Badania lin pracujących w maszynach podstawowych górnictwa odkrywkowego

Grzegorz Olszyna, Andrzej Tytko

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

Streszczenie: W artykule przestawiono i omówiono badania wytrzymałościowe lin pracujących w maszynach podstawowych w górnictwie odkrywkowym. Badania te przeprowadzono po zakończeniu użytkowania lin w obiekcie. Pozwoliły one na ocenę rzeczywistego poziomu bezpieczeństwa w momencie wymiany lin na nowe. Poziom bezpieczeństwa określono przez wyznaczenie stopnia osłabienia pracującej liny jako rzeczywistego spadku jej nośności. Jest to możliwe tylko metodami niszczącymi. Badania niszczące odcinków lin po ich wymianie umożliwiają także weryfikację kryteriów odkładania. Służą do tego badania wytrzymałościowe (badania normowe) wszystkich drutów. Głównym celem pracy jest weryfikacja stosowanych w praktyce kryteriów odkładania lin stalowych, gdyż to one decydują o zasadności ich wymiany ocenianej w aspekcie bezpieczeństwa i niezawodności pracy całego obiektu technicznego, jakim jest maszyna podstawowa. Maszyny te są obiektami niezwykle kosztownymi w eksploatacji, dlatego też racjonalne gospodarowanie pracującymi tam linami ma również znaczenie ekonomiczne.

Słowa kluczowe: badania wytrzymałościowe lin, bezpieczeństwo, górnictwo odkrywkowe, liny stalowe, niezawodność

RESEARCH OF ROPES OF BUCKET WHEEL EXCAVATORS WORKING IN OPENCAST

Abstract: The work concerns the presentation and discussion of the strength tests of ropes made after the completion of their work on the object. These tests allow for the evaluation of the level of security that has been maintained for these kinds of facilities. Decrease in load-bearing capacity of a working rope by determining the actual degree of weakening is possible only with destructive methods. Destructive testing of rope sections after their replacement of the ropes allows also the verification of the deposit criteria. The paper presents the strength tests of ropes that were operated in Bucket Wheel Excavators (BWE) in opencast mining. The primary purpose is verifying adopted criteria for replacing working ropes with the new ones from the point of view of safety and reliability of the technical facility. These machines are extremely expensive to operate, therefore the rational management of the ropes working there is also of economic importance.

Keywords: strength rope testing, safety, opencast mining, steel ropes, reliability

https://doi.org/10.7494/978-83-66727-83-0_4

1. Wprowadzenie

Liny stalowe jako główne elementy w łańcuchu przenoszenia obciążeń – zarówno statycznych, jak i dynamicznych – różnych urządzeń, w tym maszyn górnictwa odkrywkowego, pełnią w nich kluczową rolę. Od ich niezawodności zależy bowiem bezpieczeństwo pracy. Ze względu na zmienne oraz losowe warunki pracy i czynniki otoczenia, w jakim pracują, ich czas pracy generalnie jest nieprzewidywalny. Liny jako obiekty nienaprawialne, po pewnym czasie eksploatacji muszą być wymienione na nowe. Wydłużenie czasu pracy układów linowych jest możliwe tylko pod warunkiem prowadzenia racjonalnej polityki badań i oceny lin w trakcie eksploatacji, kiedy to nie jest możliwe wykonanie badań wytrzymałościowych. Badania takie, dające informacje o faktycznym stanie lin, można bowiem wykonać dopiero po ich odłożeniu. Ocena stanu technicznego lin pracujących w maszynach podstawowych górnictwa odkrywkowego jest kluczowa dla zapewnienia bezpieczeństwa i niezawodności całego układu energetycznego. Maszyny podstawowe wyposażone w układy linowe (koparki wielonaczyniowe, zwałowarki) pracują w systemach o ruchu ciągłym i tak jest zarówno w polskich, jak i światowych kopalniach. Takie układy osiągają w kopalniach odkrywkowych zdolności wydobywcze około 100 tys. m^3 na dobę (Kasztelewicz 2012). Dlatego niezawodność tych urządzeń oraz zapewnienie ich bezpiecznego i prawidłowego funkcjonowania należy do kluczowych zagadnień w obsłudze technicznej.

Jednym z podstawowych zadań technologicznych koparek wielonaczyniowych jest formowanie poziomów roboczych. Bez nich nie jest możliwe utrzymanie frontów pracy, prowadzenie logistyki transportowej w trudnym i zmieniającym się nieustanne terenie, przekładanie przenośników taśmowych itp. Do formowania skarp, plantowania spągu i utrzymania tych poziomów stosowane są organy urabiające koparek przemieszczane za pomocą układów linowych. Są to wciągarki linowe wyposażone w systemy wielokrążkowe służące do podnoszenia i opuszczania wysięgnika koła czerpakowego. Inne układy linowe w koparkach wielonaczyniowych i zwałowarkach stosowanych w górnictwie odkrywkowym to systemy do utrzymania stateczności konstrukcji wykorzystujące liny odciągowe lub linowe systemy wantowe.

