



INTELLIGENT DIAGNOSTIC SYSTEM OF FLEXIBLE POLYURETHANE - COATED STEEL BELTS

Jerzy Kwaśniewski¹, Tomasz Krakowski²

Key words: rope, steel belts, diagnostic, elevators

Abstract:

The study presents the problem of technical diagnostics of flexible polyurethane-coated steel belts, replacing the conventional traction steel ropes used in elevators more and more often. Due to its construction, this structure creates difficulties with appraisal of technical state. The main issue related to their safe operating is inspection of the condition of the steel cords housed in a polyurethane sheath. The paper presents diagnostic system consisting of magnetic head, recorder and software. The article discusses advisory expert system forming part of software to the analysis of results, supporting the use of knowledge and decision making about further exploitation of structure based on investigation results. The paper also emphasizes the need to determine the level of damage above which the belts are not suitable for continued safe operation and the correlation of results of magnetic inspection with endurance test.

W opracowaniu omówiono problem diagnostyki technicznej cięgien stalowo-poliuretanowych, które coraz częściej zastępują tradycyjne liny stalowe stosowane w urządzeniach dźwigowych. Ze względu na swoją budowę struktura ta stwarza znaczne trudności co do oceny jej stanu technicznego. Zasadniczą kwestią związaną z ich bezpieczną eksploatacją staje się więc ocena stanu technicznego linek stalowych zatopionych w poliuretanowej osnowie. Przedstawiono system diagnostyczny składający się z głowicy do badań magnetycznych, rejestratora oraz oprogramowania. Omówiono doradczy system ekspertowy, wchodzący w skład oprogramowania do analizy wyników, wspomagający korzystanie z wiedzy i podejmowanie decyzji o dalszej eksploatacji struktur na podstawie uzyskanych wyników badań. Zwrócono również uwagę na konieczność określenia poziomu uszkodzeń, po przekroczeniu którego pasy nie nadają się do dalszej bezpiecznej eksploatacji (tzw. kryteriów odkładania) oraz korelacji wyników badań magnetycznych z próbami zmęczeniowymi.

1. Wstęp

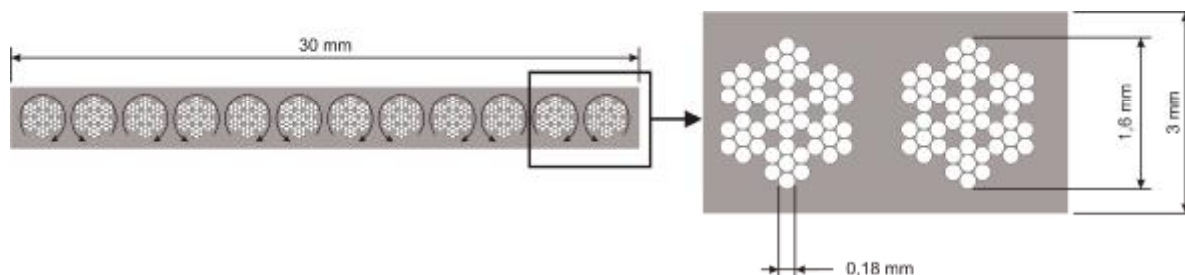
W 2000 roku pojawiły się pierwsze informacje o urządzeniu „nowej generacji” o nazwie "Gen2". To urządzenie w porównaniu z konwencjonalnymi dźwigami jest o około 30-40% bardziej efektywne energetycznie, ma w 70% zmniejszoną emisję akustyczną związaną z pracą napędu, jest bezpieczniejsze i bardziej niezawodne oraz gwarantuje spokojny ruch kabiny (drgania zostały zmniejszone o około 50%).

