MICHAŁ STAWOWIAK
ZENON ROŻENEK

Ocena trwałości lin pracujących w górniczych wyciągach szybowych

W artykule przedstawiono problematykę trwałości lin nośnych i wyrównawczych eksploatowanych w wybranych szybach kopalń głębinowych. Opisano podstawowe przyczyny zużywania się lin wyciągowych, podano metody oceny zużycia lin stalowych, przedstawiono także kryteria oceny trwałości lin nośnych wyciągowych. Autor zaprezentował również wybrane wyniki z wydłużeń lin nośnych wyciągowych. Artykuł zakończony jest wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych badań. Artykuł został także opatrzony zdjęciami przedstawiającymi aparaturę pomiarową, wykorzystywaną do oceny trwałości lin stalowych oraz stalowo-gumowych. W artykule przytoczono zostały kryteria oceny trwałości lin nośnych.

Słowa kluczowe: *eksploatacja, liny, ocena, trwałość*

1. WPROWADZENIE

Górnicze urządzenia wyciągowe stanowią najważniejsze ogniwo i są podstawowym środkiem transportu w polskim górnictwie węgla kamiennego. Za pomocą tych urządzeń odbywa się transport wydobytego urobku z podziemi kopalń. Urządzenia wyciągowe pełnią też szereg innych funkcji, takich jak zjazd i wyjazd załogi oraz opuszczanie różnego rodzaju materiałów niezbędnych do eksploatacji złoża, a także utrzymywania infrastruktury kopalni [1].

Zmniejszająca się liczba złóż węgla zalegających w dogodnych warunkach górniczo-geologicznych oraz stale zwiększająca się głębokość eksploatacji wpływa na wzrost kosztów wydobycia. Jeśli dodamy do tego relatywnie niskie ceny węgla na światowych rynkach, to wyłania się rzeczywisty obraz górnictwa węgla kamiennego w Polsce i na świecie. Szansą na polepszenie opłacalności eksploatacji, a co za tym idzie: utrzymanie rentowności polskich kopalń, jest wzrost koncentracji wydobycia. Opisany powyżej stan przyczynia się do konieczności stosowania coraz bardziej wydajnych i niezawodnych urządzeń wyciągowych. Można to osiągnąć, stosując naczynia wyciągowe o coraz większej pojemności, a także prędkości jazdy w szybach wyciągowych. Skutkiem tego typu działań jest wzrost parametrów pracy lin, co ma wpływ na zmniejszenie ich trwałości [1–3].

Liny stalowe stosowane w wyciągach szybowych ulegają różnym procesom zużyciowym. Wpływają one na zmianę ich parametrów mechanicznych, w rezultacie tracą one swoje właściwości eksploatacyjne. Liny podlegają nieliniowym w funkcji czasu procesom zużyciowym. Skutkom przewidywalnego zużycia próbuje się przeciwdziałać, prowadząc regularne badania oraz kontrole różnymi metodami: od wizualnych do nieniszczących [3–5].

Aby lepiej poznać procesy zużyciowe lin, przydatne może okazać się przeprowadzenie analizy ich trwałości. Analizie takiej poddane zostały liny pracujące w wyciągach szybowych zjazdowo-materiałowych) na jednej z wybranych kopalń węgla kamiennego. Źródłem danych były raporty z badań okresowo przeprowadzanych przez rzeczoznawców, książki okresowych kontroli wyciągów szybowych i książki raportów szybowych.

2. METODY OCENY STANU LIN STALOWYCH

Do oceny stanu liny będącej w eksploatacji stosuje się kilka metod. Można wśród nich wyróżnić dwie grupy [4]:

- nieaparaturowe – opierają się na przyglądaniu się procesom zużyciowym lub na pomiarach cech geometrycznych liny zmieniających się wraz z jej eksploatacją,
- aparaturowe – polegają na wykorzystaniu specjalistycznej aparatury – najczęściej stosowane są badania magnetyczne [6].

2.1. Metody nieaparaturowe

2.1.1. Metoda wizualna

Metoda ta opiera się na wzrokowej obserwacji stanu dostępnej części liny. To najbardziej rozpowszechniona metoda diagnostyczna do oceny stanu lin. Wymaga ona dużego doświadczenia osoby przeprowadzającej obserwacje. Ze względu na brak jednoznacznych kryteriów metoda ta jest mało obiektywna. Cykliczne zliczanie złomów zmęczeniowych drutów może być wykorzystane do sporządzenia charakterystyki zużycia zmęczeniowego lin [4].

Obserwacje umożliwiają ujawnienie uszkodzeń, takich jak [7]:

- zerwanie splotek,
- korozja,
- pęknięcia drutów,
- zmiana średnicy liny,
- deformacje,
- falistości,
- miejsca mocowania liny.

2.1.2. Metody pomiaru cech geometrycznych liny

Najbardziej rozpowszechnioną metodą oceny stanu lin w tej grupie jest rejestracja zmian średnic w wyznaczonym przekroju liny. Odniesieniem jest wymiar nominalny lub rzeczywisty w wyznaczonym przekroju. Rejestracji średnic dokonuje się po pewnym czasie od założenia nowej liny, gdy średnica wyraźnie się ustabilizuje. Zmniejszenie średnicy w danym miejscu w większości przypadków jest związane z uszkodzeniem lub wadą rdzenia. Maleje lub wzrasta wówczas sztywność poprzeczna liny, co ma wpływ na przyspieszenie zużycia zmęczeniowego. Niebezpieczny jest również lokalny wzrost sztywności poprzecznej liny oraz opadanie splotek na rdzeń. Zjawiska te w linach przeginanych mogą prowadzić do złomów zmęczeniowych drutów [4].

