

# Rola badań lin w procesie bezpiecznej eksploatacji kolei linowych

## Some problems of testing of ropes in the safe use of ropeways



**Grzegorz Olszyna**

dr inż.

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Transportu Linowego

olszyna@agh.edu.pl



**Andrzej Tytko**

prof.dr hab. inż.

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Transportu Linowego

olszyna@agh.edu.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono problematykę związaną z dynamicznym rozwojem kolei linowych w Polsce w ostatnich latach. Autorzy charakteryzują koleje linowe jakie najczęściej uruchamiane są w Polsce. Koncentrują się na roli wymaganych badań w eksploatacji tych urządzeń. Najwięcej uwagi poświęcają linom stalowym i elementom z nimi współpracującym. W artykule omówiono główne przyczyny zużywania się lin stalowych i mechanizmy powstawania podstawowych uszkodzeń takich jak zużycie zmęczeniowe korozja i starcia. Przedstawiono przykłady takich uszkodzeń i miejsca w których mogą wystąpić. Szczególny nacisk położono na ocenę wizualną i uszkodzenia wywołane zużyciem korozyjnym.

**Słowa kluczowe:** Diagnostyka lin; Uszkodzenia lin; Badania magnetyczne; Badania wizualne; Liny stalowe

**Abstract:** The article presents the problems connected with the dynamic development of the cableways in Poland in recent years. The authors characterize ropeways which most often are run in Poland. Authors focus on the role of obligatory testing in the operation of ropeways. They pay most attention to steel wire ropes and some elements cooperating with them. The article discusses the main causes of wear of ropes and mechanisms of damage such as fatigue, wear and different corrosion patterns. The examples of such damage and the place in which they can occur are presented. Main attention was placed on visual assessment of damage caused by corrosive wear.

**Keywords:** Rope diagnostics; Rope damage; Magnetic testing; Visual testing; Wire ropes

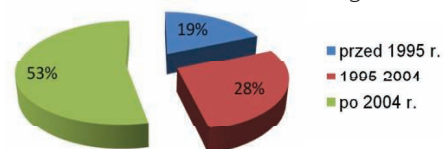
W Polsce od połowy lat 90-tych rozpoczęły się znaczne inwestycje związane z budową urządzeń transportu linowego do celów turystycznych i narciarskich. Instalowano zarówno koleje linowe nowe produkcji renomowanych firm światowych jak również importowano i przystosowywano do polskich warunków urządzenia już eksploatowane wcześniej w krajach takich jak Austria i Włochy. Dynamikę tych inwestycji obrazuje rysunek 1 przedstawiający liczbę instalowania kolei linowych w trzech kolejnych okresach. Przed rokiem 1995 uruchomiono tylko 16 kolei linowych. Jest to niewiele zważywszy, że pierwsza kolej linowa w Polsce powstała już w roku 1936 w Zakopanem, a w roku następnym kolejne dwie również w Zakopanem i Krynicy. W drugim okresie obejmującym lata 1995-2004 powstało 28% obecnej liczby kolei. W niespełna

10 lat zainstalowano 24 koleje linowe. Największy wzrost liczby budowanych kolei linowych przypada na trzeci okres czyli na lata po roku 2004. Zainstalowano wtedy połowę kolei linowych jakie mamy obecnie w Polsce.

Po roku 2004 koleje linowe w Polsce były budowane wg ujednoczonych przepisów obowiązujących w Unii Europejskiej. Przed tym rokiem koleje linowe były instalowane według przepisów technicznych obowiązujących w danym kraju oraz wytycznych producentów. Przepisy te nie były jednolite. W Austrii nadzór nad stanem technicznym elementów kolei linowych był dokumentowany w specjalnych kartach kontrolnych przygotowanych przez producentów. W dokumentach kolei linowych sprowadzanych z Włoch nie zawsze były zapisywane przeprowadzane kontrole pomimo, że należało to czynić. Takie działania

często nie pozwalały na odtworzenie historii procesu eksploatacyjnego elementów kolei linowych.

Badania specjalne to zespół czynności i metod mających na celu stwierdzenie rzeczywistego stanu elementów danej kolei linowej. Badania te wykonywane są zawsze przed ponowną instalacją. Niestety bez koniecznej wiedzy o czasie pracy i historii dotyczącej obciążenia elementów, pozwalają jedynie na stwierdzenie stanu obecnego, ale nie na wnioskowanie okresu czasu dla dalszej bezpiecznej pracy. Każda potencjalna awaria na pewno będzie generować straty materialne, ale co gorsza również może być poważnym zagrożeniem



1. Liczba instalacji kolei linowych w Polsce

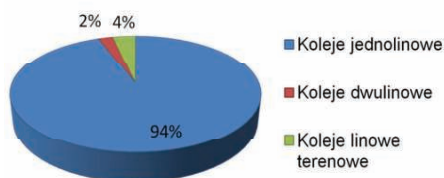
dla zdrowia i życia ludzkiego stąd wiedza o rzeczywistym stanie urządzeń jest bardzo pożądana. Problem oceny bezpiecznej eksploatacji obiektów technicznych, w tym kolei linowych, pomimo rozwoju techniki i ciągłego doskonalenia procedur w związku z budową coraz to większej liczby tych urządzeń narasta co skłoniło autorów na podjęcie w niniejszym artykule tej tematyki.