Liny należą do grupy nieodnawialnych obiektów technicznych, dlatego konieczna jest okresowa ocena ich stanu technicznego polegająca na wykrywaniu możliwych uszkodzeń (deformacje, starcia, korozja, pęknięcia drutów). Wykrycie takich uszkodzeń we wczesnym stadium zapewnia odpowiedni poziom bezpieczeństwa. Czas bezawaryjnej pracy maszyny odkrywkowej zależy od stanu technicznego liny, ale nie ma możliwości jego jednoznacznego określenia w kategoriach wytrzymałościowych w trakcie badań eksploatacyjnych, kiedy to wykonywane są rutynowe kontrole i inspekcje za pomocą znanych metod nieniszczących. Najczęściej wykrywane są uszkodzenia powstałe w procesie eksploatacji związane ze zmęczeniem materiału (pęknięte druty), deformacje (koszyki, zapadnięte splotki, luźne i zawalcowane druty) czy ubytki maso-

we wywołane korozją i starciami. Starcia widoczne są w postaci powstałej na powierzchni drutu elipsy i wpływają na własności wytrzymałościowe drutu (Frick 2019). Uszkodzenia te mają różny wpływ na osłabienie liny. Na przykład ubytek przekroju metalicznego liny wskutek procesów starcia może wynosić nie więcej niż 2% przekroju pierwotnego liny (Gasić i in. 2021). W większości przypadków liny stalowe wymieniane są po spełnieniu arbitralnie przyjętego kryterium zużycia dyskwalifikującego linę stalową, a określonego na podstawie badań wizualnych. W trakcie całego procesu eksploatacji prowadzone są badania nieniszczące w celu określenia aktualnego poziomu zużycia ocenianego pod kątem zapewnienia bezawaryjnej pracy. Badania oparte są na metodach optycznych i magnetycznych, a także w niewielkim stopniu stosuje się metodę radiograficzną. Ocena wizualna jest wydajną, nieniszczącą metodą wykrywania uszkodzeń występujących na powierzchni liny (Zhou i in. 2019). Najbardziej rozpowszechnione są metody oceny parametrów i cech geometrycznych na podstawie pomiaru średnicy liny i długości skoku liny, a także oceny stanu technicznego na podstawie deformacji oraz pęknięć na powierzchni liny. Pęknięcia drutów, lokalne ubytki przekroju liny oraz silna korozja są źródłem anomalii magnetycznych w badaniach nieniszczących (Witoś i in. 2019). Ocena ilościowa i jakościowa stanu technicznego możliwa jest dzięki badaniom magnetycznym lin. Okresowe badania tymi metodami umożliwiają postawienie diagnozy predykcyjnej pozwalającej na określenie z pewnym wyprzedzeniem czasowym przejścia lin w stan niezdatności, co zwiększa niezawodność obiektu i zmniejsza ryzyko uszkodzenia (Gasić i Olszyna 2019). Ma to istotny wpływ na bezpieczeństwo całego obiektu, a także użytkowników.

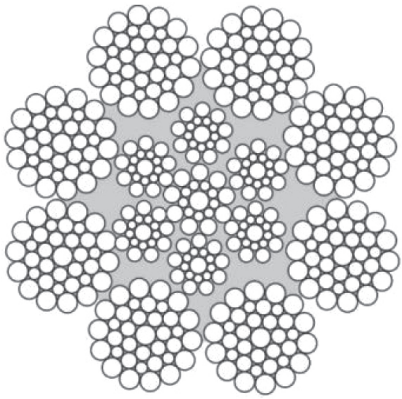
Liny stalowe pracujące w układach koparek wielonaczyniowych – podobnie jak w wielu innych urządzeniach linowych – podlegają procesom zużyciowym. Charakter pracy maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego ma kluczowe znaczenie ze względu na konieczność zapewnienia ciągłości pracy. W procesie wytwarzania energii z węgla brunatnego wydobywanego metodą odkrywkową konieczne jest ciągłe zdejmowanie w kopalni nadkładu i wydobywanie węgla. Układy wielokrążkowe będące podstawowym zespołem w maszynach wykonują cały czas pracę polegającą na podnoszeniu lub też rewersyjnym podnoszeniu i opuszczaniu dużych mas. Obciążania charakteryzują się znaczną dynamiką. W wyniku takiej pracy następuje pogorszenie własności mechanicznych drutów i parametrów konstrukcyjnych lin powodujące ich osłabienie i w efekcie obniżenie poziomu bezpieczeństwa eksploatacyjnego całej maszyny. Generalnie zużycia są zauważalne i objawiają się możliwymi do zidentyfikowania ubytkami przekroju nośnego liny na skutek korozji, zmęczenia materiału czy też zużycia ściernego i frettingu (Olszyna i Tytko 2015). Korozja jest zjawiskiem szczególnie niebezpiecznym, ponieważ nie da się dokonać wiarygodnej oceny ilościowej tego ubytku, stosując tylko metodę wizualną. Niemniej jednak w celu zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa pracy maszyn odkrywkowych konieczne jest przeprowadzanie badań, gdyż bez nich nie ma możliwości weryfikacji stanu technicznego.