Przykład wzoru:

$$\Delta d = \frac{d - d_{nom}}{d_{nom}} \cdot 100\% \tag{1}$$

gdzie:

d_{nom} – średnica nominalna liny [mm],
d – zmierzona średnica liny [mm].

Kolejną metodą oceny stanu lin w tej grupie jest pomiar długości skoku liny. To długość skoku helisy, którą zakreślają pojedyncze splotki. Skoki lin z rdzeniami stalowymi wynoszą od 7 do 9 średnic nominalnych. W celu zwiększenia dokładności pomiaru dokonuje się na trzykrotnej długości skoku. Należy wykonać go w kilku oznaczonych odcinkach. Odniesieniem jest wymiar rzeczywisty lub nominalny liny w danym miejscu. Pomiar długości skoku liny jest uzasadniony dopiero po określonym czasie, innym dla każdego urządzenia i konstrukcji liny. Zwłoka ta ma na celu stabilizację parametrów sprężystych liny (brak wydłużenia). Gdy po tym okresie długość skoku zmienia się, może to wskazywać na kręcenie się lin. Znacząca różnica długości skoku w porównaniu z wartością nominalną oddziałuje na spadek trwałości zmęczeniowej [4, 7]:

$$\Delta l = \frac{l_s - l_{nom}}{l_{nom}} \times 100 \tag{2}$$

gdzie:

l_{nom} – nominalna długość skoku liny [mm],
l_s – mierzona długość skoku liny [mm].

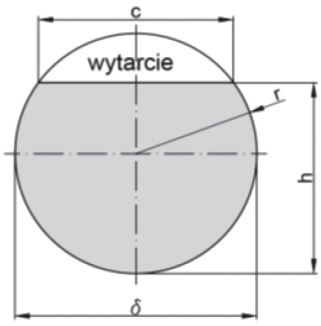
2.1.3. Metody pomiaru wielkości geometrycznych ubytków

Do pomiaru wielkości starć drutów wykorzystywane są trzy metody: metoda pomiaru średnicy liny, metoda pomiaru wymiarów starcia pojedynczego drutu oraz metoda pomiaru powierzchni odbicia liny *in print*.

Metoda pomiaru średnic wykorzystywana jest w przypadku lin półzamkniętych i zamkniętych. Jest to dla nich jedyna metoda pomiaru tej wielkości. Metoda ta polega na porównaniu średnicy zmierzonej ze średnicą nowej liny.

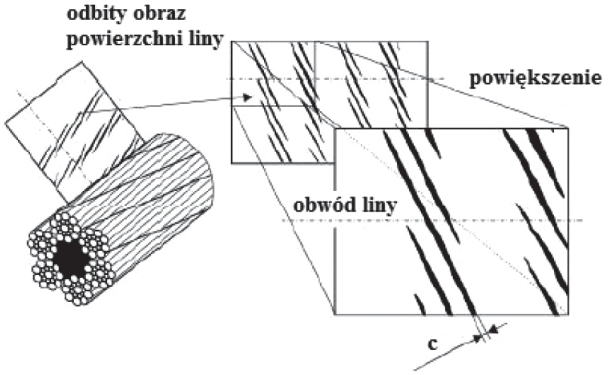
Metoda pomiaru wymiarów starcia pojedynczego drutu (rys. 1) polega na pomiarze wysokości starcia h lub cięciwy starcia c. Pomiar cięciwy starcia jest zadaniem bardzo utrudnionym i obarczonym wielkim błędem. Aby dokonać pomiaru wysokości starcia, konieczne jest wycięcie drutu. Wymiar starcia oblicza się ze wzoru:

$$\Delta S_{Fe} = r^2 \cdot \arcsin\left(\frac{c}{2r}\right) - 0{,}5 \cdot \sqrt{r^2 - 0{,}25c^2} \tag{3}$$



Rys. 1. Obliczanie powierzchni starcia drutu [8]
c – cięciwa starcia drutu, h – wysokość starcia drutu, δ – średnica drutu, r – promień (r = 0,5 · δ)

Bardziej precyzyjną metodą wyznaczania cięciwy starcia drutu jest metoda *in print* (rys. 2). Polega ona na nałożeniu na wolną od zabrudzeń powierzchnię liny kredy, grafitu lub przeznaczonej do tego celu farby. Po odciśnięciu śladu na papierze otrzymuje się obraz, na którym są dobrze widoczne powierzchnie starcia. Cięciwę starcia można bardzo dokładnie zmierzyć bezpośrednio z odbitki lub z kopii wykonanej w odpowiedniej skali. W celu obliczenia powierzchni startego drutu uzyskaną w ten sposób wielkość cięciwy należy wstawić do wzoru (3). Wartości wyliczone przy użyciu tej metody są zazwyczaj niższe niż wyliczone na podstawie bezpośredniego pomiaru cięciwy starć [1].

