

TOMASZ ROKITA

# Awaria maszyny wyciągowej górniczego wyciągu szybowego zainstalowanego w przedziale południowym szybu R-II KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG Rudna

*Niniejszy artykuł dotyczy bezprecedensowego przypadku częściowego pęknięcia wału głównego maszyny wyciągowej, jaki miał miejsce w przedziale południowym szybu R-II KGHM Polska Miedź S.A. Oddział ZG „Rudna” w 2011 r. Górnicze wyciągi szybowe zainstalowane w szybie R-II są podstawowymi urządzeniami wydobywczymi nie tylko w kopalni Rudna, ale i w całym KGHM. Nieplanowane postoje tych wyciągów generują milionowe straty dla kopalni. Powody te zdecydowały o konieczności doraźnej naprawy uszkodzonego wału i eksploatacji wyciągu do czasu wykonania i dostarczenia nowego wału.*

*W artykule opisano prace związane z przygotowaniem i wykonaniem naprawy wału oraz badania przeprowadzone po naprawie. Ostatnim etapem prac było opracowanie warunków eksploatacji wału maszyny z naprawionym wałem z ograniczonymi parametrami kinematycznymi i pod ścisłym nadzorem obsługi do czasu wykonania nowego wału.*

Słowa kluczowe: *górniczny wyciąg szybowy, wał główny, awarie maszyn wyciągowych*

## 1. WPROWADZENIE

Górnice wyciągi szybowe zabudowane w szybie R-II przeznaczone są do ciągnięcia urobku w skipach o udźwigu 33 Mg. Po trzydziestu latach intensywnej eksploatacji (od 1974 r.) przystąpiono do ich kompleksowej modernizacji. Maszynę wyciągową w przedziale południowym (S) szybu R-II zmodernizowano w styczniu 2004 r, a maszynę wyciągową w przedziale północnym (N) R-II w maju 2006 r. Modernizacja polegała na wymianie części mechanicznej maszyn tzn. wału głównego, linopędni, łożysk i układ hamulców wraz ze sterowaniem.

Maszyna przystosowana jest do sterowana automatycznego oraz sterowania ręcznego przez maszynistę wyciągowego.

Dane charakterystyczne maszyny wyciągowej deklarowane w dokumentacji:

- średnica linopędni 5500 mm,
- nominalna średnica lin nośnych 50–54 mm,
- liczba lin nośnych 4,
- maksymalna nadwaga statyczna 350 kN,

- maksymalna siła statyczna w czterech linach nośnych 1200 kN,
- siła zrywająca cztery liny nośne 4 · 2130 kN,
- maksymalna prędkość ciągnięcia urobku 20 m/s.

Linopędnia maszyny wyciągowej osadzona jest na wale głównym spoczywającym w dwóch łożyskach tocznych po obu jej stronach. Łożyska smarowane są olejem, ciśnieniowo w obiegu zamkniętym. Na obydwu swobodnych końcach wału nałożone są wirniki silników napędowych. Napęd maszyny wyciągowej stanowią dwa obcowzbudne silniki prądu stałego PW-106 o mocy 3600 kW każdy, zasilane z przekształtników tyrystorowych serii DCA 600.

Hamulec składa się z czterech stojaków hamulcowych z szesnastoma parami siłowników (po cztery na każdym ze stojaków) i zespołu sterowniczo-zasilającego składającego się z dwóch agregatów hydraulicznych, z których jeden stanowi rezerwę. Łożyska wału głównego, stojaki hamulcowe, stojany silników napędowych i urządzenie do obróbki rowków linowych posadowione są na stalowej konstrukcji wieży wyciągowej.

Maszyna wyciągowa w części mechanicznej składa się z wału głównego spoczywającego w dwóch łożyskach tocznych, linopędni dostosowanej do współpracy z czterema linami wyciągowymi nośnymi, hamulca oddziałującego na dwie tarcze hamulcowe, składającego się z czterech stojaków, na których zamocowane są po cztery pary hydraulicznie odwodzonych siłowników hamulcowych sterowanych dwuagregatowym zespołem sterowniczo-zasilającym, dwóch silników napędowych oraz urządzenia do obróbki rowków linowych.

