

Paweł Mazurek*, Maciej Roskosz, Jerzy Kwaśniewski
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Diagnostyka lin nośnych dźwigu osobowego na podstawie obserwacji zmian magnetycznego pola rozproszenia

Diagnostics of traction ropes of a passenger lift based on observation of the magnetic leakage field

ABSTRACT

Steel wire ropes are important load-bearing elements of lifting equipment. Their technical condition has a decisive impact on continuous trouble-free operation, and above all on the safety of people using these devices. A very important issue is the methods of testing and assessing the safety status of working steel wire ropes. The article presents new possibilities of using in the diagnostics of lifting ropes of passenger lifts, magnetometric sensors built on the basis of amorphous materials, without the use of an external magnetic field. The general physical basis of the method using the phenomenon of magnetic flux dispersion in areas of material with different magnetic permeability was explained.

Keywords: non-destructive testing; passive magnetic diagnostics; passenger lift; traction rope

STRESZCZENIE

Liny stalowe są istotnymi elementami nośnymi urządzeń dźwigowych. Ich stan techniczny ma decydujący wpływ na ciągłą bezawaryjną pracę, a przede wszystkim na bezpieczeństwo ludzi korzystających z tych urządzeń. Bardzo ważnym zagadnieniem są metody badań i oceny stanu bezpieczeństwa pracujących lin stalowych. W artykule przedstawiono nowe możliwości wykorzystania w diagnostyce lin nośnych dźwigów osobowych, czujników magnetometrycznych zbudowanych na bazie materiałów amorficznych, bez zastosowania zewnętrznego pola magnetycznego. Wyjaśnione zostały ogólne podstawy fizyczne metody wykorzystującej zjawisko rozproszenia strumienia magnetycznego na obszarach materiału o odmiennej przenikalności magnetycznej.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące; pasywna diagnostyka magnetyczna; dźwиг osobowy; lina nośna

1. Wprowadzenie

Stały rozwój metod i środków diagnostyki technicznej jest niezbędny dla zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa eksploatacji maszyn, urządzeń i obiektów technicznych. Poznawanie charakteru procesów zużycia i szybkości przyrostu uszkodzeń danego elementu systemu pozwala prognozować czas oraz możliwości dalszej bezpiecznej eksploatacji danego urządzenia i jego elementów, a także przewidywać przybliżony termin ich wymiany [1,2,3].

Jednym z najistotniejszych elementów każdego dźwigu, poza elementami bezpieczeństwa, jest lina nośna [4]. Czynnikiem decydującym o dalszej eksploatacji lub wymianie lin nośnych w urządzeniach transportu linowego jest przede wszystkim liczba pękniętych drutów, którą określa się na podstawie oględzin wizualnych. Największą wadą takiego postępowania jest możliwość oceny jedynie warstwy zewnętrznej liny – bez informacji o stanie drutów wewnątrz liny. O konieczności wymiany świadczy także zmniejszenie średnicy liny (wywołane np. zniszczeniem rdzenia), zmniejszenie sprężystości liny, korozja czy rozluźnienie splotek i drutów bądź też deformacje liny – trwałe spłaszczenia lub zgrubienia [5].

2. Stan wiedzy o kontroli lin nośnych dźwigów

W przypadku lin nośnych dźwigów osobowych kryteria odkładnia zgodne ze standardami lin stalowych dla dźwigów

opisane są w normach [5,6,7] (tab. 1). Kryteria te bazują jedynie na obserwacji zewnętrznych splotek. Przeprowadzane kontrole wizualne często są nieobiektywne i nie odzwierciedlają rzeczywistej kondycji liny. Problem kontroli wizualnej pojawia się także w przypadku lin w otulinie z tworzywa sztucznego, m.in.: PCV, poliamidu (PA-6), polietylenu – w takim przypadku liny podlegają wymianie po określonej przez producenta liczbie jazd dźwigu.

Opracowana do tej pory koncepcja pomiarów lin nośnych z wykorzystaniem głowicy magnetycznej [9] okazuje się kłopotliwa w starciu z gwałtownie rosnącą liczbą urządzeń podlegających kontroli [3]. Metoda ta, w branży diagnostycznej opisywana jako aktywna, wymaga dodatkowego namagnesowania badanego obiektu, co wiąże się z koniecznością zamocowania w szybie dźwigowym odpowiedniej aparatury (rys. 1). W wielu przypadkach okazuje się to bardzo trudne bądź wręcz niemożliwe.