## Problematyka oceny lin kolei linowych

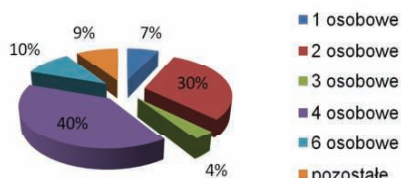
Koleje linowe w Polsce są w głównej mierze wykorzystywane do transportu ludzi w celach turystycznych i narciarskich. Charakter i intensywność obciążenia kolei linowej zależy od warunków atmosferycznych (pogody), a także od położenia stacji i renomy ośrodków turystycznych.

Bardzo ważnym parametrem determinującym bezpieczeństwo kolei linowych jest tzw. „trwałość lin” która zależy od wielu czynników. Parametr ten a priori jest trudny do określenia. Nie jest też podawany przez producentów lin. Główny wpływ na trwałość liny mają czynniki zmęczeniowe zależne od czasu pracy, liczby przegięć, obciążeń roboczych. Dlatego też ważnym i często nieuświadomianym czynnikiem jest określenie stosunku nacisku liny na krążki (baterie krążków), po których obtacza się lina w trakcie pracy do minimalnej siły napinającej linę. Według przepisów austriackich stosunek [17] ten zawiera się w przedziale 1÷60 natomiast według przepisów szwajcarskich w przedziale 1÷80.

Z badań przeprowadzonych przez Plainera (1972) wykonanych dla 10 kolei pracujących w Austrii wynika również, że na trwałość lin w kolejach linowych ma wpływ nie tylko charakter obciążenia ale średnica krążków, rodzaj wykładziny, długość przęsła, liczba krążków na podporach, odstęp pomiędzy pojazdami itp. Według informacji zaczerpniętych z innych źródeł [2, 9] liny o konstrukcji zamkniętej wytrzymują do 7 mln. cykli przegięć w trakcie przejazdu pojazdów, natomiast liny splotkowe, wykonane z dru-



2. Podział kolei linowych ze względu na konstrukcję i przeznaczenie



3. Podział kolei jednolinowych ze względu na liczbę pasażerów

tów okrągłych ok. 3,5 mln. przegięć. Według Bleicherta [9] liczba przegięć takich lin może wynosić nawet 4 mln. Jednakże liczba cykli może ulegać zmianie w zależności od nacisków i rozstawu pomiędzy pojazdami.

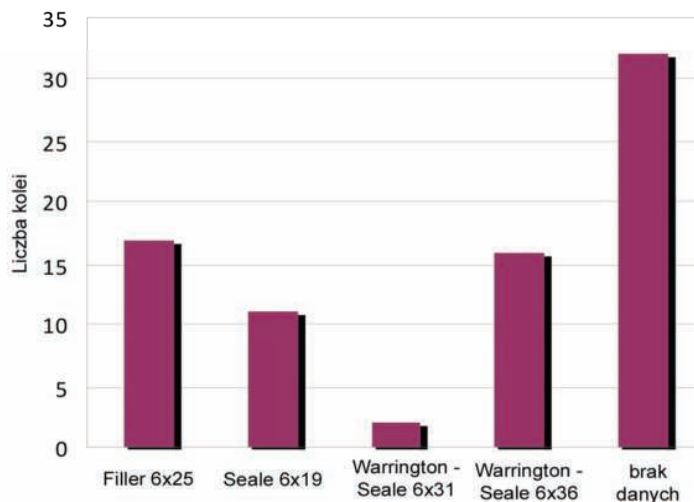
Jak już wspomniano w Polsce (2016 r.) pracuje ponad 100 kolei linowych. Znaczną większość stanowią koleje jednolinowe o ruchu okrężnym co przedstawiono na diagramie na rys. 2.

Koleje jednolinowe stanowią naj-

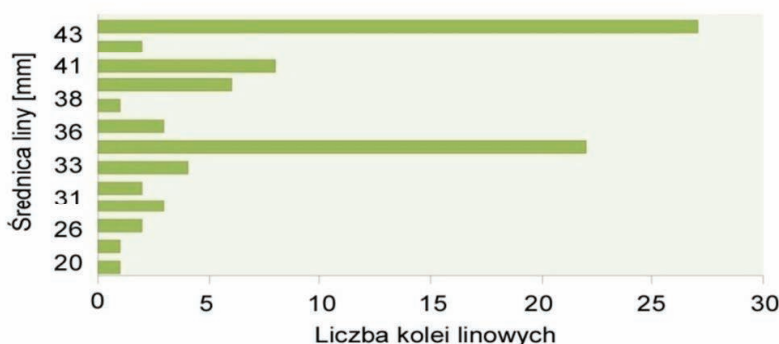
większą grupę urządzeń eksploatowanych w polskich stacjach narciarskich i turystycznych i można je podzielić według liczby osób znajdujących się w pojeździe co przedstawiono na diagramie na rys 3.

W grupie kolei linowych o ruchu okrężnym aż 83% stanowią koleje niewyprężane, a tylko 17% koleje wyprężane. Cena nowoczesnych kolei linowych wyprężanych jest znacznie wyższa od tradycyjnych niewyprężanych. Wyższe są też wymagania dla podzespołów w tym lin i wprzęgieł. W kolejach linowych pracujących w Polsce stosowane są różne konstrukcje i średnice lin. Histogram przedstawiony na rys. 4 obrazuje zastosowane typy konstrukcji lin w kolejach.