Do nadzorowania i kontroli ruchu maszyny zastosowane są nadajniki impulsów połączone z wałem głównym, tj.:

- pulsogenerator zabudowany z jednej strony wału,
- tachoprądnica z pulsogeneratorem zabudowane z drugiej strony wału.

Natomiast do kontrolowania ruchu naczyń wyciągu szybowego zastosowano pulsogenerator napędzany od osi wału kół linowych odciskowych.

Oba agregaty hydrauliczne zespołu sterowniczo-zasilającego hamulca usytuowane są na poziomie maszyny wyciągowej. Na rysunku 1 zamieszczono widok maszyny w przedziale (S) po modernizacji.



Rys. 1. Widok maszyny wyciągowej w przedziale (S) szybu R-II po modernizacji w 2004 r. [1]

W dniu 17.04.2011 r. obsługa wyciągu zaobserwowała uszkodzenie wału maszyny wyciągowej w przedziale południowym w rejonie przejścia wału w kołnierz służący do połączenia z linopędnią po stronie wschodniej.

Pęknięcia, jak również miejscami odpryski materiału, były widoczne na długości około połowy obwodu wału. Charakter uszkodzenia wskazywał na pęknięcie zmęczeniowe (rys. 2 i 3).

Ze względu na możliwość dostępu do miejsca uszkodzenia jedynie od strony łożyska wału (wschodniej) dokładna ocena uszkodzenia była możliwa dopiero po

demontażu linopędni i wykonaniu specjalistycznych badań metodą wizualną i magnetyczno-proszkową. Badania te zostały wykonane w dniu 17.04.2011 r. przez rzeczoznawcę z firmy Autorytet Spółka z o.o. [2].

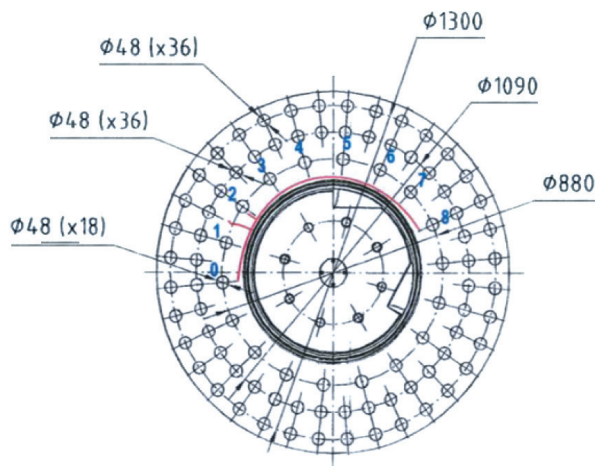


Rys. 2. Pęknięcia po obwodzie z wykruszeniem [1]



Rys. 3. Pęknięcia po obwodzie oraz pęknięcia promieniowe [1]

Na podstawie wykonanych badań sporządzono między innymi rysunek 4 z zaznaczeniem rozpoznanych uszkodzeń.



Rys. 4. Tarcza boczna linopędni maszyny wyciągowej w przedziale południowym (od strony wschodniej) z zaznaczonymi pęknięciami (kolor czerwony) [2]

W wyniku badania stwierdzono:

- pęknięcie po obwodzie o długości  $\sim 1000$  mm w kierunku osiowym (równoległe do osi wału) na wskroś materiału;
- pęknięcie z wykruszeniem materiału o długości  $\sim 460$  mm w kierunku osiowym na wskroś materiału;
- dwa pęknięcia promieniowe (prostopadle do osi wału) od obwodowego o długości  $\sim 100$  mm i  $\sim 60$  mm pomiędzy śrubami nr 1 i 2.

Stwierdzone uszkodzenia nie pozwalały na dalszą eksploatację maszyny wyciągowej. Konsekwencją ww. badań była Decyzja Dyrektora Urzędu Górniczego do Badań Kontrolnych Urzędzeń Energomechanicznych wstrzymująca ruch zakładu górniczego w części dotyczącej górniczego wyciągu szybowego zainstalowanego w przedziale południowym szybu R-II O/ZG Rudna [3].