Podstawowym elementem tego typu dźwigu decydującym o jego nowoczesności są opatentowane ciągnia nośne, które zastąpiły dotychczas stosowane liny stalowe. Ciężno składa się z linek stalowych o średnicy 1,6 mm zatopionych w osnowie poliuretanowej. Linka zbudowana jest z 7 splotek złożonych z 7 drutów każda, co dla pasa o szerokości 30 mm i 12 linkach daje 588 drutów o średnicy 0,18 mm (Rys. 1). Nieodkretność konstrukcji uzyskana została dzięki naprzemiennemu

¹ **dr hab. inż. Jerzy Kwaśniewski prof.AGH**, University of Science and Technology, Department of Rope Transport, al. Mickiewicza 30 paw. B-2, 30-059 Kraków, Poland, Tel.: +48 12 634 35 37, e-mail: kwasniew@imir.agh.edu.pl

² **mgr inż. Tomasz Krakowski**, University of Science and Technology, Department of Rope Transport, al. Mickiewicza 30 paw. B-2, 30-059 Kraków, Poland, Tel.: +48 12 634 35 37, e-mail: krakowsk@agh.edu.pl

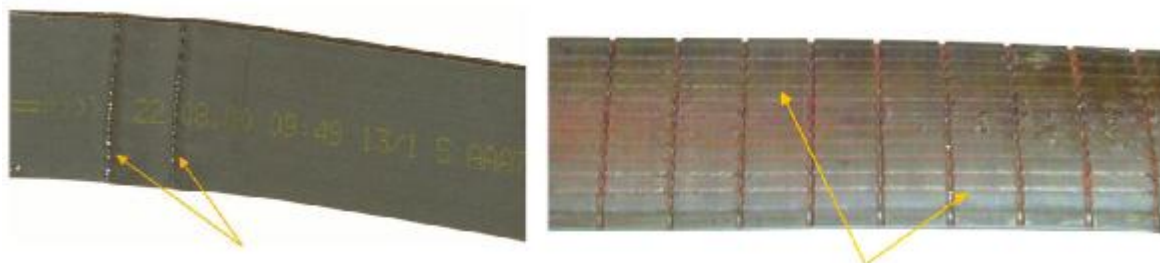
ustawieniu linek o prawym i lewym kierunku zwicia (momenty odkrętu redukują się). Cięgna mają taką samą wytrzymałość jak tradycyjne liny stalowe (np. dla cięgna o szerokości 30 mm do 36 kN) ale są przy tym bardziej elastyczne, dzięki czemu mogą współpracować z wałami napędowymi o średnicy 100 mm (80% mniej niż średnica kół napędowych w tradycyjnych urządzeniach dźwigowych). Dużą zaletą cięgien jest to, że mogą przepracować 3×10^6 cykli, mają 2-3 razy większą trwałość w stosunku do tradycyjnych lin stalowych, charakteryzują się małym wydłużeniem wynoszącym do 0,4 mm/m. Zastosowanie poliuretanowej osnowy eliminuje konieczność konserwacji cięgien oraz zwiększa tarcie między cięgnem a wałem pędym. Płaski kształt powoduje zwiększenie powierzchni styku, co również wpływa w istotny sposób na rozkład naprężeń [3], [4].



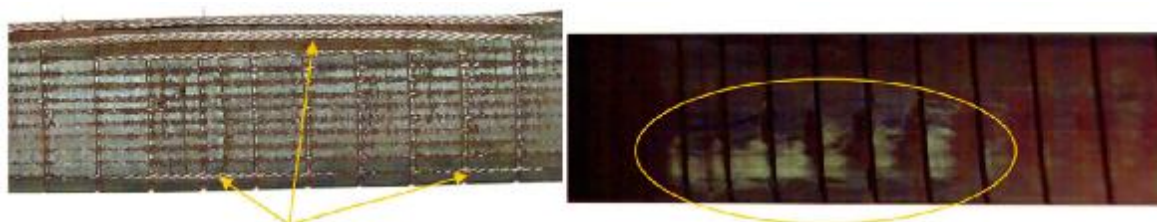
Rys. 1 Cięgno stalowo poliuretanowe – stosowane przez firmę Otis