Największą grupę stanowią liny o konstrukcji splotki Warrington-Seale (WS) oraz Filler (F) [4]. Liny do pracy w kolejach linowych dobierane są tak aby uzyskać odpowiednią wytrzymałość na rozciąganie zapewniającą odpowiedni zapas bezpieczeństwa określony tzw. „współczynnikiem bezpieczeństwa”. Minimalna wartość tego



4. Stosowane konstrukcje lin w kolejach linowych eksploatowanych w Polsce

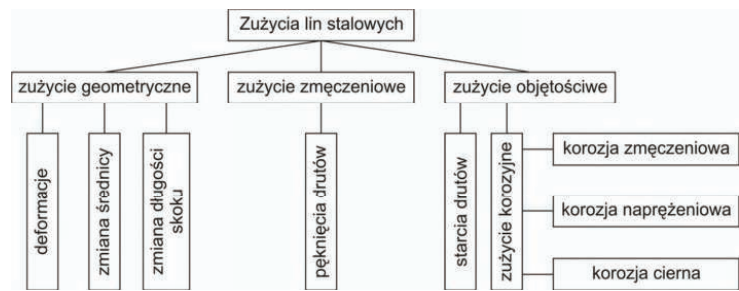


5. Rozkład średnic lin stosowanych w kolejach linowych w Polsce

współczynnika podawana jest w normach przedmiotowych [11] Średnica liny w kolejach linowych jest uzależniona od obciążenia dla którego kolej została zaprojektowana i jest jednym z najważniejszych parametrów charakteryzujących daną kolej. Histogram rozkładu stosowanych średnic lin w kolejach linowych przedstawiono na rysunku 5.

Liny w trakcie eksploatacji w kolejach linowych podlegają różnicowanemu procesom zużyciowym. Gdy z jakiegoś powodu dokonuje się zmiany konstrukcji lin, lub występują zmiany obciążenia, system wymaga ulepszenia. Zmiany dotyczące wymaganych sprawdzeń, kontroli oraz badań są konieczne i nieuniknione. Wprowadzanie zmian dotyczących badań w procesach eksploatacji nie zawsze jest właściwe i dostrzegane przez użytkowników. Nie dotyczy to niewłaściwie dokonywanej oceny lin w kolejach linowych, ale faktu że każda lina w kolejach linowych jest w sensie eksploatacyjnym inna. Jedynie poprzez identyfikację procesów zużyciowych można wnioskować o czasie bezawaryjnej pracy konkretnej liny. Dlatego konieczna jest znajomość przez osoby badające symptomów zużycia właściwych dla danej liny i warunków pracy informujących o procesie zużycia. Celem ostatecznym jest uniknięcie poważnych awarii.

Liny stalowe są elementami kolei linowych przewidzianymi do wymiany, gdyż zużywają się w trakcie procesu eksploatacji. Uszkodzenia jakie mogą się pojawiać w linie w czasie pracy powodują jej osłabienie co wpływa na bezpieczeństwo pracy. W celu zapewnienia bezpieczeństwa pasażerów, liny poddawane są badaniom i ocenie stopnia zużycia przez osoby posiadające odpowiednie i certyfikowane kompetencje. W trakcie badań wykrywane są miejsca, w których pojawiają się pęknięte druty bądź inne formy zużycia i uszkodzenia mające wpływ na spadek nośności liny. W czasie eksploatacji lin stalowych oddziałują szereg innych czynników, które wpływają na przyspieszone zużycie. Zmienne naprężenia w stanie trójosiowym po-



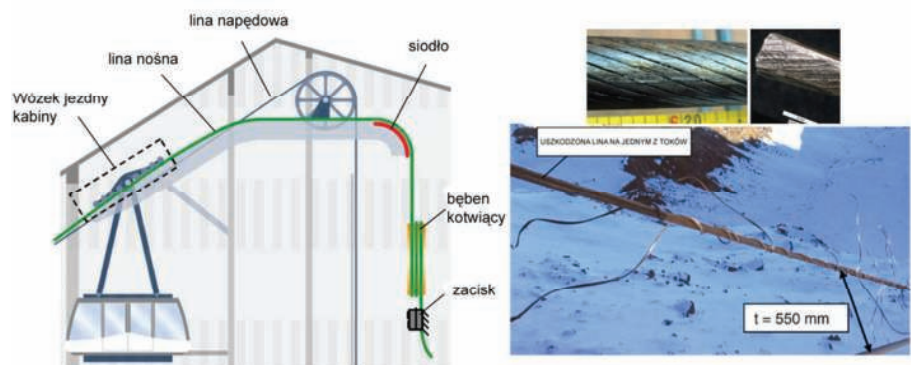
6. Rodzaje zużycia lin stalowych [5]

wodują mikropęknięcia drutów i w konsekwencji powodują zmęczenie materiału, a także zużycie ścierne występujące między powierzchniami o obszarze ich styku. Dodatkowym procesem niszczenia lin w wyniku zetknięcia materiałów z otaczającym środowiskiem jest korozja w różnych formach występowania. Najczęściej występujące przyczyny zużycia lin przedstawiono na rysunku 6.