## 2. KONCEPCJA NAPRAWY WAŁU

Naprawę pękniętego wału zdecydowano się wykonać metodą spawania według technologii opracowanej przez Instytut Spawalnictwa w Gliwicach i uzgodnionej z ZG Rudna [4]. Z uwagi na rozległy ubytek materiału kołnierza konieczne było przygotowanie rowka spawalniczego, czyli wykonanie odpowiednich podcięć (geometrii) elementów łączonych (rys. 5). Po przygotowaniu brzegów rowka spawalniczego przeprowadzono badania penetracyjne (pod kątem wykrycia ewentualnych pęknięć).



Rys. 5. Przebieg naprawy. Przygotowanie rowka spawalniczego z uwagi na grubość kołnierza i wielkość pęknięcia [1]

Obszar wokół miejsca naprawy został odizolowany, a następnie podgrzany do temperatury około  $100^{\circ}\text{C}$  za pomocą nagrzewarki oporowej oraz mat

grzewczych z szybkością około  $25^{\circ}\text{C}$  na godzinę. Po ustabilizowaniu się temperatury na wale i kołnierzu przystąpiono do wykonywania prac spawalniczych, jednocześnie prowadząc ciągłą rejestrację temperatury elementów sąsiadujących z miejscem spawania (rys. 6). Szczególną uwagę zwracano na utrzymanie w odpowiednim zakresie różnicy temperatur elementów łożyska podtrzymującego wał [5–7].

Aby uchronić łożysko toczne przed możliwym uszkodzeniem wskutek rozszerzalności cieplnej podgrzewano obudowę łożyska tak, aby różnica temperatury między bieżnią wewnętrzną i zewnętrzną nie przekroczyła  $15^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 6. Obszar wokół miejsca spawania został odizolowany, a następnie podgrzany za pomocą nagrzewarki oporowej oraz mat grzewczych; prędkość nagrzewania wynosiła około  $25^{\circ}\text{C}$  na godzinę [1]

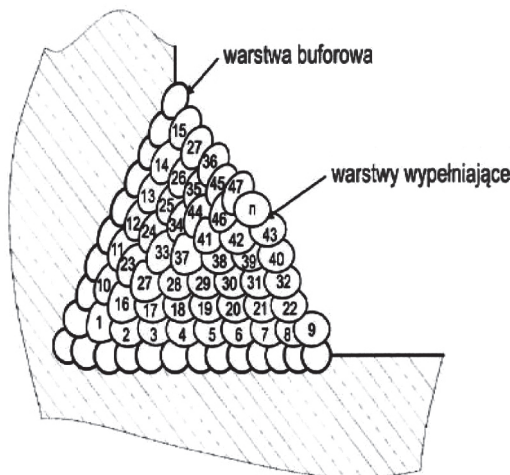
Ze względu na to, że materiał, z którego wykonano wał, należy do stali trudno spawalnych, a także z uwagi na rozmiar uszkodzenia proces spawania przeprowadzono dwuetapowo. W pierwszej kolejności wykonano warstwę buforową od strony wału oraz kołnierza. Następnie odpowiednio wyrównano powierzchnię warstwy buforowej za pomocą szlifowania oraz przystąpiono do wypełniania rowka spawalniczego zgodnie z przygotowaną wcześniej instrukcją (rys. 7). Na rysunku 8 przedstawiono widok fragmentu wału w rejonie pęknięcia po nałożeniu warstwy buforowej.

Kolejnym etapem było łączenie kołnierza z wałem (zamykanie spoiny). Jako spoiwo wykorzystano drut ENiCrFe-3 według AWS A 5.11. Po połączeniu kołnierza z wałem wypełniono cały rowek spawalniczy oraz nałożono naddatek na obróbkę skrawaniem (rys. 9).