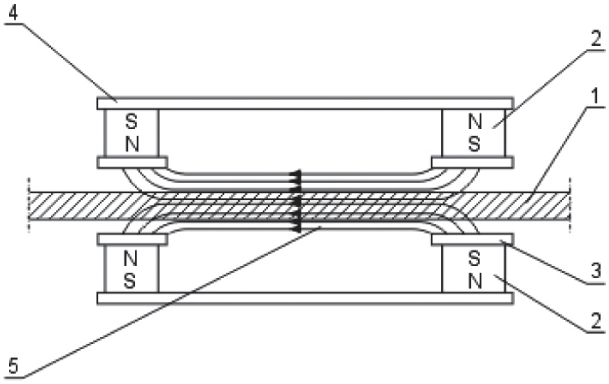


Rys. 2. Pomiar wielkości starć drutów metodą in print odbicia powierzchni liny [8]

2.1.4. Metody aparaturowe – badanie magnetyczne

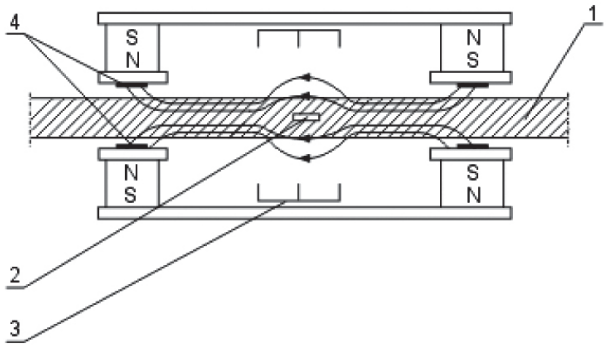
Badanie magnetyczne jest najbardziej rozpowszechnioną aparaturową metodą badania lin wyciągowych. Polska była pierwszym krajem, który wprowadził w swoich kopalniach prawny obowiązek badania magnetycznego lin nośnych urządzeń wyciągowych. Dzisiejsze przepisy wymagają badania magnetycznego również lin wyrównawczych i prowadniczych.

W czasie badania lina zostaje namagnesowana polem stałym. Przepływający przez nią strumień magnetyczny generowany jest przez magnesy trwałe. Na fragmencie liny, który ulega namagnesowaniu, pomiędzy nabiegunnikami ulokowany jest czujnik indukcyjny (cewka pomiarowa). Wartość chwilowa strumienia magnetycznego skojarzona z cewką pomiarową ulega zmianie w momencie przesuwania odcinka liny, na którym znajduje się uszkodzenie. W rezultacie tego zjawiska zostaje wyindukowana siła elektromotoryczna, której wartość jest wprost proporcjonalna do zmiany przekroju ferromagnetycznego badanej liny. Wpływ na wartość tej siły ma również wiele czynników zależnych od głowicy pomiarowej oraz parametrów uszkodzenia liny. Część strumienia magnetycznego indukowanego przez magnesy trwałe przepływa przez obszar otaczający linę. Tę część strumienia nazywa się strumieniem rozproszenia. Linie strumienia rozproszenia są do siebie równoległe, pod warunkiem że na magnesowanym odcinku nie występuje zmiana przekroju ferromagnetycznego badanej liny (rys. 3) [8].



Rys. 3. Rozkład linii pola magnetycznego w nieuszkodzonej linie [6]
1 – lina, 2 – magnesy trwałe, 3 – nabiegunniki, 4 – zwora, 5 – strumień rozproszenia

Gdy wystąpi skokowa zmiana przekroju liny (wżery korozyjne, pęknięcia itp.) lub zmiana jednolitej struktury linii, dochodzi do odkształcenia linii sił pola magnetycznego (rys. 4). Nie zmienia się natomiast wartość strumienia magnesującego.

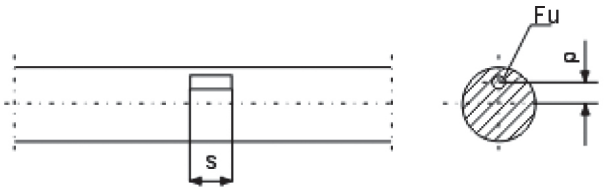


Rys. 4. Rozkład pola magnetycznego w uszkodzonej linie [6]
1 – lina, 2 – uszkodzenie liny, 3 – indukcyjny czujnik pomiarowy skokowych zmian przekroju, 4 – hallotronowy czujnik zmian przekroju

Do najważniejszych parametrów mających wpływ na charakter oraz wartość impulsu indukowanego w cewce pomiarowej należą: odległość między końcami pękniętego drutu, odległość uszkodzenia od osi liny, a także ubytek przekroju ferromagnetycznego badanej liny.

Do badań magnetycznych lin wyciągowych stosuje się tę samą metodę – magnesowanie liny magnesami trwałymi. Jednak różni producenci wykorzystują odmienne rodzaje czujników. W zależności od liczby i rodzaju czujników detekcyjnych, konstrukcji koncentratorów magnetycznych, podatności na magnesowanie i zasady działania czujniki wysyłają inne odmienne sygnały.