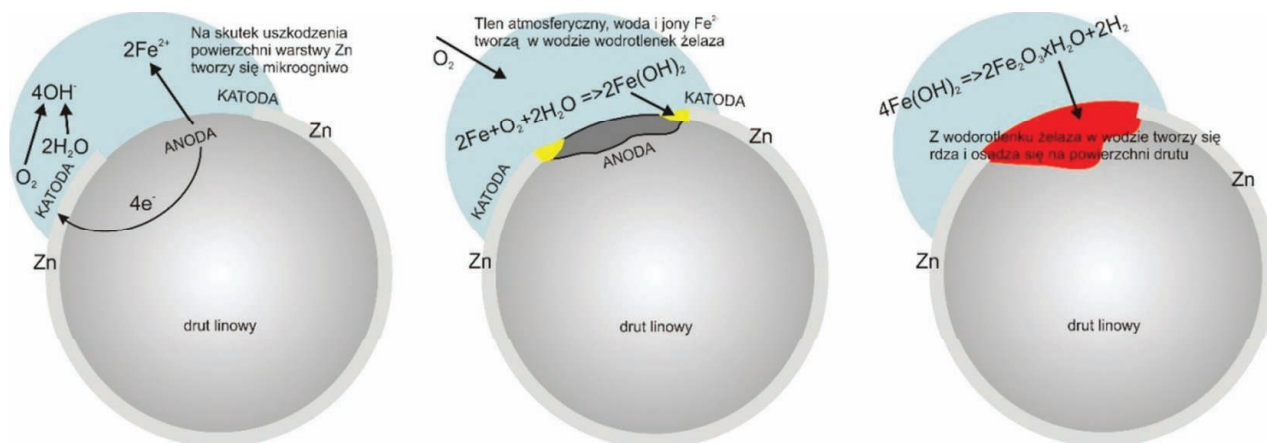
Zużycie zmęczeniowe lin objawia się w postaci pęknięć drutów. Pęknięcia te wywołują cyklicznie zmienne naprężenia jakie występują w drutach i na ich styku. W linach mamy do czynienia ze złożonym trójosiowym stanem naprężeń. Naprężenia normalne wywoływane są poprzez zmienne obciążenia działające w linie od rozciągania i zginania. Naprężenia styczne są wynikiem działania momentów odwrętu oraz w dużym stopniu nacisków. Lina jako układ splotek i drutów pracuje dynamicznie, a naprężenia mają charakter cykliczny. Wywołują je zmiany promienia przegینania drutów liny na kołach pędnych, kierujących, krążkach linowych, siły tarcia w punktach styku drutów i in. Naprężenia stykowe pochodzą od nacisków w miejscu styku drutów z rowkiem lino-

wym oraz pomiędzy drutami sąsiednich splotek. Złożony stan naprężeń ma bardzo duże znaczenie dla zużycia zmęczeniowego lin stalowych. Tempo tego zużycia zależy od zmienności obciążeń w odniesieniu do ich wartości średniej, liczby cykli, oraz przyspieszających je procesów korozyjnych. Tempo zużycia jest charakterystyczne dla danej konstrukcji i danej instalacji liny.

Trudne do oszacowania są wartości nacisków występujących pomiędzy liną, a bieżnią pędni. Nadmierne naciski prowadzą do deformacji plastycznej drutów, a w konsekwencji do zużycia zmęczeniowego. Można na drutach okrągłych zaobserwować powstawanie tzw. „warg”. Zużycie to jest bardzo groźne z uwagi na zmiany struktury metalograficznej materiału drutów co wprost prowadzi do możliwego wystąpienia lawinowego pęknięcia drutów. Na rysunku 7 przedstawiono uszkodzenie liny nośnej kolei linowej wywołane poprzez nadmierne naciski na linę występujące w siodle linowym. Po przesunięciu liny z siodła w strefę, w której następuje przegینanie nastąpiło odprężenie liny i zerwanie wszystkich drutów w warstwie zewnętrznej. Wypadek zdarzył się podczas jazdy rewizyjnej (mi-



7. Przypadek pęknięcia 21 drutów w warstwie zewnętrznej liny nośnej konstrukcji zamkniętej kolei dwulinowej [8]



8. Fazy w procesie elektrochemicznej korozji wżerowej, aż do pełnego utlenienia

nimalne obciążenie) w szwajcarskiej miejscowości w Schilthorn w grudniu 2004 roku. Przypadek ten to nieoczekiwany, ale przekonujący dowód na to, że naciski pomiędzy liną a wykładziną bardzo wpływają na trwałość lin stalowych.

Korozja jest procesem degradacji materiałów w których zachodzą zjawiska fizykochemiczne w wyniku chemicznego oddziaływania materiału z otaczającym środowiskiem. Korozja zachodzi w materiałach podatnych na działanie soli i kwasów oraz w środowisku wodnym z obecnością tlenu [11]. Na rysunku 8 obrazowo przedstawiono tzw. wżerową korozję elektrochemiczną w wyniku której powstają uwodnione tlenki żelaza potocznie rozpoznawane jako rdza. Korozja taka może wystąpić praktycznie na każdym odcinku liny. W przypadku drutów ocynkowanych najczęściej są to miejsca uszkodzonej bądź eksploatacyjnie zużytej warstwy cynku.

Korozja naprężeniowa (stress corrosion cracking) wywołwana jest działaniem naprężeń jakie występują w trakcie pracy liny pod obciążeniem

oraz od działań środowiska korozyjnego (np. wilgoć). W wyniku działania obciążeń pojawiają się mikropęknięcia, w które dostaje się wilgoć i zachodzą reakcje chemiczne powodując korodowanie drutów w linach.