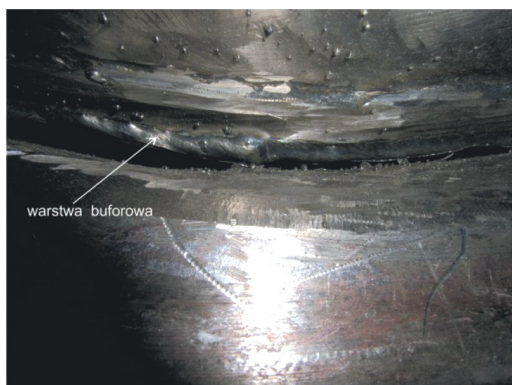
Na każdym etapie prac spawalniczych były wykonywane badania penetracyjne. W przypadku wykrycia pęknięć materiał szlifowano aż do ich usunięcia, a dopiero potem kontynuowano prace spawalnicze. Materiały dodatkowe zastosowane do spawania zo-



stały dobrane w taki sposób, aby umożliwić wykonanie połączenia trudno spawalnego materiału, z którego wykonano wał, oraz aby uzyskać właściwości stopiwa jak najbardziej zbliżone do właściwości materiału rodzimego wału. Prace spawalnicze związane z naprawą wału były wykonywane bez przerwy (dzień i noc) przez mniej więcej tydzień.



Rys. 7. Kolejność wykonywania prac spawalniczych: warstwy buforowej i warstwy wypełniającej [4]



Rys. 8. Widok wału po nałożeniu warstwy buforowej [1]

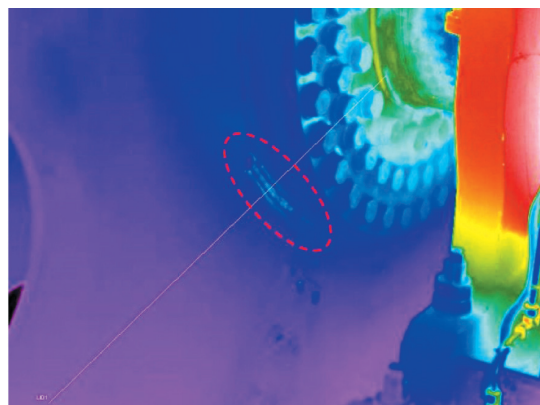


Rys. 9. Obróbka wału po spawaniu w celu nadania fragmentowi wału odpowiedniego promienia krzywizny [1]

### 3. BADANIA WAŁU MASZyny PO WYKONANEJ NAPRAWIE

Po wykonaniu naprawy przeprowadzono badania wału maszyny w celu potwierdzenia gotowości naprawionego wału do dalszej eksploatacji. Badania wykonywane były między innymi przez rzeczoznawców z firmy Autorytet Spółka z o.o. [8, 9] (badania niszczące wału) oraz pracowników Katedry Transportu Linowego AGH w Krakowie (badania naprężeń). Wykonane przez KTL-AGH badania tensometryczne naprężeń w części cylindrycznej wału oraz w kołnierzu łączącym go z linopędną oraz badania termowizyjne naprawionego fragmentu wału [10] miały stwierdzić brak kumulowania się naprężeń w częściach wału objętych naprawą.

Z kolei celem wykonywanych pomiarów rozkładu temperatury na wale maszyny w rejonie przejścia w kołnierz służący do łączenia wału z linopędną było określenie zmian temperatury w tym węźle. Do badań wykorzystano kamerę termowizyjną FLIR P660 wraz ze statywem. Zarejestrowane wyniki badań porównano z wynikami zarejestrowanymi na tej samej maszynie 23 października 2010 r., a więc jeszcze przed awarią [11]. Na rysunku 10 pokazano przykładowy termogram fragmentu wału napędowego i tarczy koła pędnego.



Rys. 10. Termogram fragmentu wału napędowego i tarczy koła pędnego od strony południowo-wschodniej (paleta „rain”) [10]

Pomiary termowizyjne wskazały na brak istotnie dużych różnic temperaturowych badanej struktury napędowej (wał – linopędna). W odniesieniu do wyników pomiarów sprzed awarii też nie zanotowano większych różnic. Średnie temperatury wału obu pomiarów różniły się z powodu różnic w temperaturze otoczenia podczas wykonywania pomiarów.