2. Zastosowanie metody magnetycznej w badaniu cięgien stalowo-poliuretanowych

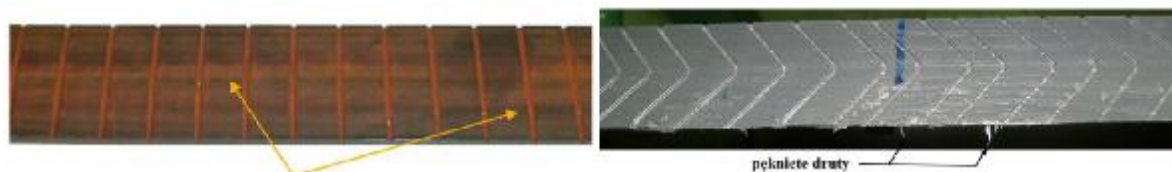
Obecnie coraz więcej producentów stosuje tego rodzaju strukturę jako element nośno-napędowy w dźwigach osobowych. Cięgna różnią się nieznacznie wymiarami geometrycznymi, średnicą linek oraz rodzajem tworzywa stosowanego jako ich osnowa. Przyczyną wymiany cięgien mogą być pęknięcia drutów oraz uszkodzenie powierzchni zewnętrznej cięgna (Rys. 2 - 4). Według instrukcji firmy Otis, dotyczącej badania pasów nośnych, po upływie 5 lat od dopuszczenia dźwigu do ruchu, muszą być one kontrolowane co najmniej raz w roku lub wymienione na nowe [3]. Wiele czynników, takich jak na przykład dbałość ze strony użytkownika, częste kontrole stanu technicznego przedłużają ten okres do kilkunastu lat. Nieprzestrzeganie podstawowych zasad związanych z eksploatacją może doprowadzić do znacznego skrócenia trwałości cięgna w wyniku powstałych uszkodzeń.



Rys. 2 Deformacja (wybrzuszenie) powłoki i odciski linek wzdłuż cięgna

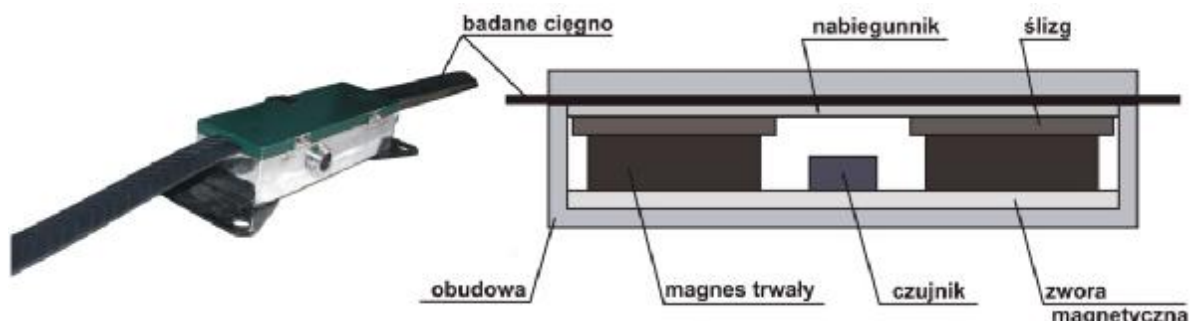


Rys. 3 Wyjście linek z powłoki i wypolerowana powłoka cięgna



Rys. 4 Objawy korozyjne i wystające druty

Stosowanie powłoki z tworzywa sztucznego powoduje utrudnienia w ocenie stanu technicznego linek stalowych. Częste wizualne kontrolowanie cięgien jest niepraktyczne i wiele uszkodzeń jest trudne a czasami nawet niemożliwe do wykrycia metodą wizualną. Dlatego też konieczne stało się zastosowanie metody magnetycznej do kontrolowania i diagnozowania zjawisk zachodzących wewnątrz struktury. Badania przeprowadzone w Laboratorium AGH-KTL udowodniły, że możliwe jest zastosowanie defektoskopii magnetycznej do badania tego rodzaju cięgien. W wyniku prac projektowych oraz analiz rozkładu pola magnetycznego z wykorzystaniem MES powstał pierwszy egzemplarz głowicy GPGen [2] (Rys. 5).



Rys. 5 Głowica GPGen

Badania cięgien z wykorzystaniem tejże głowicy, wykonane w warunkach laboratoryjnych, na cięgnie o szerokości 30 mm z zamodelowanymi uszkodzeniami, wykazały czułość aparatury na poziomie 0,85% ubytku całego przekroju metalicznego cięgna. Taka czułość oznacza, że możliwe jest wykrycie pęknięcia 5 z 588 drutów w jednym przekroju (Rys. 3). Czułość na tym poziomie ubytku przekroju jest zadowalająca.