Czujniki indukcyjne i hallotrony to najczęściej stosowane elementy detekcyjne. Podstawowym zadaniem czujnika indukcyjnego jest wykrywanie i pomiar uszkodzeń skokowych. W przypadku jego zastosowania uszkodzenie powinno przemieszczać się względem czujnika. Stosuje się także czujniki hallotronowe, które dają możliwość pomiaru tzw. uszkodzeń ciągłych, takich jak starcia drutów czy korozja. Używa się ich również w celu wzrostu wykrywalności uszkodzeń, takich jak wżery korozyjne lub pęknięcia drutów [6].

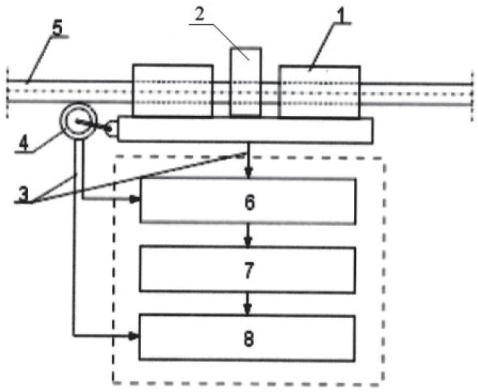


Rys. 5. Parametry wpływające na impuls indukowany w cewce [3]
S – długość szczeliny między końcami pękniętego drutu, Fu – ubytek przekroju ferromagnetycznego, α – promieniowa odległość od osi liny

Mogą one być stosowane jako czujniki zewnętrzne lub wewnętrzne. Dane dotyczące składowych pochodzących od promieniowej linii sił pola magnetycznego są zbierane przez czujnik zewnętrzny. Powinien on być umieszczony w odpowiedniej odległości od badanej liny przy zworze. Na podstawie informacji z czujników: zewnętrznego i wewnętrznego możliwe jest uzyskanie danych dotyczących głębokości wystąpienia wady w badanej linie (rys. 5). Jeśli wada znajduje się głęboko w linie, to wartości pochodzące z obu czujników są zbliżone. W przypadku gdy wartość sygnału z czujnika zewnętrznego jest mniejsza od wartości sygnału pochodzącego z czujnika wewnętrznego, to wada powstała w warstwie zewnętrznej liny. Rozwiązania te uznaje się za najlepsze w wykrywaniu znacznej części typowych uszkodzeń lin [1, 9].

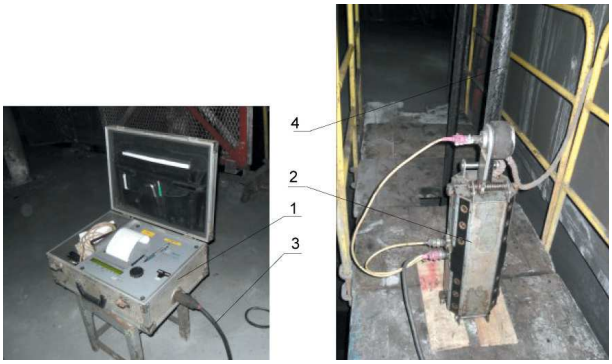
Aparatura do wykonywania defektoskopii magnetycznej składa się z dwóch elementów: głowicy pomiarowej oraz rejestratora wyjściowego sygnału (rys. 6). Efektem przeprowadzonego badania jest defektogram, na którym zarejestrowane są wyniki badania. Aparatura wyposażona jest w dodatkowy układ, którego zadaniem jest zrównoważenie zmian prędkości. Wysuw taśmy, na której rejestrowane są wyniki, dostosowany jest do prędkości ruchu liny. W rezultacie sygnał pochodzący z czujników i zapisywany na taśmie nie zależy od tej prędkości. Głowica pomiarowa powinna być kalibrowana przez osobę niezależną zgodnie z normami co trzy lata [9].

Prędkość badania liny nie ma wpływu na dokładność pomiaru, jeżeli stosuje się układ kompensacji tej wartości.

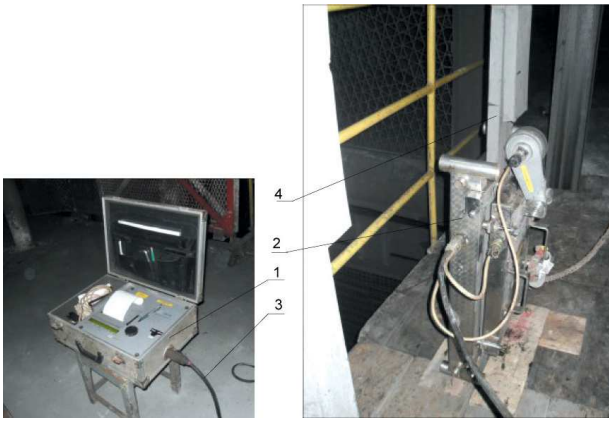


Rys. 6. Schemat aparatury pomiarowej zamontowanej na linie [3]
1 – głowica pomiarowa, 2 – część rejestrująca, 3 – przewody połączeniowe, 4 – rolka czujnika ruchu i przemieszczenia liny, 5 – badana lina, 6 – krążek kompensacyjny, 7 – wzmacniacz sygnału, 8 – rejestrator

Dużą popularność ze względu na swoje parametry metrologiczne zyskał defektograf MD-120, który został przedstawiony na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Zestaw aparatury do badania lin stalowych okrągłych
1 – rejestrator MD-120, 2 – głowica GP-2, 3 – przewód łączący głowicę z rejestratorem, 4 – badana lina