Korozja cierna (fretting corrosion) wywołwana jest naprężeniem i przemieszczeniami powierzchni współpracujących na których dochodzi do korodowania. Pod wpływem zmian obciążeń w drutach liny i zmian sił tarcia pomiędzy drutami pracującej liny dochodzi do usuwania z powierzchni drutów fragmentów metalu i produktów korozji. Korozja cierna jest szybsza niż zwykła korozja, ponieważ dochodzi do zmiany geometrii drutów. Zachodzi przede wszystkim w linach o punktowym styku drutów przy zmiennych obciążeniach lin. Przykład tak zużytych drutów liny sześciopłatkowej o średnicy 76 mm przedstawiono na rys. 9 na którym w środkowej części widoczne są szczeliny powstałe na skutek pocienienia drutów.

Zmienne cykliczne naciski pomiędzy drutami oraz obecność wilgoci i brak smarowania prowadzą do po-

wstawanie korozji zmęczeniowej (fatigue corrosion). Zjawiska te są opisane w kilku pozycjach literaturowych [3, 10]. Lina znajdująca się w środowisku korozyjnym i poddawana zmiennym obciążeniom znacznie szybciej ulega uszkodzeniom niż gdyby te dwa czynniki (korozja oraz zmęczenie) działały oddzielnie. W wyniku działania korozji zmęczeniowej pojawiają się pęknięcia drutów, które są podobne do pęknięć zmęczeniowych. Różnica polega na tym, że powierzchnia pękniętych drutów nie jest gładka. Zauważyć można wyraźne różnice pomiędzy pęknięciem zmęczeniowym a pęknięciem od korozji. Charakterystycznym objawem korozji zmęczeniowej jest pojawianie się pęknięć w niedalekiej odległości. Przykład takiego miejsca na linie przedstawiono na rysunku 10.

Liny zawsze pracują w środowisku naturalnym, które oddziałuje na nie i indukuje szereg różnych procesów. Najczęściej w materiałach zachodzą procesy korozyjne co ilustruje rys. 8. Korozja tego typu w literaturze jest określana mianem korozji atmosferycznej. Korozyjność materiałów za-



9. Zmiany geometrii drutów liny 76 mm zużytych na skutek korozji frettingowej



10. Pęknięcia drutów wskutek działania korozji zmęczeniowej [7]



11. Lina o konstrukcji 6x25F z rdzeniem polipropylenowym powszechnie stosowana w kolejach linowych



12. Lina o konstrukcji 6x25F dla kolei linowych z rdzeniem pełnym z tworzywa sztucznego

leży od warunków klimatycznych w jakich się znajdują oraz przyczyny wywołującej ten proces. Jest to rodzaj zużycia, który nie można zupełnie wyeliminować. Właściwa ochrona przed korozją może jedynie spowolnić korodowanie w trakcie pracy. Warunkiem koniecznym dla ochrony przeciwkorozyjnej jest znajomość czynników wpływających na kinetykę procesu korozyjnego. Głównymi czynnikami wpływającym na tempo tej korozji jest wilgoć, zmienna temperatura oraz ciśnienie powietrza. Najlepszym środkiem ochronnym przed korozją atmosferyczną dla lin jest wykonanie ich z drutów ocynkowanych oraz smar. Smarowanie powinno być dokonane starannie i dokładnie celem odcięcia dopływu tlenu. Obecnie powszechnie zaleca się dosmarowywanie lin w trakcie eksploatacji. Zarówno opóźnia to sam proces jak i obniża opory ruchu poprzez obniżenie tarcia. W efekcie zużycie ściernie jest też mniejsze.

Temat wpływu korozji na trwałość zmęczeniową lin jest przedmiotem licznych publikacji [1, 12]. Autorzy dowodzą w nich, że zużycie korozyjne lin stalowych znacznie obniża właściwości mechaniczne drutów i trwałość zmęczeniową lin, ale niekoniecznie ma znaczny wpływ na spadek siły zrywającej linę w całości. Wynika z tego, że prawidłowo nadzorowana lina i zidentyfikowany poziom zużycia korozyjnego nie zagraża bezpiecznej eksploatacji. Groźne jest dopiero zaniedbanie i dopuszczenie w sposób niezauważony do znacznej korozji.

## Współczesne konstrukcje lin stosowane w kolejach linowych

W ostatnich latach obserwujemy szybki rozwój konstrukcji lin, w tym również dla kolei linowych. Można wyróżnić kilka tendencji w rozwoju

konstrukcji tych lin. Bardzo popularną konstrukcją lin stosowanych do kolei linowych są liny z rdzeniem polipropylenowym przedstawione na rys. 11. Ich zaletą jest zmniejszenie oporów tarcia poprzez zastosowanie rdzenia z włókien z polipropylenu. Liny posiadają wysoką wytrzymałość na rozciąganie a jednocześnie są giętkie i elastyczne. Wadą ich jest tendencja do wydłużania się, zwłaszcza w początkowym okresie eksploatacji co powoduje konieczność ich skracania.