Rys. 6 Przekrój pasa z pięcioma pękniętymi drutami
(Pęknięcie 5 drutów o średnicy 0,18 mm (0,85 % przekroju metalicznego)-sygnał ok. 15 mV)

3. System diagnostyczny cięgien stalowo – poliuretanowego

Zastosowanie defektografu w procesie diagnostycznym cięgien stalowo-poliuretanowych wymaga zastosowania długiej i pracochłonnej procedury obliczeniowej. Dlatego też w celu uzyskania szybkiej oceny stanu technicznego cięgien opracowano system ich diagnozowania. Zestaw pomiarowy pojedynczego cięgna stalowo-poliuretanowego składa się z głowicy magnetycznej GPfb1 oraz modułu diagnostycznego PDC1 (Rys. 7), który wraz ze specjalistycznym oprogramowaniem pozwala na szybką ocenę stanu zużycia cięgna. Wykorzystane w tym systemie oprogramowanie pozwala rozwiązywać problemy nie poddające się algorytmizacji w sposób efektywny poprzez wykorzystanie standardowej defektoskopii.

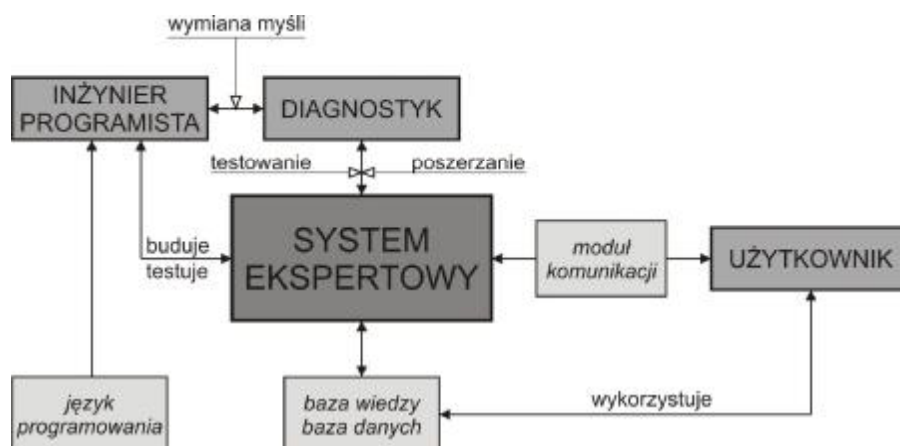
System diagnozowania stanu technicznego cięgien jest systemem doradczym, wspomagającym pracę eksperta w zakresie diagnostyki technicznej, dzięki czemu pozyskiwana jest jego większa efektywność pracy i zysk cennego czasu. System ekspertowy ma również możliwość działania w sytuacjach, gdy baza wiedzy nie jest kompletna lub jest niepewna.



Rys. 7 Głowica GPfb1 oraz moduł diagnostyki PDC1

W skład architektury ekspertowego systemu diagnostycznego cięgien wchodzi następujące elementy (Rys. 8):