3. Wykorzystanie własnego magnetycznego pola rozproszenia do oceny stanu technicznego liny

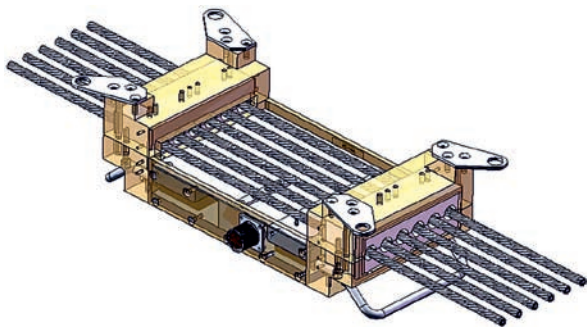
Remanencja metalu pojawia się w linie już na etapie wytwarzania drutów, a jej wartość zmienia się w trakcie ich rozciągania i przeginanania. Wartość tej remanencji zmienia się wskutek wykonywanej przez linę pracy, tj. jej przeginanania, rozciągania bądź skręcania [10,11]. Również występujące w linie uszkodzenia mają wpływ na wartość indukowanego pola magnetycznego. Pod wpływem cyklicznie zmiennych

*Autor korespondencyjny. E-mail: pmazurek@agh.edu.pl

Tab. 1. Kryteria odkładnia zgodne ze standardami lin stalowych dla dźwigów EN 12385 - 5 i ISO 4344, rozszerzone w oparciu o DIN 15020 [8].

Tab. 1. Elevator ropes discard criteria according to EN 12385 - 5 and ISO 4344, extended based on DIN 15020 [8].

L.p.	Kryteria	Do wymiany lub ponownego badania w wyznaczonym czasie zalecanym przez inspektora			Do natychmiastowej wymiany		
		Lina konstrukcji 6x19	Lina konstrukcji 8x19	Lina konstrukcji 9x19	Lina konstrukcji 6x19	Lina konstrukcji 8x19	Lina konstrukcji 9x19
1.	Średnia liczba pękniętych drutów na zewnętrznych splotkach	Ponad 12 na długości pomiarowej	Ponad 15 na długości pomiarowej	Ponad 17 na długości pomiarowej	Ponad 24 na długości pomiarowej	Ponad 30 na długości pomiarowej	Ponad 34 na długości pomiarowej
2.	Liczba drutów pękniętych w jednej lub dwóch splotkach	Ponad 6 na długości pomiarowej	Ponad 8 na długości pomiarowej	Ponad 9 na długości pomiarowej	Ponad 8 na długości pomiarowej	Ponad 10 na długości pomiarowej	Ponad 11 na długości pomiarowej
3.	Liczba sąsiadujących pękniętych drutów w jednej splotce	5	5	6	Ponad 5	Ponad 5	Ponad 6
4.	Przerwa w drutach	1 na długości pomiarowej	1 na długości pomiarowej	1 na długości pomiarowej	Ponad 1 na długości pomiarowej	Ponad 1 na długości pomiarowej	Ponad 1 na długości pomiarowej



Rys. 1. Model 3D głowicy magnetycznej do badania lin dźwigowych [3].

Fig. 1. 3D model of magnetic head for examination of lift ropes [3].

obciążeń roboczych, wskutek działania efektów magnetomechanicznych, zarówno w drutach, jak i w całej linii następują zmiany właściwości elektromagnetycznych [12].

Wykorzystanie własnego magnetycznego pola rozproszenia do pomiarów ciągliwości lin nośnych dźwigów umożliwiają dwa czynniki: istnienie naturalnego pola magnetycznego Ziemi oraz fakt, że materiały, z których są wykonane elementy krytyczne obiektów technicznych to w dużej mierze materiały ferromagnetyczne. Przykładem metody reprezentującej dziedzinę pasywnej diagnostyki magnetycznej jest metoda Magnetycznej Pamięci Metalu (MPM) [13,14,15].

Podstawą działania metody MPM jest wykorzystanie magnetyzmu ziemskiego. Metoda MPM bazuje na trzech zjawiskach fizycznych:

- odwrotny efekt magnetostrykcyjny (efekt Villariego), czyli zmiana magnesowania materiału pod wpływem naprężenia mechanicznego;
- odwrotny efekt magnetoelastyczny, czyli zmiana namagnesowania materiału występująca w strefach odkształceń plastycznych i wywołana deformacją materiału;
- efekt przecieku strumienia wektora natężenia pola magnetycznego spowodowany przez mechaniczne i strukturalne niejednorodności materiału [16].