W pracy zostały omówione zagadnienia zużycia lin w układach wielokrążkowych wciągarek koparek wielonaczyniowych, będących podstawowymi maszynami w górnictwie odkrywkowym. Przedstawione zostały wyniki badań wytrzymałościowych lin zużytych.

Zasadniczym celem tych badań było wyznaczenie rzeczywistego osłabienia wybranych odcinków lin po zakończeniu ich eksploatacji. Decyzja o wymianie lin została podjęta na podstawie stosowanych w polskim górnictwie odkrywkowym kryteriów osłabienia liny zawartych w normie PN-M-80284:1997. W wielu przypadkach głównym powodem wymiany lin w tego typu obiektach jest zmiana średnicy liny w stosunku do wartości nominalnych. Liny zostały wymienione w wyniku przekroczenia dopuszczalnej granicy zużycia oszacowanego na podstawie zmiany średnicy liny. Przeprowadzenie badań niszczących celem oceny poprawności przyjętych kryteriów jest zasadne z dwóch powodów – bezpieczeństwa i oszczędności. Wydłużenie czasu pracy lin powoduje zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych. Zdaniem autorów pozyskanie wiarygodnych informacji na podstawie badań wytrzymałościowych lin po ich odłożeniu to najlepszy sposób zdobycia wiedzy o rzeczywistym stanie liny. W konsekwencji powinno to poprawić bezpieczeństwo pracy lin w obiektach opisanych w pracy i o podobnej konstrukcji.

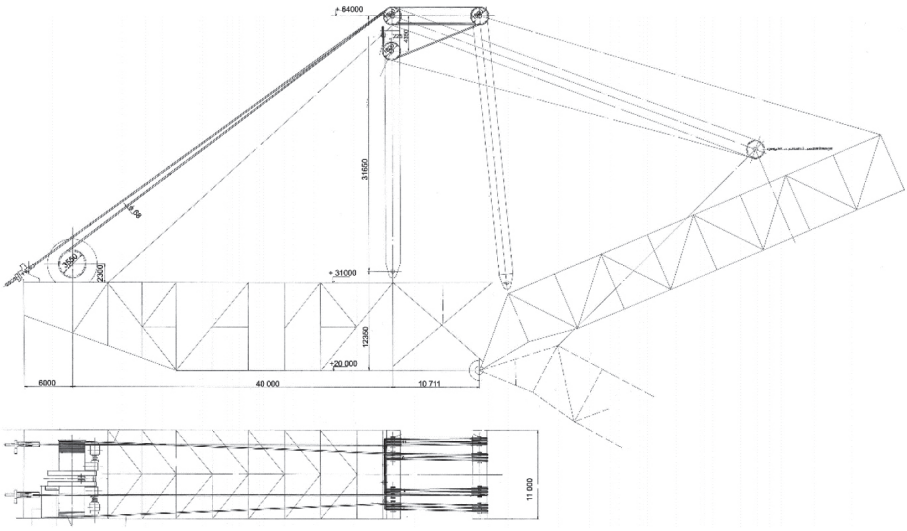
2. Obiekt i metodyka badań

Badaniom poddano odcinki odłożonych lin nośnych koparki wielonaczyniowej o konstrukcji 60 8×36WS-IWRC1770sZ i 60 8×36WS-IWRC1770zS oznaczone zgodnie z dokumentacją techniczną (prawe i lewe), stosowane w układzie zwodzenia organu urabiającego koparki SchRs 4600.30. Liny będące przedmiotem badań zostały wyprodukowana zgodnie ze świadectwami wystawionymi przez producenta i pracowały w koparce SchRs 4600.30 przez dwa lata. Na rysunku 1 przestawiono przekrój poprzeczny takiej liny.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny liny przeznaczonej do badań