Dlatego ważniejsze były różnice temperatur przy przejściu z części walcowej wału w kołnierz do połączenia z linopędną. Różnica temperatur wynosiła około 5,3°C. Należy mieć na uwadze to, że pomiary mogły być obarczone niepewnością pomiarową wynikającą między innymi z różnych współczynników emisyjności dla różnych badanych struktur, przepływem ciepłych i zimnych mas powietrza wymuszonym przez wentylatory silników, drganiami wieży mogącymi wpływać niekorzystnie na kamerę termowizyjną, wpływem odbicia promieniowania pochodzącego od innych źródeł ciepła itp.

Zarówno badania tensometryczne, jak i termowizyjne wskazały brak wyraźnego zwiększenia koncentracji naprężeń lokalnych (wpływu karbu) w badanym rejonie wału po jego naprawie.

#### 4. PARAMETRY PRACY MASZYNY Z NAPRAWIONYM WAŁEM

Po stwierdzeniu, że wał po naprawie nie wykazuje wyraźnych usterek, przystąpiono do opracowania parametrów pracy maszyny z naprawionym wałem do chwili wykonania nowego wału.

Wał wykonano ze stali E335 o następujących parametrach własności wytrzymałościowych:

- granica plastyczności  $R_{el} = 280 \text{ N/mm}^2$ ,
- doraźna wytrzymałość na rozciąganie  $R_m = 590 \text{ N/mm}^2$ ,
- graniczne zastępcze naprężenie dopuszczalne uwzględniające trwałą wytrzymałość zmęczeniową  $R_{limit} = 50 \text{ N/mm}^2$ .

Stwierdzono, że uszkodzenie przekroju nastąpiło w miejscu nasady kołnierza wschodniego wału, do którego trzema rzędami śrub mocowane są dwie połówki tarczy bocznej linopędni. W obliczeniach wytrzymałościowych wału [12] jest to przekrój o średnicy  $\phi 685 \text{ mm}$  o wskaźnikach: wytrzymałości na zginanie  $W_g = 31\,555\,249 \text{ mm}^3$ , na skręcanie  $W_s = 63\,110\,498 \text{ mm}^3$ . Maksymalne obliczeniowe naprężenia zredukowane dla danego przypadku obciążenia wynoszą odpowiednio:

- obciążenia w warunkach eksploatacyjnych  $\sigma_e = 30,87 \text{ N/mm}^2$ ,
- obciążenia wyjątkowe w warunkach awaryjnych  $\sigma_e = 179,96 \text{ N/mm}^2$ .

Założono, że wykonana naprawa uszkodzonego przekroju wału może jednak spowodować spadek ogólnej nośności wału o szacunkową wartość około 30%. Dlatego też zaproponowano zmniejszenie parametrów ruchowych pracy maszyny wyciągowej po naprawie do wartości:

- masa użyteczna rzeczywista 25 000 kg,
- prędkość dla wydobywania 12 m/s,
- przyspieszenie i opóźnienie ruchowe  $0,5 \text{ m/s}^2$ .

Po przyjęciu powyższych parametrów wykonano obliczenia wytrzymałościowe wału, uzyskując następujące maksymalne obliczeniowe naprężenia wypadkowe dla obciążenia w warunkach eksploatacyjnych  $\sigma_e = 21,20 \text{ N/mm}^2$ . Obciążenie wyjątkowe w warunkach awaryjnych wywołuje naprężenie o niezmięnionej wartości w stosunku do stanu przed naprawą. Zmniejszenie wartości parametrów pracy maszyny spowoduje zmniejszenie naprężenia w przekroju naprawianym o  $9,67 \text{ N/mm}^2$ , tj. o 31,32%. Ograniczenie parametrów ruchowych maszyny wyciągowej, a szczególnie przyspieszenia i opóźnienia do wartości  $0,5 \text{ m/s}^2$  spowoduje znaczne ograniczenie wartości momentu dynamicznego, który ma decydujący wpływ na proces zmęczenia elementów konstrukcyjnych maszyny.