Drugą grupę stanowią liny stalowe z rdzeniem pełnym wykonanym z tworzywa sztucznego. W wyniku przeprowadzonych badań i doświadczeń firm produkujących te liny potwierdzono ich znacznie wyższą trwałość w porównaniu do lin z rdzeniem włókiennym. Liny takie zwykle wykonują znacznie większą liczbę cykli w tych samych warunkach pracy. Zastosowanie tego typu rdzenia zmniejsza naciski poprzez brak kontaktu ze sobą sąsiednich splotek. Technologicznie w czasie składania liny rdzeń jest w stanie plastycznym co pozwala na precyzyjne ułożenie na nim splotek, które na powierzchni rdzenia tworzą charakterystyczny odcisk. Liny tej konstrukcji charakteryzują się również zachowywaniem stałych parametrów konstrukcyjnych liny tj.: stabilnej średnicy, małego wydłużenia, niezmienności momentu odkrętu. Liny z tej grupy są powszechnie stosowane w kolejach jednolinowych i wyciągach narciarskich z uwagi na możliwość ich łączenia w pętle linowe za pomocą zaplotów. Na rysunku 12 przedstawiono linę z pełnym rdzeniem poliamidowym. Niektórzy producenci produkują rdzenie pełne mające wewnątrz materiał o większej gęstości co jeszcze bardziej poprawia warunki pracy splotek.

Trzecią grupę stanowią liny kompaktowane, które są wykonane po-

przez operację plastycznego zgniataania (deformowania) gotowych splotek wykonanych o liniowym styku drutów. Proces ten pozwala na zwiększenie przekroju metalicznego poprzez uzyskanie wyższego tzw. „współczynnika wypełnienia liny”. Powoduje to pozytywne skutki ze względu na: zmniejszenie średnicy liny, zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie o około 10% procent, wyeliminowanie naprężeń technologicznych w drutach liny oraz kilkukrotnego wydłużenie trwałości zmęczeniowej dla tego typu konstrukcji. Wynika to z faktu, iż przy styku powierzchniowym pomiędzy drutami występują znacznie mniejsze naciski powierzchniowe w porównaniu do splotek o styku liniowym. Naciski te też są zdecydowanie mniejsze w strefie pomiędzy liną, a krążkiem oraz w szczękach wprzęgieł. Naciski te są mniejsze gdyż zwiększeniu ulega powierzchnia styku. Średnica liny w tych konstrukcjach jest bardziej stabilna, czyli nie zmniejsza się w trakcie eksploatacji. Liny kompaktowane mają mniejsze momenty odkrętu co obniża wartość naprężeń stycznych i przez to podnosi ich trwałość. Liny tego typu obecnie są bardzo chętnie stosowane w kolejach linowych. Bardziej cylindryczny kształt w porównaniu z linami niedeformowanymi zmniejsza drgania liny i elementów współpracujących. W większości przypadków stosowane są jako odmiany konstrukcji 6x25F, którą przedstawiono na rysunku 13.

Tendencje rozwojowe kolei linowych w świecie idą w kierunku zwiększenia liczby godzin pracy w ciągu doby oraz poprawy komfortu jazdy pasażerów. W tym też celu firmy produkujące liny opracowują nowe konstrukcje. Opracowano liny, które nie mają drgań splotek wywołanych ruchem. Zostało to zrealizowane poprzez wplecenie pomiędzy splotki liny



13. Lina o powierzchniowym styku drutów dla kolei linowych



14. Lina o powierzchniowym styku drutów z pełnymi wkładkami z tworzywa sztucznego

stalowej wkładek lub cienkich linek (sznurków) z tworzywa sztucznego jak to przedstawiono na rysunku 14. Celem wykonania takiej konstrukcji jest maksymalne zbliżenie przekroju poprzecznego liny do okręgu.

Liny tego typu stosowane są w instalacjach o dużej liczbie godzin pracy w ciągu dnia i wszędzie tam, gdzie wibracje i hałas mogą pogorszyć komfort jazdy, szczególnie w kolejach linowych terenowych i tramwajach linowych w systemach miejskiego transportu linowego. W systemach tych problem drgań występuje w większym stopniu z uwagi na większe prędkości niż przy klasycznych zastosowaniach kolei linowych. Liny tego typu mają kilka ważnych zalet. Właśnie dzięki zastosowaniu wkładek mających właściwości tłumiące lina przebiegająca przez krążki linowe i koła ma mniejsze drgania oraz wywołuje mniejszy hałas. Duży współczynnik wypełnienia przekroju wpływa na bardzo małe wydłużenia lin w trakcie eksploatacji. Liny stalowe tej konstrukcji mają znacznie większą trwałość niż tradycyjne liny stosowane dla kolei linowych. Wkładki z tworzyw sztucznych obniżają tarcie przez co liny te nie wymagają smarowania. Gładka powierzchnia zmniejsza zużycie krążków i wykładzin kół linowych.

Niestety dla wszystkich konstrukcji lin pomimo ich zalet i wydłużenia czasu pracy pozostaje ten sam problem czyli ocena stopnia zużycia.