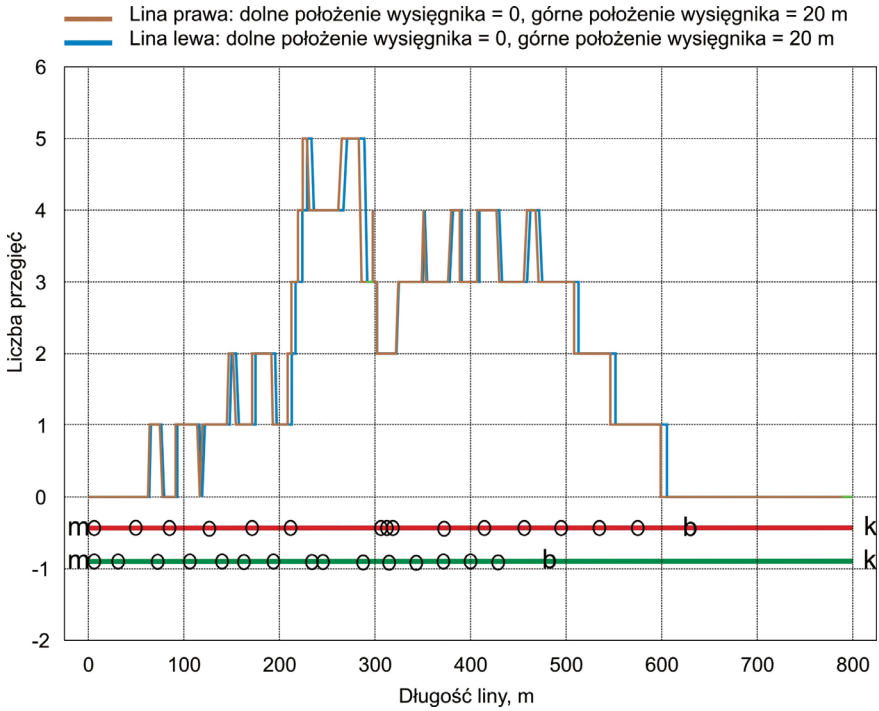
W trakcie pracy tych lin pierwsze oznaki zużycia zauważono podczas rutynowych kontrolnych badań wizualnych. Stwierdzono wtedy uszkodzenia objawiające się deformacją geometrii liny w postaci tzw. koszyka (*birdcage*). Na podstawie przeprowadzonych analiz sformułowano hipotezę na temat wtórnych i pierwotnych przyczyn powstawania uszkodzeń w splotkach warstwy zewnętrznej. Powstanie deformacji w postaci „koszyka" następuje jako czynnik wtórny w wyniku procesów zużyciowych w trakcie pracy liny w układzie olinowania koparki. Oparto się na modelu mechanizmu zużycia zmęczeniowego lin pracujących w układach wielokrążkowych (Tytko 2021) oraz na badaniach wizualnych stanu lin wykonanych *in situ*. Deformacje powstają głównie na skutek zmiany długości skoku lin. Prowadzi to do powstania lokalnych uszkodzeń na odcinkach, na których występuje największa zmiana długości skoku liny (Heredia i in. 2018). Warunki pracy koparek wielonaczyniowych zależą od układu olinowania, liczby krążków, wymiarów krążków itp. Schemat olinowania przestawiono na rysunku 2. Podano na nim wszystkie wymiary maszyny w czasie pracy przy czterech położeniach wysięgnika urabiającego: podsiębiernym, na spągu, w pozycji poziomej i przy maksymalnym wzniesieniu, z zaznaczonymi miejscami położenia czerpakowego koła urabiającego. Jak wynika z rysunku, koło czerpakowe pracuje w zakresie podnoszenia organu urabiającego od –18 m do 48,75 m, przy czym pozycja na spągu to 0 m.



Rys. 2. Schemat olinowania wciągarki prawej i lewej z miejscami położenia kół linowych i długościami lin
Źródło: Ziębiński (1988)

Na podstawie tego schematu wykonano model pracy lin, w którym wynikiem jest liczba przegięć liny na kołach jako funkcja długości lin i położenia kół linowych. Model

symulujący pracę lin wykonano w programie MATLAB oddzielnie dla liny prawej i lewej. Program ten oblicza liczbę przegięć na kołach linowych, które wykonuje dana lina w trakcie operacji podnoszenia i opuszczania wysięgnika w dowolnym zadanym przedziale wysokości. W trakcie pracy lina doznaje różnych form zużycia: ciernego, zmęczenia materiału, a także deformacji związanych ze zmieniającym się momentem odkrętu. Stopień zużycia liny na danym odcinku jest proporcjonalny do liczby przegięć, jakie wykonuje ta lina na krążkach (kołach) linowych. Na podstawie wykonanej analizy i obliczeń modelowych w środowisku MATLAB można określić potencjalnie najbardziej narażone na zużycie i deformacje odcinki lin. Na rysunku 3 przedstawiono wykres obrazujący liczbę przegięć lin na krążkach w trakcie podnoszenia wysięgnika koła urabiającego z pozycji 0 m (spąg) do pozycji +20 m (organ urabiający w poziomie).



Rys. 3. Liczba przegięć w jednym cyklu pracy liny prawej oraz lewej na krążkach w trakcie podnoszenia wysięgnika z poziomu 0 m na poziom +20 m. Objaśnienia: o – położenie krążków linowych, m – tzw. martwy koniec liny, b – lina na bębnie napędowym, k – kotwienie końca liny na bębnie napędowym, niebieska linia – liczba przegięć, czerwona linia – układ krążków w dolnym położeniu wysięgnika, zielona linia – układ krążków w górnym położeniu wysięgnika

Przedstawiony na rysunku 3 model przeginania liny prawej i lewej dowodzi, że maksymalny poziom zużycia obejmuje odcinek liny (zarówno prawej, jak i lewej) o dłu-

gości około 200 m, począwszy od piątego krążka po stronie martwego końca liny. Na tej podstawie wytypowano odcinki lin do dalszych badań wytrzymałościowych.