Rys. 8. Zestaw aparatury do badania lin stalowo-gumowych
1 – rejestrator MD-120, 2 – głowica SAG/LRM, 3 – przewód łączący głowicę z rejestratorem, 4 – badana lina

3. ANALIZA PRACY LIN W WYBRANYM SZYBIE WYDOBYWCZYM

Charakterystyka szybu:

- Rodzaj szybu: wydechowy, jednoprzedziałowy.
- Przeznaczenie szybu: jazda ludzi, wydobycie kamienia.
- Poziomy wydobywcze: zrąb, poziom 840 m, poziom 1000 m.
- Średnica szybu: 7,5 m.
- Głębokość szybu: 1050 m.
- Wysokość wieży: 27 m (wieża jednozastrzałowa).
- Głębokość rząpia: 28 m.
- Prowadzenie naczyń: sztywne, dwustronne, czołowe.

Charakterystyka urządzenia wyciągowego:

- Naczynia: dwie klatki.
- Udźwig użyteczny:
  - jazda ludzi: 4,5 Mg,
  - jazda z materiałem: 12,0 Mg,
  - wydobycie kamienia: 7,5 + 2,6 Mg.
- Średnica kół linowych: 5000 mm.
- Rodzaj wykładziny koła pędnego: Modar R3.
- Prędkość jazdy:
  - jazda ludzi: 10 m/s,
  - jazda z materiałem: 10 m/s,
  - wydobycie kamienia: 10 m/s.
- Droga jazdy: 992,8 m.

Maszyna wyciągowa:

- Lokalizacja: na zrębie.
- Typ: 2L-5000/2000.
- Rok budowy: 1990.
- Wytwórca: ZUT ZGODA-DOLMEL.
- Moc znamionowa silnika: 2300 kW.

Liny nośne [1]:

- Liczba lin nośnych: 2 sztuki.
- Oznaczenie: 48,0-6×36 WS+FE–S/z-n-1-g 1570.
- Konstrukcja: 6(14×2,72 + 7×1,7/7×2,15 + 7×2,24 + 1×3,00) + FE.
- Natężenie pracy lin: 180 wyciągnięć na dobę.
- Liny pracowały w warunkach mokrych.

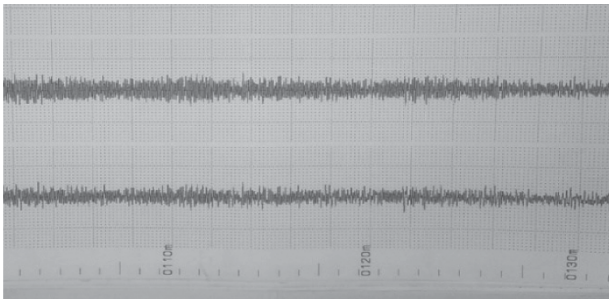
Analiza zużycia liny [1, 10].

Liny nośne w tym wyciągu szybowym pracowały od 27 do 32 miesięcy. We wszystkich przypadkach powodem wymiany lin było osłabienie współczynnika bezpieczeństwa na skutek korozji. W takich przypadkach dominującą formą diagnostyczną są badania magnetyczne. W tabeli 1 zostały zestawione liny nośne analizowane w przedmiotowym szybie wydobywczym.

W wyniku badania przeprowadzonego 21.05.2015 r. otrzymano wykresy z defektografu, które przedstawiono na rysunku 9, orazpodjęto decyzję o konieczności wymiany lin. Stwierdzono utlenienie powłoki cynkowej i nalot korozyjny przechodzący w punktową korozję wżerową na całej długości lin. Ponadto zaobserwowano starcia i pojedyncze fabryczne pęknięcia drutów.

Metody diagnostyczne, na podstawie których została podjęta decyzja o wymianie lin, to:

- A – metoda wizualna, nalot korozyjny oraz korozja wżerowa na całej długości.
- B! – metoda magnetyczna, nalot korozyjny oraz postępująca korozja wżerowa, starcia oraz braki fabryczne drutów.



Rys. 9. Fragment defektografu z ostatniego badania liny odłożonej 21.02.2015 r.

Tabela 1

Zestawienie lin nośnych w analizowanym szybie wydobywczym [1]

Numer zestawu	Data założenia	Data wymiany	Producent/Symptomy zużycia	Czas pracy [miesiące]	Metoda diagnostyczna: A – metoda wizualna, B! – metoda magnetyczna
1	28.07.2002	23.04.2005	Polskie Liny Sp. z o.o. w Katowicach/Korozja	32	B! A
2	24.04.2005	26.10.2007	Polskie Liny Sp. z o.o. w Katowicach/Korozja	30	B! A
3	27.10.2007	16.05.2010	ŽDB a.s. Bohumin – Republika Czeska/Korozja	31	B! A
4	17.05.2010	8.12.2012	ŽDB a.s. Bohumin – Republika Czeska/Korozja	31	B! A
5	9.12.2012	14.03.2015	ŽDB a.s. Bohumin – Republika Czeska/Korozja	27	B! A
6	15.03.2015	15.11.2017	ŽDB a.s. Bohumin – Republika Czeska/Korozja	32	B! A

4. KRYTERIA OCENY LIN NOŚNYCH

Rozpatrywanym kryterium oceny trwałości lin jest wskaźnik czasu eksploatacji liny T [MNm/kg]. Liny o podobnej konstrukcji, lecz pracujące w odmiennych warunkach, mają inną żywotność. Współczynnik ten stosowany jest w celu porównania ich „wytężenia pracy". Dla urządzeń wyciągowych określany jest wzorem R. Meebolda [2, 9]:

$$T = \frac{N \cdot Q}{100 \cdot q_i \cdot i_n} \tag{4}$$

gdzie:

N – liczba cykli pracy wyciągu,
q_i – masa metra bieżącego liny nośnej [kg/m],
i_n – liczba lin nośnych,
Q – maksymalne dopuszczalne obciążenie liny [MN].