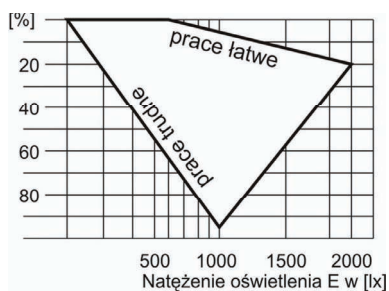
## Badania lin

Wizualne kontrole lin stalowych są trudnym i w pewnym sensie niebezpiecznym zadaniem. Inspektorzy pracujący w bezpośrednim sąsiedztwie biegnącej liny są narażeni na znaczne ryzyko np. zranienie spowodowane z możliwym kontaktem z badaną liny. Prędkość badania jest nie jest duża (średnio 0,5 m/s), ale powoduje wysiłek związany z koncentracją wzroku aby wykryć najmniejsze uszkodzenia na przesuwałej się lince. Badania wizualne są wykorzystywane w wielu metodach badawczych jako oględziny w celu określenia zmian wykrytych nieciągłości. W wyniku badań wizualnych można określić długość (wymiar) nieciągłości. W celu zapewnienia jakości badań wizualnych wymagane jest odpowiednie oświetlenie. Oświetlenie podczas badań wizualnych w większości przypadków jest sztuczne. Dlatego też wg norm przedmiotowych dotyczących badań wizualnych natężenie oświetlenia powinno wynosić co najmniej 350lx, a zalecane jest 500lx. Przy badaniach wizualnych istotny jest dobór rodzaju oświetlenia i kierunku. Niewłaściwe oświetlenie podczas badań może wpływać na błędy popełniane przez człowieka. Zależność liczby możliwych do popełnienia błędów od natężenia oświetlenia została przedstawiona na rysunku 15.

Podczas wykonywania badań wizualnych bardzo istotne jest doświad-

czenie badacza. Metoda wizualna jest bardzo często stosowana do oceny stanu technicznego ze względu na mały koszt badania. Jest jednak metodą nieobiektywną z uwagi na brak rejestracji sygnałów. Większą obiektywność badań można osiągnąć poprzez pomiar parametrów geometrycznych (średnica, długość skoku) w wybranych miejscach, co w przypadku badań lin jest wręcz koniecznością narzuconą przez odpowiednie akty prawne. Ocena wizualna obejmuje także weryfikację uszkodzeń wykrytych w czasie obowiązkowych wykonywanych badań magnetycznych. W trakcie badań wizualnych wykrywane są różnego rodzaju deformacje powstałe na lince w czasie eksploatacji, a stosując odpowiednie przyrządy można zagłębnić do „środka” liny. Połączenia lin (miejsca zaplecenia i mocowania do wagonów) w większości przypadków są oceniane tylko wizualnie.

Rozwój metod i aparatury, którą doskonalono w trakcie badań lin kolei linowych w Polsce od 1946 roku [11] doprowadził także do wprowadzenia badań magnetycznych do przemysłu wydobywczego przepisami górnictwymi w 1978 r. i obecnych [13] jako metody obowiązującej do okresowych kontroli lin nośnych górnictw szybowych. Obecnie w podstawowych dziedzinach transportu linowego takich jak: górnictwo podziemne, górnictwo odkrywkowe, wiertnictwo, dźwigi osobowe metoda magnetycz-



15. Redukcja liczby błędów oceny stanu obiektów metodami wizualnymi w zależności od natężenia oświetlenia [6]



16. Przykładowy wydruk zarejestrowany defektografem MD120 podczas badania liny


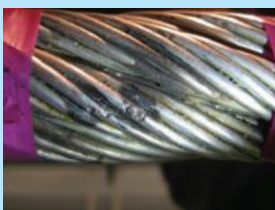

na jest zalecaną metodą, a w kolejach linowych występują te badania jako obligatoryjne [14-16]. Na podstawie badań magnetycznych uzyskujemy informację w postaci zarejestrowanego defektogramu badania, na podstawie którego dokonujemy oceny stanu technicznego obiektu. Przykładowy wydruk takiego defektogramu w wersji papierowej przedstawiający zaplot na linie nośno-napędowej kolei linowej przedstawia rysunek 16.

W zapisie defektogramu interpretowana jest amplituda sygnału, która niesie w informacji na temat wartości zmiany przekroju metalicznego liny. Natomiast kształt sygnału informuje o charakterze zmiany przekroju (ubytek czy naddatek), a szerokość impulsu informuje o odległości pomiędzy końcami uszkodzenia. Informacja o miejscu położenia uszkodzenia na linie jest też zapisana na taśmie, co ułatwia ocenę wizualną.

O stanie liny zawsze decyduje największe uszkodzenie, a przedstawione metody badawcze służą do wykrywania tych najbardziej niebezpiecznych miejsc na linie w celu identyfikacji postaci różnego rodzaju uszkodzeń. Zużycie lin w postaci pęknięć jest najłatwiejsze do zlokalizowania i opisanie. Określenie przyczyny pęknięcia jest znacznie trudniejsze. Wiedza na temat rodzaju pęknięć w czasie eksploatacji pozwala na wskazanie przyczyn powstawania pęknięć. W tabeli 1 zestawiono przykłady pęknięć i innych uszkodzeń, na podstawie których można wyznaczyć stopień zużycia np. poprzez badania magnetyczne.

Uszkodzenia w postaci pęknięć można wykryć w czasie eksploatacji jednoznacznie określić zarówno ich położenie na linie jak również na ich podstawie poziom zużycia liny. Tempo narastania procesu zużycia wywołanego pęknięciami można zmniejszyć poprzez zmniejszenie wartości naprężeń w drutach. Najprostszą drogą zmniejszenia tych naprężeń uzyskuje poprzez zastosowanie wykładzin kół linowych, krążków itp. wykonanych z tworzyw sztucznych.