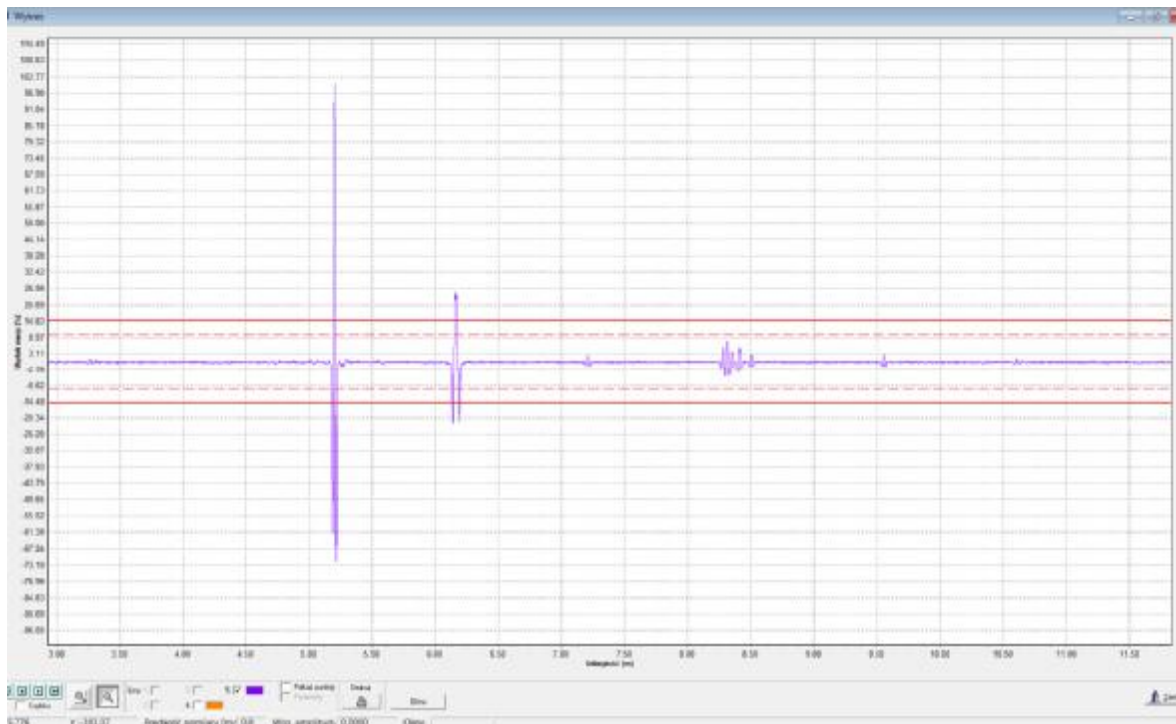
- baza wiedzy (o rejestrowanych sygnałach: amplituda, kształt, czas trwania, rozkład wzdłuż długości i szerokości cięgna)
- baza danych (zawiera fakty z dziedziny wiedzy zawartej w bazie wiedzy, prędkość cięgna, liczba cięgien, symptomy uszkodzeń np. liczba uszkodzeń, intensywność występowania uszkodzeń jednocześnie w poprzek cięgna)
- procedury wnioskowania – system wnioskujący o stanach awaryjnych (pęknięcie wzdłużne cięgna, pęknięcia linek w całym przekroju taśmy)
- moduł komunikacji z użytkownikiem - procedury sterowania dialogiem – procedury wejścia / wyjścia umożliwiają formułowanie zadań przez użytkownika i przekazywanie rozwiązania przez program;(regulowany poziom rejestracji sygnałów, regulowana strefa wpływu)
- procedury umożliwiające rozszerzenie oraz modyfikację wiedzy – pozyskiwanie wiedzy.



Rys. 8 Struktura systemu ekspertowego

Jednostką umożliwiającą wymianę informacji między człowiekiem a maszyną jest interfejs, którego forma ma duży wpływ na jakość udzielanych ekspertyz gdyż łatwość obsługi i umiejętność porozumienia z użytkownikiem stanowią klucz do rozwiązania problemów. Moduł PDC1 współpracuje z programem PDC-01, który służy do wizualizacji, archiwizacji i raportowania danych odczytanych z modułu. Umożliwia on pobranie danych z rejestratora dla dowolnego cięgna lub wszystkich na raz (typ cięgna podawany jest w momencie odczytu danych), zapisanie tych danych na dysk oraz wizualizację pomiarów na wykresie. Na Rys. 5 przedstawiono widok strony głównej oprogramowania gdzie istnieje możliwość przeglądania oraz generowania wykresu. Istnieje również możliwość wglądu w dane liczbowe dla każdego cięgna. Dane z pomiarów poszczególnych cięgien wizualizowane są na