Maksymalne obciążenie liny pochodzi od masy naczynia z jego zawieszeniem na linie lub linach nośnych, prowadnic, zawieszenia liny lub lin wyrównawczych, maksymalnej masy transportowanego ładunku, masy zwisu liny lub lin nośnych i wyrównawczych.

5. OBLICZANIE WSKAŹNIKA CZASU PRACY LIN PRACUJĄCYCH W WYBRANYM SZYBIE WYDOBYWCZYM

W tabeli 2 przedstawiono liczbę cykli oraz wartość wskaźnika pracy dla kolejnych zestawów lin pracujących w szybie VI. Do obliczeń przyjęto następujące dane:

– maksymalne statyczne obciążenie liny nośnej: Q = 429 kN,
– masa metra bieżącego liny nośnej: q_i = 8,7 kg/m.

6. WYDŁUŻENIE EKSPLOATACYJNE LIN NOŚNYCH

W celu obserwacji wydłużania lin nośnych podczas eksploatacji bada się ich wydłużenie w funkcji liczby przepracowanych cykli (tab. 2). Natomiast na rysunku 10 przedstawiono wskaźnik czasu pracy T dla poszczególnych zestawów lin w szybie VI. Wydłużenie względne liny wyraża się zależnością [4]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l} \cdot 100\% \tag{5}$$

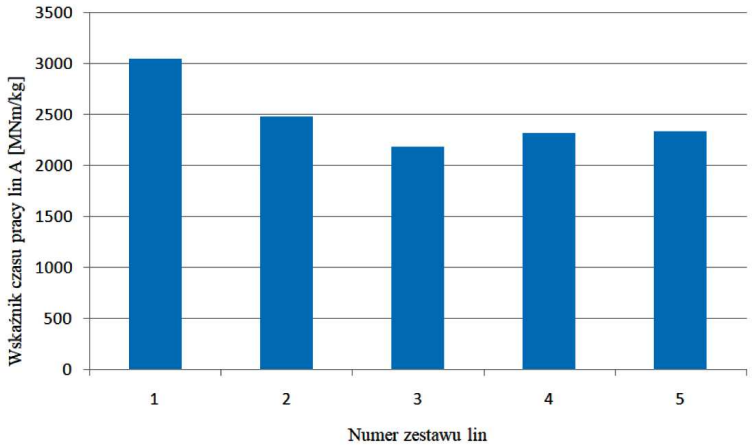
gdzie:

ε – wydłużenie względne liny [%],
ΔL – wydłużenie bezwzględne liny [m],
l – długość pracującej liny [m].

Tabela 2

Liczba cykli oraz wartość wskaźnika czasu pracy dla kolejnych zestawów lin pracujących w przedziale zachodnim wybranego szybu wydobywczego [1]

Numer kolejnego zestawu lin	Liczba cykli wyciągów	Wskaźnik czasu pracy lin T [MNm/kg]
1	123 573	3046,7
2	100 853	2486,5
3	88 621	2185,0
4	94 156	2321,4
5	95 019	2342,7



Rys. 10. Wskaźniki czasu pracy T dla poszczególnych zestawów lin, szyb VI

6.1. Wydłużenie eksploatacyjne lin pracujących w analizowanym wyciągu wybranego szybu wydobywczego

6.1.1. Zestaw lin pracujący od 17.05.2010 r. do 8.12.2012 r.

Lina wschodnia ∅ 48,0 mm, oznaczona 48,0-6×36 WS+FE–S/z-n-l-g 1570, w czasie eksploatacji uległa wydłużeniu łącznie o 3,95 m. Przebieg pracy liny w funkcji liczby cykli wyciągowych oraz wskaźnika czasu pracy zestawiono w tabeli 3.

Lina zachodnia ∅ 48,0 mm, oznaczona 48,0-6×36 WS+FE–Z/s-n-l-g 1570, w czasie eksploatacji uległa wydłużeniu łącznie o 3,95 m. Przebieg pracy liny w funkcji liczby cykli wyciągowych oraz wskaźnika czasu pracy zestawiono w tabeli 4.