Przedłożona przez firmę projektującą wał analiza wytrzymałościowa wału, wykonana metodą elementów skończonych (MES), przy założonych parametrach pracy maszyny wyciągowej po naprawie wału wykazała również akceptowalny poziom naprężeń, potwierdzając wyniki tradycyjnych obliczeń wytrzymałościowych. Obniżone wartości proponowanych parametrów ruchowych po naprawie wału skutkowały obniżeniem o około 40% maksymalnych wartości momentu pochodzącego od nadwagi w stanie przyspieszenia ruchu maszyny, tj. z 1766 kNm do 1046 kNm. Było to istotne zmniejszenie obciążenia momentem kołnierza wału, w sytuacji kiedy uszkodzeniu uległ przekrój nośny podstawy kołnierza wału. Konsekwencją zmniejszenia parametrów ruchowych maszyny wyciągowej było również zwiększenie nadmiaru wytrzymałościowego śrubowego połączenia kołnierza wału z tarczą boczną linopędni z wartości 5,62 do 9,49.

Stwierdzono, że wykonana naprawa nie spowodowała powstania karbu materiałowego, który może nastąpić w przypadku znacznej różnicy twardości

na niewielkim obszarze elementu. Jest to kolejna przesłanka świadcząca o tym, że po naprawie i ograniczeniu obciążenia dalsza eksploatacja wału jest możliwa.

Wzięto pod uwagę:

- ocenę poprawności technologii i wykonania naprawy wału,
- szacunkową ocenę nośności wykonanego połączenia,
- wyniki klasycznych obliczeń wytrzymałościowych wału,
- analizę wytrzymałościową wału wykonaną metodą elementów skończonych.

W związku z powyższym podjęto decyzję zezwalającą na ograniczoną czasowo (do sześciu miesięcy od chwili przeprowadzenia naprawy) eksploatację maszyny wyciągowej przy ograniczonych parametrach ruchu do momentu wykonania nowego wału. Wewnętrzny przekrój nasady kołnierza wału, gdzie prawdopodobnie rozpoczęło się pęknięcie, był niewidoczny od wewnątrz linopędni, ponieważ zasłaniała go tarcza boczna (wschodnia) linopędni. Dlatego, w celu kontroli tego przekroju, po uzgodnieniu z konstruktorem wału wykonano w każdej połówce tarczy bocznej linopędni po trzy otwory pozwalające wzrokowo lub dostępną technicznie metodą kontrolować ten przekrój. Wizualna kontrola przekroju nasady kołnierza wału od strony łożyska wschodniego była cały czas w pełni możliwa. Przekrój ten można było kontrolować dostępnymi technicznie metodami.

Ustalenia dotyczące kontroli:

- zalecono ciągłą kontrolę wzrokową odpowiednio przygotowanego pracownika, rejonu wału maszyny wyciągowej pomiędzy obudową łożyska wschodniego a kołnierzem wału; była ona istotna ze względu na to, że maszyniści nie widzą maszyn na wieży szybu R-II;
- po każdej zmianie, po wejściu do wnętrza linopędni przy dobrym oświetleniu przez wykonane otwory, zalecono kontrolować wzrokowo stan naprawianego przekroju; kontroli powinien zostać poddany także kołnierz zachodni wału;
- przez okres pierwszych trzech tygodni pracy maszyny po naprawie zalecono, aby kontrole były wykonywane możliwie często – minimum po każdej zmianie, a również podczas technologicznych zatrzymań maszyny wyciągowej;

- po trzech tygodniach pracy maszyny zalecono przeprowadzanie kontroli naprawianego przekroju raz na zmianę;
- rewizje rejonu naprawianego wału powinny być przeprowadzane z zastosowaniem obowiązujących przepisów bezpieczeństwa pracy.

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W wyniku zaistniałej awarii górniczy wyciąg szybowy R-II w przedziale południowym był wyłączony z eksploatacji przez dwadzieścia siedem dni (od 17.04.2011 r. do 13.05.2011 r.). Przez kolejne sto osiemnaście dni (do 08.09.2011 r.) wyciąg był eksploatowany przy ograniczonych parametrach ruchowych (do około 54% swojej nominalnej wydajności). W dniach od 08.09.2011 r. do 16.09.2011 r. przeprowadzono wymianę wału na nowy o zmienionej konstrukcji.

