niepublikowana wykonana dla ABB AB].
- Arrestor system, shaft B5 – shaft bottom*, 2019, projekt techniczny przedsiębiorstwa COAL-BUD Sp. z o.o. nr 0570B, Kraków [praca niepublikowana wykonana dla ABB AB].
- Arrestor system, shaft B5 – shaft tower*, 2019, projekt techniczny przedsiębiorstwa COAL-BUD Sp. z o.o. nr 0570A, Kraków [praca niepublikowana wykonana dla ABB AB].
- Branschavvisningar för gruvhissar i Sverige – BRAGS*, 2015, SveMin. https://www.sve.min.se/?file_download&file=970 [dostęp: 1.03.2022].
- Carlsten K., 2010, *Replacing DC-Drives with DTC AC-Drives – LKAB Kiruna, Sweden*, Transport Logistics, vol. 10, s. 366–370.

- Engberg H., 2015, *KUJ 1365 – A New Main Haulage Level in the LKAB Kiruna Mine*, [w:] Johansson B. (ed.), *Hoist & Haul 2015: Proceedings of the international conference on Hoisting and Haulage*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Englewood, s. 313–322.
- Hamilton R., 2010, Design of Overwind Arresting Systems, [w:] Brokenshire P., Andersen S. (eds.), *Hoist & Haul 2010: Proceedings of the International Conference on Hoisting and Haulage*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, s. 59–67
- du Preez A., Hill S., 2010, *Emergency Braking System for Use with Still Mine Shaft Guides*, [w:] Brokenshire P., Andersen S. (eds.), *Hoist & Haul 2010: Proceedings of the International Conference on Hoisting and Haulage*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, s. 155–160.
- Rokita T., 2019, *Metodyka rozwiązywania problemów stanów awaryjnych górniczych wyciągów szybowych za pomocą innowacyjnych urządzeń zabezpieczających*, Rozprawy Monografie, nr 352, Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Rokita T., Wójcik M., 2015, *Emergency braking of mine shaft hoists applying friction arresting devices – theory, tests and industrial applications*, [w:] Johansson B. (ed.), *Hoist & Haul 2015: Proceedings of the international conference on Hoisting and Haulage*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Englewood, s. 291–300.
- Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych, Dz.U. 2017 poz. 1118.