Tabela 3

Przebieg pracy liny w funkcji liczby cykli wyciągów, lina wschodnia, zestaw 4 [1]

Czas pracy liny [miesiące]	Liczba cykli wyciągów	Wskaźnik T [MNm/kg]	Długość odciętej liny ΔL [m]	ε [%]
1	2851	70	2,05	0,18
6	16 995	419	3,45	0,31
12	34 587	852	3,65	0,32
18	50 756	1251	3,85	0,34
24	68 845	1897	3,95	0,35
30	83 965	2070	3,95	0,35

Tabela 4

Przebieg pracy liny w funkcji liczby cykli wyciągów, lina zachodnia, zestaw 4 [1]

Czas pracy liny [miesiące]	Liczba cykli wyciągów	Wskaźnik T [MNm/kg]	Długość odciętej liny ΔL [m]	ε [%]
1	2851	70	2,05	0,18
6	16 995	419	3,25	0,29
12	34 587	852	3,55	0,31
18	50 756	1251	3,85	0,34
24	68 845	1897	3,85	0,34
30	83 965	2070	3,95	0,35

6.1.2. Zestaw lin pracujący od 9.12.2012 r. do 14.03.2014 r.

Lina wschodnia ∅ 48,0 mm, oznaczona 48,0-6×36 WS+FE-S/z-n-l-g 1570, w czasie eksploatacji uległa wydłużeniu łącznie o 4,1 m. Przebieg pracy lin wschodniej i zachodniej w funkcji liczby cykli wyciągowych oraz wskaźnika czasu pracy zestawiono w tabelach 5 i 6.

Na rysunkach 11–14 przedstawione zostały charakterystyki zależności wydłużenia względnego lin ε w funkcji liczby przepracowanych cykli wyciągowych.

Tabela 5

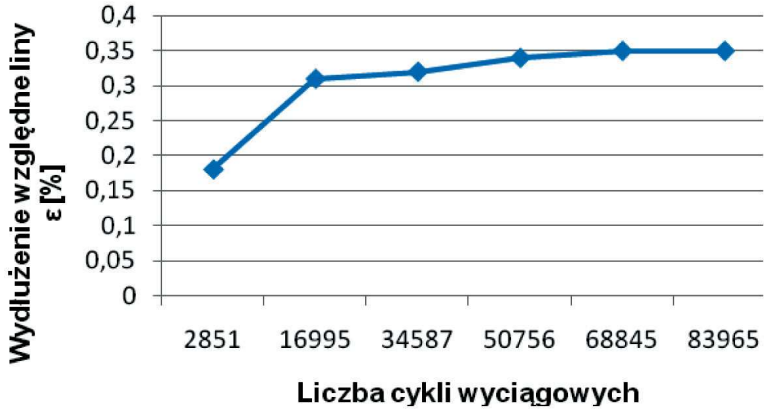
Przebieg pracy liny w funkcji liczby cykli wyciągów, lina wschodnia, zestaw 5 [1]

Czas pracy liny [miesiące]	Liczba cykli wyciągów	Wskaźnik T [MNm/kg]	Długość odciętej liny ΔL [m]	ε [%]
1	3658	90	2,0	0,18
8	30 102	742	3,5	0,31
12	46 011	1135	3,8	0,34
18	66 780	1648	3,8	0,34
27	92 582	2285	4,0	0,35

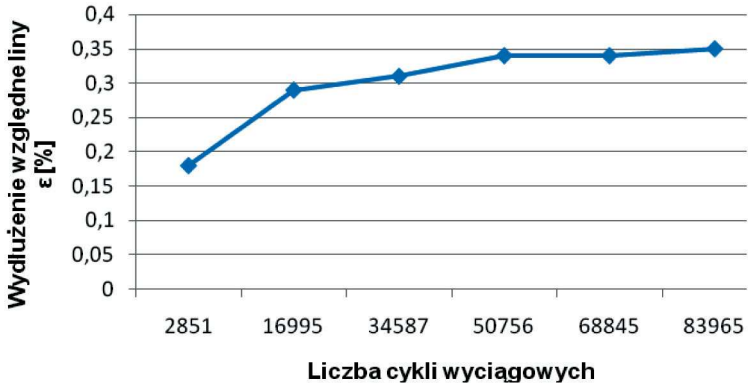
Tabela 6

Przebieg pracy liny w funkcji liczby cykli wyciągów, lina zachodnia, zestaw 5 [1]

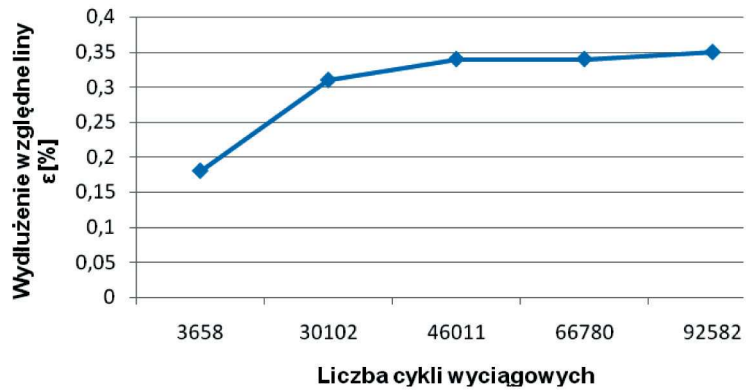
Czas pracy liny [miesiące]	Liczba cykli wyciągów	Wskaźnik T [MNm/kg]	Długość odciętej liny ΔL [m]	ε [%]
1	3658	90	2,1	0,19
8	30 102	742	3,6	0,32
12	46 011	1135	3,9	0,35
18	66 780	1648	3,9	0,35
27	92 582	2285	4,1	0,36