Istotą metody MPM jest pomiar i interpretacja lokalnego zaburzenia pola magnetycznego spowodowanego występowaniem miejsc koncentracji naprężenia w materiale, miejscowym odkształceniem plastycznym materiału lub obecnością nieciągłości materiałowych, zarówno mechanicznych (pęknięcia, rozwarstwienia), jak i strukturalnych (wtrącenia innego materiału). Mierzoną wartością jest wartość wybranej składowej natężenia pola magnetycznego zmierzona w pobliżu diagnozowanego obiektu [17].

4. Pomiar indukcji magnetycznej liny nośnej dźwigu osobowego

4.1 Szczegóły badań

Badania zostały przeprowadzone na jednej z lin nośnych (rys. 2) dźwigu osobowego zainstalowanego w budynku B4 Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Jego schemat olinowania pokazano na rys. 3. Układ napędowy kabiny składa się z 5 lin o średnicy $\varnothing 6,5\text{mm}$ i konstrukcji 8x19W + IWRC (lina 8-splotkowa, po 19 drutów w każdej splotce, konstrukcji Warrington, z rdzeniem w postaci niezależnej liny stalowej)[18]. Pomiar przeprowadzono z wykorzystaniem czujnika magnetometrycznego SpinMeter-3D oraz oprogramowania Micro Magnetics (rys. 4, 5). Czujnik pomiarowy umieszczono na najwyższej kondygnacji dźwigu osobowego. Został on przymocowany do konstrukcji stalowej aluminiowym uchwytem tak, by przemieszczające się kabina oraz przeciwwaga nie zaburzały pomiaru (rys. 6). Czujnik skalibrowano, przyjmując warunki magnetyczne panujące w miejscu zamocowania czujnika (lina jednostronnie lub dwustronnie przeginana) jako warunki odniesienia.

4.2 Wyniki pomiarów i ich analiza

Dla pierwszej serii pomiarów czujnik skalibrowano na fragmencie liny jednostronnie przeginanej. W miarę opuszczania kabiny ruchem jednostajnym prostoliniowym z prędkością ok. 0,15m/s, rejestrowano wartości indukcji magnetycznej przemieszczającej się liny. Wyniki uzyskane z pomiaru w trzech prostopadłych osiach przedstawiono na rys. 7.

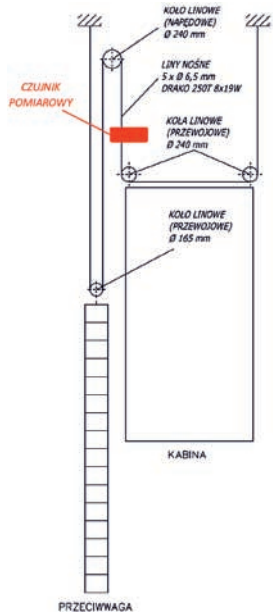


Rys. 2. Obiekt pomiarowy – liny nośne dźwigu osobowego.
Fig. 2. Measuring object – traction ropes of passenger lift.

Na wykresie (rys. 7) zauważalne są dwie zmiany – krótko po rozpoczęciu pomiaru oraz w jego trakcie. Po analizie otrzymanych wyników, postawiono hipotezę, iż pierwsza



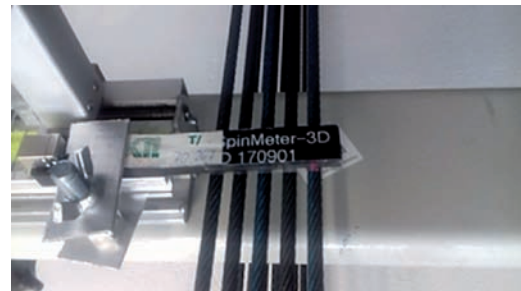
Rys. 4. Czujnik pomiarowy SpinMeter-3D [19].
Fig. 4. SpinMeter-3D Probe [19].