Próbki do badań wytrzymałościowych pobrano, wycinając z odłożonych lin stalowych odcinki z wytypowanych charakterystycznych miejsc, po uprzednim zabezpieczeniu ich końców i odpowiednim oznaczeniu. Druty do finalnych badań zostały wyplecione ze splotek oraz oznaczone w celu umożliwienia ich identyfikacji.

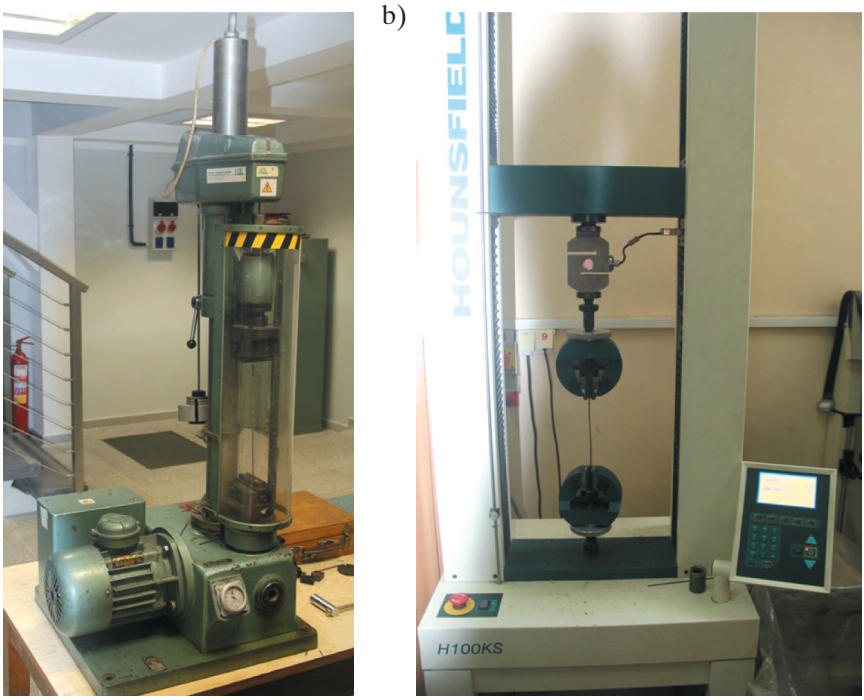
Aby prawidłowo wykonać badania wytrzymałościowe, wszystkie druty ręcznie wyprostowano za pomocą młotka o powierzchni o mniejszej twardości niż prostowany drut. W trakcie prostowania szczególnie dbano o to, aby nie uszkodzić powierzchni drutów, na których w procesie eksploatacji wystąpiły starcia. Próbki lin przed wykonaniem badań przedstawia rysunek 4. Badania wykonano według norm PN-ISO 7800:1996, PN-EN ISO 6892-1:2016-09, PN-EN 10264-1:2012 i PN-EN 10264-3:2012. Wszystkie druty odcinka liny uszkodzonej i referencyjnej poddano badaniom na rozciąganie i na skręcanie jednokierunkowe. Zmierzono także średnice wszystkich drutów. Dodatkowo przeprowadzono badanie przeginania wszystkich drutów liny referencyjnej w celu potwierdzenia jakości wykonania lin. Badań drutów liny uszkodzonej na przeginanie nie wykonano, gdyż wyniki te z uwagi na losowość wyboru przekroju przeginania są obarczone bardzo dużym rozrzutem i nie nadają się do jednoznacznej interpretacji. Poniżej przedstawiono krótki opis wykonanych badań normowych drutów.

Rys. 4. Próbki lin do badań: u góry – lina z bębna, w środku – lina, która nie pracowała, na dole – lina z deformacją w postaci „koszyka”

Druty zrywano przy użyciu pionowej zrywarki H100KS, której widok przedstawiono na rysunku 5a. Na rysunku 5b przedstawiono widok skręcarki. Badanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 6892-1:2016-09. Próba zrywania drutów polega na rozciągnięciu badanego drutu aż do rozerwania w celu wyznaczenia siły zrywającej.

Długość robocza próbki powinna wynosić 200 mm ±2 mm lub 100 mm ±1 mm. Odległość między uchwytami maszyny wytrzymałościowej powinna wynosić co najmniej 150 mm z wyjątkiem drutów o małej średnicy, w przypadku których można przyjąć odległość równą 100 mm. Kształty próbek po wykonaniu badań przedstawiono na rysunku 6.

a) b)



Rys. 5. Maszyna do skręcania (a) i zrywania (b) drutów

Rys. 6. Próbki drutów po wykonaniu badań na zginanie (u góry), skręcanie (w środku) i zrywanie (u dołu)

3. Wyniki z badań

Prezentując wyniki badań, skupiono się na tych drutach, które wykazywały największe uszkodzenia w postaci starć, deformacji w formie wgnieceń i deformacji plastycznych powstałych na skutek tzw. koszyka. Dotyczyło to drutów zewnętrznych sześciu splotek rdzeniowych wykonanych jako konstrukcja Seale oraz drutów ostatniej warstwy liny tworzonej przez osiem splotek wykonanych w układzie Warrington–Seale. Dysponowano wynikami badań:

- wykonanych przez producenta i udokumentowanych w tzw. świadectwie liny,
- odcinka liny pracującego, ale nieprzeginanego na kołach, bo pochodzącego z bębna,
- odcinka liny, na którym stwierdzono największe uszkodzenia.