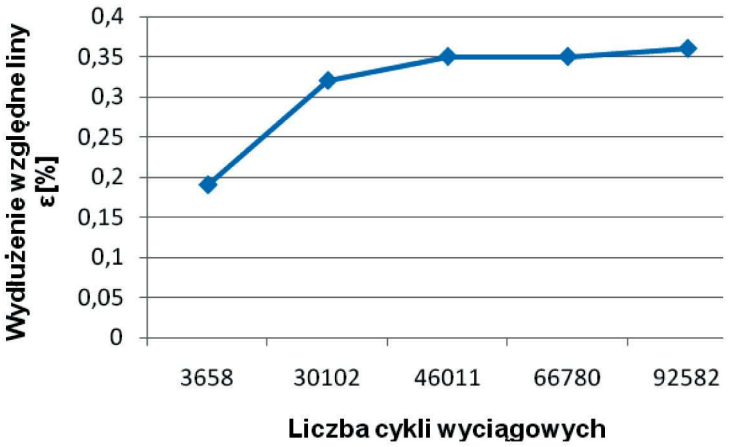
Rys. 11. Wykres wydłużenia względnego liny ε w funkcji liczby cykli wyciągowych, lina wschodnia, zestaw 4



Rys. 12. Wykres wydłużenia względnego liny ε w funkcji liczby cykli wyciągowych, lina zachodnia, zestaw 4



Rys. 13. Wykres wydłużenia względnego liny ε w funkcji liczby cykli wyciągowych, lina wschodnia, zestaw 5



Rys. 14. Wykres wydłużenia względnego liny ε w funkcji liczby cykli wyciągowych, lina zachodnia, zestaw 5

7. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonej w niniejszym artykule analizy można wyciągnąć następujące wnioski [5, 7, 10]:

- Liny nośne eksploatowane w jednej z analizowanych kopalń w wyciągach szybowych zużywają się głównie wskutek korozji. Aby wydłużyć ich czas eksploatacji, należy zwiększyć częstotliwość dosmarowywania lin.
- Liny nośne pracujące w urządzeniach wyciągowych z maszyną znajdującą się na zrębie zużywają się nie tylko w wyniku korozji, ale również wskutek starć drutów warstwy zewnętrznej. Wynika to z konstrukcji urządzenia wyciągowego, w którym lina nabiega na koło kierujące pod pewnym kątem.
- W każdym z analizowanych wyciągów szybowych liny uległy największemu wydłużeniu w pierwszych 6 miesiącach eksploatacji. Wydłużenie to wynosi od 62% do 90% całkowitego wydłużenia.
- Liny tej samej konstrukcji, pracujące w tym samym wyciągu szybowym, lecz z większym wskaźnikiem pracy ulegają większym wydłużeniom.
- W ślad za dalszymi badaniami, których wyników nie zaprezentowano w niniejszym artykule, stwierdzono także, że liny wyrównawcze stalowo-gumowe pracujące w wyciągach szybowych, w jednej z rozpatrywanych kopalń, zużywają się głównie w wyniku korozji. Dochodzi do niej zwłaszcza z powodu uszkodzenia powłoki gumowej. W celu wydłużenia ich czasu eksploatacji należy skrócić okres między wykryciem uszkodzenia powłoki gumowej a wykonaniem wulkanizacji.

Literatura

[1] Carbogno A., Żołnierz M.: *Badania momentu odkrętnego lin wyciągowych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo" 2007, 280: 219–229.
[2] Hankus J.: *Budowa i własności mechaniczne lin stalowych*, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2000.
[3] Kędziora A.: *Eksploatacja szybowych urządzeń wyciągowych*, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1983.
[4] Tytko A.: *Eksploatacja lin stalowych*, Wydawnictwo Śląsk, Katowice – Warszawa 2003.
[5] Darling P., ed.: *SME Mining Engineering Handbook*, wyd. 3, 2011.
[6] Hansel J., Kwaśniewski J., Lankosz L., Tytko A.: *Badania magnetyczne lin stalowych*, Wydawnictwa AGH, Kraków 1990.
[7] Kwaśniewski J.: *Badania magnetyczne lin stalowych. System certyfikacji personelu w metodzie MTR*, Wydawnictwa AGH, Kraków 2010.
[8] Tytko A., Nowacki J.: *Abrasive wear of external wires of mining hoist ropes*, The International Journal of Transport and Logistics 2010, 10: 101–105.
[9] Hankus J., Szołtysik P. i in.: *Metoda oceny czasu pracy lin w oparciu o wskaźnik meganiutonometrów (tonokilometrów): (wzory, zasady stosowania, przykłady obliczania)*, Główny Instytut Górnictwa. Instytut Nowych Technik Górniczych i Atestacji, Katowice 1982.
[10] *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. z 2002 r., nr 139, poz. 1169.

dr inż. MICHAŁ STAWOWIAK
Katedra Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa
Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa
i Automatyki Przemysłowej
Politechnika Śląska
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice
michal.stawowiak@polsl.pl

dr inż. ZENON ROŻENEK
KAZ Serwis Sp. z o.o.
ul. Jasna 3B1, 44-122 Gliwice
z.rozenek@kaz-serwis.pl

© 2019 Autorzy. Jest to publikacja ogólnodostępna, którą można wykorzystywać, rozpowszechniać i kopiować w dowolnej formie zgodnie z licencją Creative Commons CC-BY 4.0.