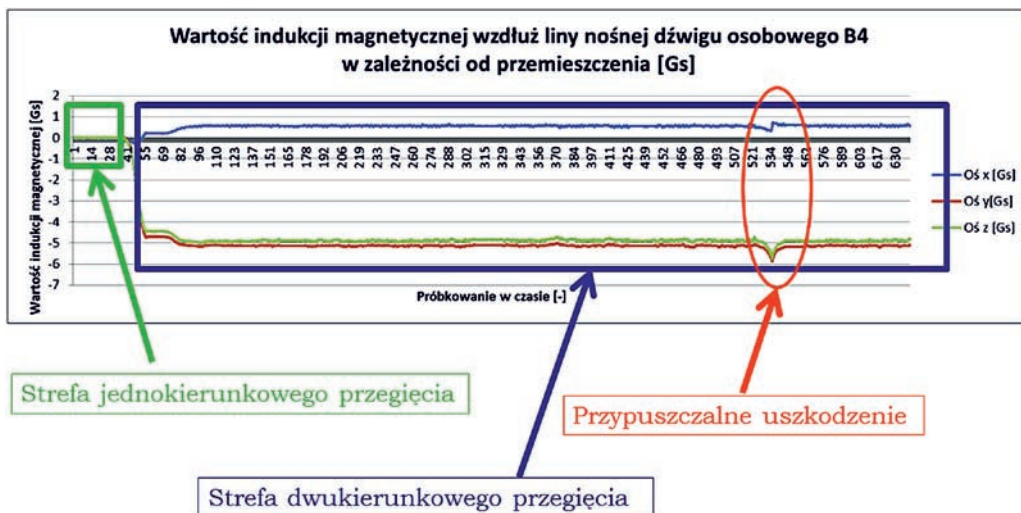
Rys. 3. Schemat olinowania dźwigu osobowego – układ pośredni 2:1.
Fig. 3. The rigging diagram of a passenger lift – suspension 2:1.



Rys. 5. Układ osi pomiarowych [19].
Fig. 5. The system of measuring axes [19].

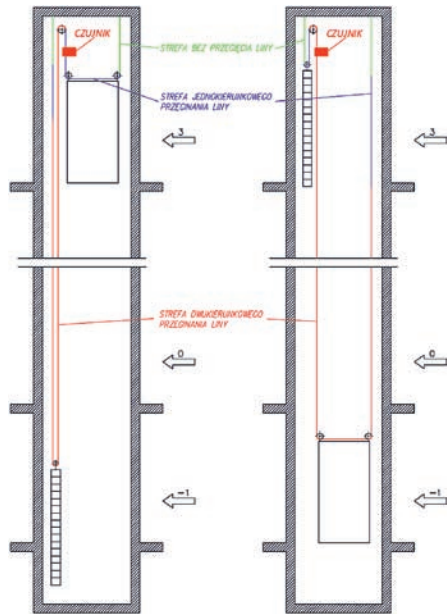


Rys. 6. Badana lina nośna – pierwsza z lewej.
Fig. 6. Inspected traction rope – first from the left side.

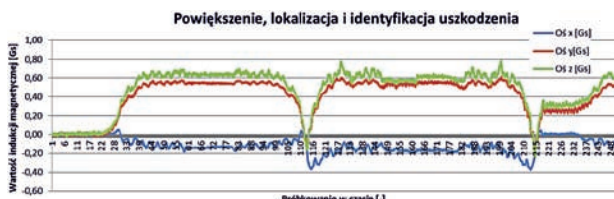


Rys. 7. Wartość indukcji magnetycznej wzdłuż liny w zależności od przemieszczenia kabiny z zaznaczonymi strefami przegięć.
Fig. 7. The value of magnetic induction along the rope depending on the displacement of the car with marking of bending zones.

zmiana wyniku z odmiennego charakteru pracy liny – tzn. punktem wyjściowym pomiarów jest miejsce, w którym lina może być przeginana tylko jednokierunkowo, natomiast po przewinięciu przez wciągarkę jest to już przeginanie dwukierunkowe (rys. 8). Druga zmiana – lokalna anomalia magnetyczna – najprawdopodobniej wynika z istniejącego uszkodzenia liny. Z powodu ciągłej eksploatacji dźwigu osobowego w chwili przeprowadzenia pomiarów nie było możliwości sprawdzenia czy uszkodzenie rzeczywiście występuje – oględziny wizualne tego nie wskazywały.



Rys. 8. Skrajne położenie kabiny dźwigu – strefy przecięć.
Fig. 8. Extreme position of the car – the bending zones.



Rys. 9. Weryfikacja prawdopodobnego uszkodzenia liny.
Fig. 9. Verification of the probable traction rope damage.



Rys. 10. Pomiar liny na odcinku bez uszkodzenia.
Fig. 10. Measurement of the rope on the section without damage.