Tab. 1. Rodzaje pęknięć występujących w linach

Rodzaj uszkodzenia	Przyczyna powstania	Obraz powierzchni
Pęknięcie drutu	Nadmierne dociśnięcie liny do elementu współpracującego	
Pęknięcie drutu	Duża liczba wykonanych cykli, zużycie zmęczeniowe, przegranego odcinka	
Pęknięcie drutu	Pęknięcia powstałe w miejscu węzłów zaplotu w wyniku zbyt dużych naprężeń	
Uszkodzenie od wyładowania atmosferycznego	Uszkodzenie w wyniku chwilowego przepływu prądu o dużym natężeniu	
Uszkodzenie mechaniczne	Uszkodzenie powstałe w wyniku zaczepienia liny o inny współpracujący element	

## Podsumowanie

W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa eksploatowanych urządzeń transportu linowego należy wykonywać wiele czynności obsługowo naprawczych. Do tych zabiegów należą różnego rodzaju wymiany materiałów eksploatacyjnych (smar, łożyska itp.). Liny w kolejach linowych też są elementami pracującymi do wymiany. Określanie czasu bezawaryjnej pracy urządzeń jest niezwykle przydatne dla optymalizacji okresu przeglądów. Stoją za tym sprawdzone metody i środki diagnostyki technicznej. Skuteczność procesu diagnostycznego zależy od efektywności procedur diagnostycznych i zdolności do wyciągania pra-

widlowych wniosków przez personel. Dla budowania procedur diagnostycznych niezwykle istotną sprawą jest zawartość informacyjna uzyskiwanych sygnałów o stanie technicznym urządzenia. Przy tworzeniu procedury diagnostycznej niezwykle istotne są:

- sposoby pozyskiwania informacji,
- opisy i interpretacje sygnałów diagnostycznych,
- sposoby przetwarzania i weryfikacji pozyskanych informacji diagnostycznych,
- obrazowanie pozyskanych informacji w sposób zrozumiały dla użytkownika,
- wartości graniczne dla mierzalnych sygnałów. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Hankus J.: The actual breaking force of steel wire ropes. OIPEEC Bulletin 45 Torino, 1983 s.101-120
- [2] Jasiewicz W., Piłat Z., Urbanowicz J.: Badania magnetyczne lin kolei linowych. Zeszyty Naukowo-Techniczne AGH-KTL , Zeszyt 37, Kraków 2006, s 11-26
- [3] Jasiewicz W.: Zastosowanie defektoskopii magnetycznej do badań lin stalowych na kolei linowej Kasprowy Wierch. Zeszyty Naukowo-Techniczne AGH-KTL , Zeszyt 37, Kraków 2006, s 27-31
- [4] Oleksy W., Rokita T.: Analysis of operation of carrying-hauling ropes of monocable aerial ropeways in Poland Applied Mechanics and Materials ; vol. 683 Switzerland 2014, s. 9–14.
- [5] Olszyna G., Tytko A.: Ocena stanu lin stalowych przy braku istotnych symptomów zużycia. W: Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie. CBiDGP, Łędziny, 2012.
- [6] Olszyna G., Tytko A., Sioma A.: Assessment of the condition of hoisting ropes by measuring their geometric parameters in a three-dimensional image of their surface. Archives of Mining Sciences, vol. 58 no. 3, 2013.
- [7] Olszyna G.: Opracowanie metodyki oceny stanu technicznego lin kolei linowych o długim okresie eksploatacji. Praca doktorska. Kraków 2014
- [8] Piskoty G., Zraggen M., Weisse B., Affolter Ch., Terrasi G.: Structural failures of rope-based systems. Engineering Failure Analysis 16 (2009)
- [9] Schmidt K.: Die sekundäre Zugbeanspruchung der Drahtseile aus der Biegung. Diss. TH Karlsruhe 1964
- [10] Tytko A., Lankosz L., Kwaśniewski J.: Nowe środki do oceny stanu technicznego lin stalowych” Zeszyty Naukowo-Techniczne AGH-KTL , Zeszyt 12, Kraków 1998, s 84-94
- [11] Tytko A.: Eksploatacja lin stalowych. Wydawnictwo „Śląsk” Katowice – Warszawa 2003
- [12] Tytko A.: Modelowanie zużycia zmęczeniowego i diagnostyka lin stalowych. Rozprawy i Monografie zeszyt nr 65 Wydawnictwa AGH Kraków 1998
- [13] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Dz.U. Nr 139, poz. 1169 (wraz z późniejszymi zmianami).
- [14] PN-EN 12927-6:2006 Wymagania bezpieczeństwa dla osobowych kolei linowych - Liny - Część 6: Kryteria odkładania
- [15] PN-EN 12927-7:2006 Wymagania bezpieczeństwa dla osobowych kolei linowych - Liny - Część 7: Kontrola, naprawa i konserwacja
- [16] PN-EN 12927-8:2006 Wymagania bezpieczeństwa dla osobowych kolei linowych - Liny - Część 8: Badania magnetyczne lin (MRT)
- [17] ÖNORM M 9500:1980: Stahldrahtseile; allgemeine Bestimmungen

REKLAMA

## TOROMIERZ INERCYJNY iTEC Dokładny pomiar strzałek



[www.graw.com](http://www.graw.com)