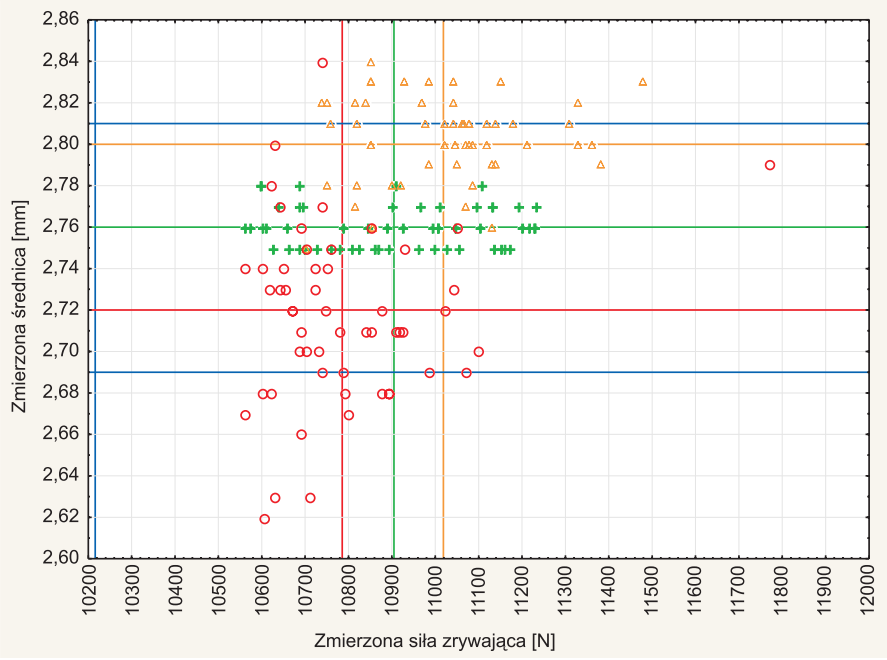
Wyniki badań w postaci zmierzonych średnic drutów, liczby jednokierunkowych przegięć i wartości sił zrywających przedstawiono, w celu porównania, na wspólnych wykresach (rys. 7, 8). Przyjęto następujące oznaczenia:

- znak „+” w kolorze zielonym – wyniki badań odczytane ze świadectwa liny wystawionego przez producenta;
- znak „Δ” w kolorze pomarańczowym – wyniki badań drutów liny, która pochodziła z bębna i nie była przeginana na kołach układu wielokrążkowego;
- znak „o” w kolorze czerwonym – wyniki badań wszystkich drutów liny uszkodzonej na skutek deformacji w postaci „koszyka”;
- pozioma lub pionowa ciągła linia w kolorze niebieskim – minimalna lub maksymalna dopuszczalna według normy wartość danego parametru;
- linia pionowa lub pozioma w kolorze zielonym, pomarańczowym lub czerwonym – wartość średnia danego parametru z wyników badań: liny ze świadectwa, liny z bębna, liny uszkodzonej na skutek deformacji;
- pionowa lina przerywana w kolorze czerwonym – wartość średnia siły zrywającej druty z danej warstwy po odrzuceniu drutów uszkodzonych na skutek deformacji w postaci „koszyka”, które nie przenoszą obciążenia.

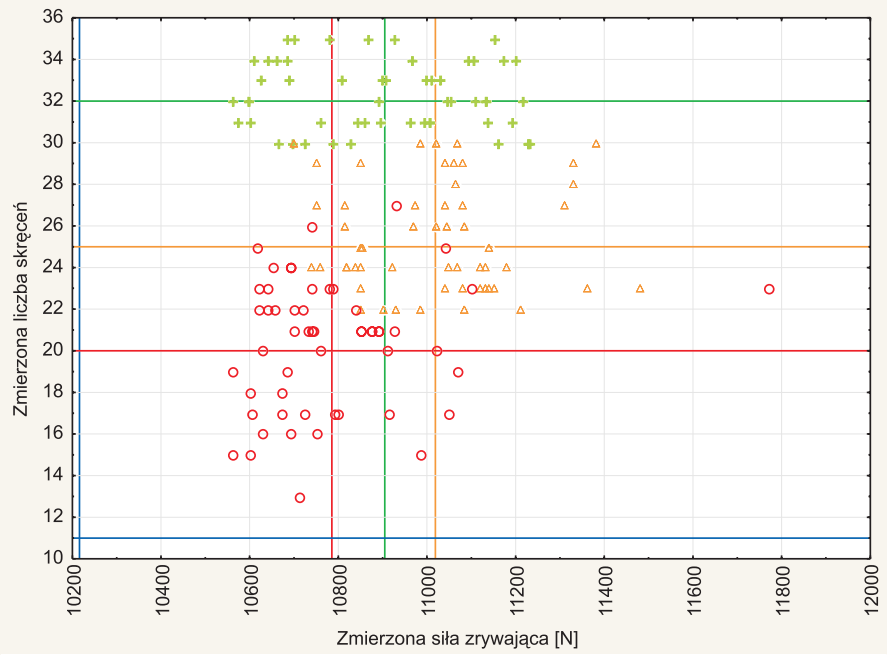
Wyniki badań drutów zewnętrznych, sześciu splotek wewnętrznych oraz ośmiu splotek zewnętrznych przedstawiono:

- w postaci zależności graficznej XY pomiędzy zmierzoną średnicą a wartością siły zrywającej poszczególne druty (rys. 7),
- w postaci zależności graficznej XY pomiędzy liczbą skręceń a wartością siły zrywającej poszczególne druty (rys. 8).

Na podstawie wartości sił zrywających wszystkie druty badanej liny wyznaczono wartości sumarycznych sił zrywających linę – przedstawiono je w tabeli 1.



Rys. 7. Zmiana średnicy drutu jako funkcja siły zrywającej poszczególne druty



Rys. 8. Zmiana liczby skręceń jako funkcja siły zrywającej poszczególne druty

Tabela 1
Wartości sumaryczne sił zrywających badanych lin
oraz osłabienie liny względem liny referencyjnej z bębna

Parametr	Świadectwo	Lina z bębna	Lina zużyta
Sumaryczna siła zrywająca [kN]	4275,75	4369,18	4158,21
Osłabienie względne [%]	–	0,9	4,8
Osłabienie bezwzględne [kN]	–	38,96	210,97

4. Analiza uzyskanych wyników

Analizując uzyskane wyniki badań, można je następująco syntetycznie podsumować:

Parametry wytrzymałościowe drutów mieszczą się w zakresie dopuszczanym przez normy przedmiotowe. Referencyjny odcinek liny pobrany z bębna miał nawet lepsze parametry niż podane w świadectwie wystawionym przez producenta. Różnice te były jednak niewielkie, wynikały ze sposobu wykonania badań i mieściły się w zakresie oszacowanej niepewności pomiaru.

W trakcie przygotowywania uszkodzonego odcinka do badań wytrzymałościowych nie stwierdzono ani jednego pękniętego drutu. Zaobserwowano dwa rodzaje uszkodzeń. Występowały one właściwie wyłącznie na drutach zewnętrznych. Druty zewnętrzne były wyraźnie wytarte. Miały obniżoną liczbę skręceń oraz zmniejszoną wytrzymałość na rozciąganie w porównaniu z drutami liny referencyjnej. Uwidocznione jest to na rysunku 8, na którym wyraźnie widać, że chmura punktów czerwonych reprezentujących te druty jest wyraźnie przesunięta na lewo i w dół w stosunku do chmury punków pomarańczowych reprezentujących te same parametry drutów liny referencyjnej. Podobne wnioski można wyciągnąć, porównując rozkłady losowe analizowanych parametrów liny uszkodzonej i referencyjnej

Uzyskane wyniki wskazują jednoznacznie na to, że dominującym procesem zużywania się tych lin były ubytki masowe na skutek tarcia wywołane przemieszczaniem się splotek zewnętrznych po metalowym rdzeniu liny w warunkach dużych nacisków powierzchniowych panujących w strefie opasania na rowkach kół linowych. Prowadziło to stopniowo do zmiany średnicy drutów i samego rdzenia liny. Mimo to nie wystąpiły pęknięcia zmęczeniowe, gdyż pod względem własności mechanicznych druty były bardzo dobrej jakości i były wystarczająco plastyczne.

W momencie odkładania spadek siły sumarycznej zrywającej linę w całości (osłabienie liny liczone z wyłączeniem z przekroju nośnego liny drutów zdeformowanych plastycznie) wyniósł około 5%, co stanowi połowę dopuszczalnego kryterium odkładania określonego w normie przedmiotowej. Oznacza to, że przyjęta strategia

eksploatacyjna lin dopuszczająca ich dalszą pracę z istniejącymi deformacjami w postaci „koszyka" jest racjonalna i zapewnia odpowiedni poziom bezpieczeństwa.

Uzyskane wyniki pochodzą z badań wytrzymałościowych różnych odcinków tej samej liny pracującej w mechanizmie zwodzenia organu urabiającego koparki wielonaczyniowej. Badania wykazały znaczące różnice stopnia osłabienia poszczególnych odcinków liny. Zgodnie z oczekiwaniami największe zużycie wykazał odcinek, który najczęściej był narażony na przeginanie na krążkach linowych. Potwierdza to przydatność modeli do wyznaczania odcinków liny o największym potencjalnym zużyciu w danych warunkach eksploatacyjnych. Właśnie te odcinki powinny być poddane szczególnie wnikliwym oględzinom w trakcie rutynowych badań wizualnych.