W drugiej serii pomiarów jako punkt odniesienia (punkt kalibracji czujnika) wybrany został fragment liny ze strefy dwukierunkowego przecięcia. Celem pomiarów było sprawdzenie, czy wykryta anomalia magnetyczna pojawi się dla innych warunków odniesienia. Pomiar polegał na dwukrotnym przejeździe liny z wykrytą anomalią magnetyczną wokół czujnika (rys. 9). Dla porównania zmierzony został

także inny odcinek, na którym nie wykryto anomalii (rys. 10). Jak widać obszar występowania anomalii wyraźnie wyróżnia się na tle pozostałej długości liny.

5. Podsumowanie

Pasywna metoda magnetyczna, polegająca na wykrywaniu wpływu zmian remanencji magnetycznej badanego obiektu na jego pole rozproszenia, umożliwia wskazanie miejsc czy obszarów niebezpiecznych, pęknięć czy innych defektów lin stalowych. Analiza wyników badań polega na analizie składowych normalnej i stycznej rozproszonego pola magnetycznego wzdłuż drogi pomiarowej. Metoda może być przydatna do analizy jakości nowych części ferromagnetycznych, jak również eksploatowanych, z różną historią i stanem wyłączenia.

6. Literatura

- [1] J. Hankus, "Nowa metoda badań diagnostycznych lin stalowych z wykorzystaniem magnetycznej pamięci metalu." *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko/Główny Instytut Górnictwa* 2: 107-131, 2006
- [2] J. Hankus, "Zintegrowane metody badań i oceny stanu bezpieczeństwa lin stalowych." *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko/Główny Instytut Górnictwa* 43-58, 2002
- [3] J. Kwaśniewski, S. Molski, T. Krakowski, H. Ruta, „Diagnostyka lin w powłokach z tworzyw sztucznych używanych w urządzeniach dźwigowych” *The International Journal of TRANSPORT & LOGISTICS*, 2012
- [4] J. Kwaśniewski, "Dźwigi osobowe i towarowe. Budowa i eksploatacja", AGH, Kraków, 2004
- [5] PN-EN 12385-5:2004/AC Liny Stalowe. Bezpieczeństwo. Część 5: Liny spłotkowe dla dźwigów
- [6] ISO 4344 Steel wire ropes for lifts -Minimum requirements
- [7] DIN 15020 Lifting Appliances; Principles Relating to Rope Drives; Calculation and Construction
- [8] PFEIFER-DRAKO Elevators Products Brochure – katalog lin
- [9] J. Kwaśniewski, „Badania magnetyczne lin stalowych. Certyfikacja personelu w metodzie MTR”, Wydawnictwo AGH, Kraków, 2010
- [10] M. Giglio, A. Manes, "Life prediction of a wire rope subjected to axial and bending loads", *Engineering failure analysis* 12.4: 549-568, 2005
- [11] T. Haniszewski, D. Gąska, J. Margielewicz, „Identyfikacja właściwości mechanicznych liny stalowej z rdzeniem włókiennym”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Series: Transport*, vol. 85, 2014
- [12] M. Roskosz, Wykorzystanie własnego magnetycznego pola rozproszenia w diagnostyce elementów ferromagnetycznych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2014
- [13] J. Kwaśniewski, M. Roskosz, J. Juraszek, K. Schabowicz, P. Mazurek, „Analiza możliwości identyfikacji stanu wyłączenia lin stalowych na podstawie pomiarów właściwości magnetycznych”, *Przegląd Spawalnictwa-Welding Technology Review*, 89(11), 2017
- [14] J. Kwaśniewski, M. Roskosz, M. Witoś, S. Molski, „Applications of Magnetometric Sensors Based on Amorphous Materials in Diagnostics of Wire Ropes”, *Archives of Mining Sciences*, 63(1), 221-227, 2018
- [15] Z. Łapiński, "Wykrywanie wad materiałowych Metodą Pamięci Magnetycznej Metalu", *Problemy Techniki Uzbrojenia*, 37, 2008
- [16] J. Dybała, K. Nadulicz, „Zastosowanie metody magnetycznej pamięci metalu w diagnostyce obiektów technicznych”, *Biuletyn Naukowy Problemy Techniki Uzbrojenia*, z. 133, nr 1/2015, s. 63-80.
- [17] M. Roskosz, "Kryteria oceny w metodzie magnetycznej pamięci metalu." *Przegląd Spawalnictwa-Welding Technology Review*, 84.13, 2012
- [18] Dokumentacja techniczna dźwigu osobowego zainstalowanego w AGH, w budynku B4. Krakdzwig Sp. z o.o.
- [19] SpinMeter-3D USB 3 Axis Magnetometer – instrukcja obsługi