Awaria związana z pęknięciem kołnierza wału spowodowała łączne straty w wydobywaniu rudy miedzi oszacowane (według danych z ZG Rudna) na 43 240 skipów (1 362 060 Mg). Dodatkowo w związku z awaryjnym zatrzymaniem górniczego wyciągu szybowego R-II S konieczne były zmiany w logistyce dostaw rudy do O/ZWR Rejon Polkowice i Rudna. Należy zwrócić uwagę, że gdyby nie pomyślnie przeprowadzona naprawa wału maszyny wyciągowej przedziału południowego szybu R-II, powstałe straty byłyby znacznie większe.

### Literatura

- [1] Opinia dotycząca badań i oceny awaryjnej naprawy wału wraz z określeniem parametrów technicznych dalszej eksploatacji maszyny wyciągowej 4L-5500/2×3600 szybu R-II przedział południowy KGHM Polska Miedź S.A. Oddział ZG „Rudna” oprac. zespół pod kierunkiem dr hab. inż. Mariana Wójcika, prof. AGH, Kraków, 11 maja 2011 r.
- [2] Wyniki badania Nr 114/11/N/Ł z dn. 17.04.2011 r., oprac. Zespół Rzeczoznawców Urzędów Technicznych „Autorytet” Sp. z o.o., Polkowice, ul. Kopalniana 1.
- [3] Decyzja Urzędu Górniczego do Badań Kontrolnych Urzędów Energomechanicznych L. dz. UGB/0232/0001/11/01520/Sz.
- [4] Wytyczne naprawy za pomocą spawania pęknięcia na kołnierzu wału głównego maszyny wyciągowej szybu R-II przedział południowy w O/ZG „Rudna” KGHM Polska Miedź S.A., Instytut Spawalnictwa, Gliwice.
- [5] Opis technologii podgrzewania do spawania wału maszyny – Firma LMS s.c. T. Maciola i K. Scheithauer, Chorzów, ul. Wieniawskiego 18.
- [6] Sprawozdanie z naprawy za pomocą spawania pęknięcia znajdującego się na kołnierzu wału głównego maszyny wyciągowej szybu R-II przedział południowy w O/ZG „Rudna” KGHM Polska Miedź S.A. wraz z instrukcją technologiczną spawania W/P/Z/11 i atestami materiałowymi, Warexim Przedsiębiorstwo Wielobranżowe Aleksander Warsz, ul. Czajki 11/38, 44-114 Gliwice.

- [7] Technologia podgrzewania wału, Firma LMS s.c. T. Macioła i K. Scheithauer, Chorzów, ul. Wieniawskiego 18.
- [8] Wyniki badania nr 138/11/N/Ł – Badania ultradźwiękowe wału maszyny wyciągowej 4L-5500/2×3600 szybu R-II przedział południowy, „Autorytet”, Polkowice, 10.05.2011 r.
- [9] Wyniki badania nr 139/11/N/Ł – Badania nieniszczące wału maszyny wyciągowej 4L-5500/2×3600 szybu R-II przedział południowy, „Autorytet”, Polkowice, 10.05.2011 r.
- [10] Pomiar tensometryczny naprężeń w konstrukcji kół pędnych wraz z analizą wyników w maszynach wyciągowych wyciągów górniczych w szybie R-II KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG „Rudna”, Katedra Transportu Linowego AGH, Kraków, czerwiec 2010 r.
- [11] Badania i oceny koła pędnego w maszynach wyciągowych wyciągów górniczych w szybie R-II KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG „Rudna”, Katedra Transportu Linowego AGH, Kraków, październik 2010 r.
- [12] Dokumentacja do wniosku o dopuszczenie do stosowania maszyny wyciągowej 4L-5500/2×3600 produkcji firmy ABB szyb R-II przedziały południowy i północny KGHM Polska Miedź S.A. Oddział ZG „Rudna”, nr dok. 3BPC001189D0144, t. 1 i 2.

*dr inż. TOMASZ ROKITA*  
*Katedra Transportu Linowego*  
*Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki*  
*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza*  
*im. Stanisława Staszica w Krakowie*  
*al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*  
*rokitom@agh.edu.pl*