5. Wnioski

Przyjęte kryteria oceny stanu technicznego lin w górnictwie odkrywkowym na podstawie uzyskanych wyników badań można uznać za zasadne, jednakże należy szukać nowych technologii pomiaru parametrów geometrycznych lin w górnictwie odkrywkowym. Badania niszczące potwierdziły, że przyjęte kryteria pozwalają na zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa pracy lin pomimo uszkodzeń, które powstają w trakcie normalnej eksploatacji.

Konieczne jest cykliczne kontrolowanie wizualne tego stanu przez uprawnioną osobę.

Wystąpienie deformacji w formie „koszyka" zawsze powinno być sygnałem do wymiany lin wciągarkowych na nowe. Nie oznacza to jednak natychmiastowego zaprzestania ich eksploatacji, a konieczność wdrożenia systemu codziennej kontroli.

Należy rozważyć zastosowanie do oceny stanu technicznego lin wciągarkowych szybkich laserowych metod wizualnych umożliwiających pomiar średnicy liny i długości skoku na jej wybranych odcinkach (Olszyna i in. 2013).

Badania wytrzymałościowe własności mechanicznych dostarczają jednoznacznych informacji o stanie technicznym i stopniu osłabienia drutów w linach

Literatura

Frick W., 2019, *Loss of breaking load of high-strength wires during transverse pressure*, [w:] M.A.R. Dohm (ed.), *Exploring Opportunities – Synthetic/Steel: Proceedings of the OIPEEC Conference 2019*, Meylan, s. 247–265.

Gasić V., Olszyna G., 2019, *Steel ropes in machines opencast mining*, [w:] Kotwica K. (ed.), *New trends in production engineering: monograph. Pt. 1, Engineering and technology*, Sciendo, Warszawa, s. 312–320.

Gasić V., Olszyna G., Tytko A., 2021, *Methods for quantification of the abrasive wear at steel ropes used in drum devices*, [w:] Vencl A. (ed.), *BALKANTRIB '20: 10th international conference on Tribology: May 20–22, 2021, Belgrade, Serbia: proceedings*, University of Belgrade, Belgrade, Serbian Tribology Society, Kragujevac, s. 125–126.

Heredia C.L.F., Olszyna G., Tytko A., 2018, *Effect of wire material properties on wire rope use*, Journal of Machine Construction and Maintenance – Problemy Eksploatacji, no. 4, s. 57–65.

Kasztelewicz Z., 2012, *Koparki wielonaczyniowe* i *zwałowarki taśmowe: technologia pracy*, Agencja Wydawniczo-Poligraficzna ART-TEKST, Kraków.

Olszyna G., Tytko A., 2015, *Zagadnienie zużycia lin stalowych pracujących w układach wielokrążkowych*, [w:] Tytko A., Wójcik M. (red.), *Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie: monografia*, CBiDGP Sp. z o.o., Lędziny, s. 95–107.

Olszyna G., Sioma A., Tytko A., 2013, *Assessment of the condition of hoisting ropes by measuring their geometric parameters in a three-dimensional image of their surface*, Archives of Mining Sciences – Archiwum Górnictwa, vol. 58, no. 3, s. 643–654.

PN-EN 10264-1:2012, *Drut stalowy i wyroby z drutu – Drut stalowy na liny – Część 1: Wymagania ogólne*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.

PN-EN 10264-3:2012, *Drut stalowy i wyroby z drutu – Drut stalowy na liny – Część 3: Drut okrągły i kształtowy ze stali niestopowej do pracy w trudnych warunkach obciążenia*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.

PN-EN ISO 6892-1:2016-09, *Metale – Próba rozciągania – Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.

PN-ISO 7800:1996, *Metale – Drut – Próba jednokierunkowego skręcania*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.

PN-M-80284:1997, *Górnictwo odkrywkowe – Dopuszczalne zużycie lin stalowych*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.

Tytko A., 2021, *Liny stalowe: budowa, właściwości, eksploatacje, zastosowania*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Witoś M., Zieja M., Żokowski M., Kwaśniewski J., Molski S., 2019, *Magnetic non-destructive testing of ropes*, [w:] Sovák P. (ed.), *17th Czech and Slovak Conference on Magnetism, Košice, Slovakia June 3–7, 2019: book of abstracts*, Slovak Physical Society, Košice, s. 342.

Zhou P., Zhou G., Zhu Z., He Z., Ding X., Tang Ch., 2019, *A Review of Non-Destructive Damage Detection Methods for Steel Wire Ropes*, Applied Sciences, vol. 9(13), 2771, https://doi.org/10.3390/app9132771.

Ziębiński S., 1988, *Schemat prowadzenia lin podtrzymujących wysięgnik – Dokumentacja techniczna koparki wielonaczyniowej* [niepubl.].