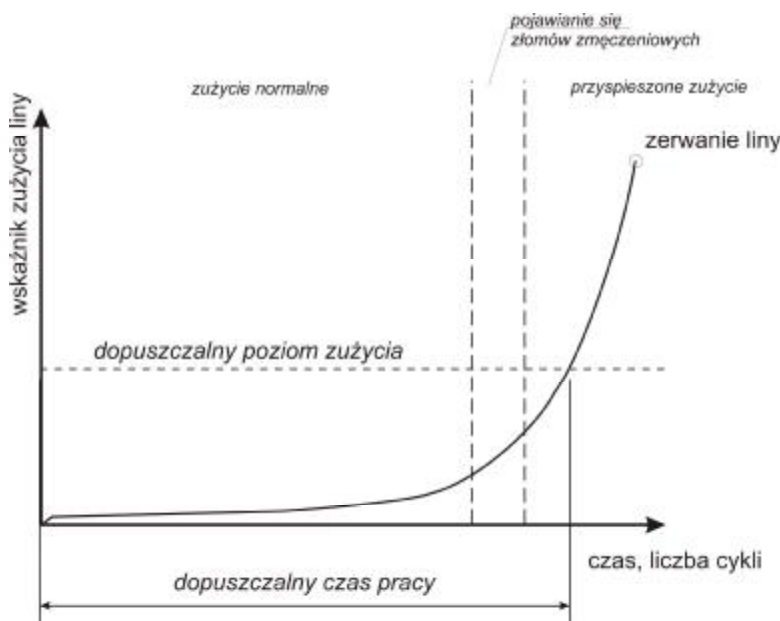
jednym wykresie, na którym widoczny jest także graniczny ubytek przekroju metalicznego. Po przeprowadzeniu analizy zapisu pomiaru generowany jest raport zawierający informacje o występowaniu uszkodzeń, które przekraczają dopuszczalny poziom zużycia z podaniem ich położenia jak również wizualizacja danych pomiarowych cięgien wraz z datą pomiaru, prędkością ciągną i nazwiskiem operatora. Zaproponowany system ekspertowy dając pełną i kompetentną analizę stanów awaryjnych i ułatwiając człowiekowi podejmowanie decyzji w sytuacjach zagrożenia, dorównuje lub nawet przewyższa pracę człowieka.



Rys. 9 Widok strony głównej oprogramowania do analizy stanu cięgien stalowo-poliuretanowych

4. Możliwości prognozowania zużycia cięgna stalowo - poliuretanowego

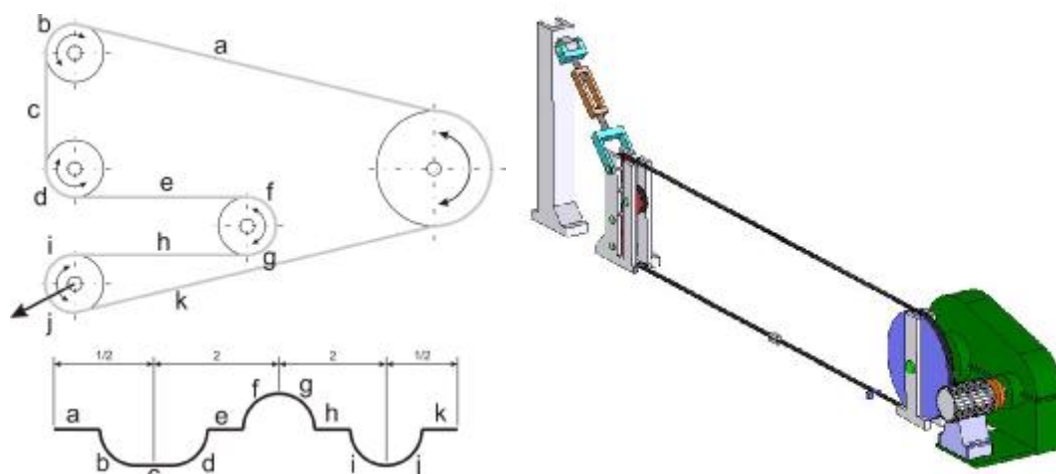
Pasy stalowo-poliuretanowe podobnie jak liny stalowe należą do obiektów charakteryzujących się ograniczoną trwałością a ich proces zużyciowy jest nieodwracalny. Bezpieczna eksploatacja możliwa jest do chwili osiągnięcia określonego poziomu zużycia (umownej wartości dopuszczalnej), po przekroczeniu którego cięgno staje się niezdadne do dalszej eksploatacji i musi zostać wymienione na nowe (Rys. 10).



Rys. 10 Krzywa życia liny stalowej [1]

Stan niezdatności zostaje osiągnięty w wyniku kumulacji różnego rodzaju uszkodzeń, które według przyjętych kryteriów przekraczają wartość graniczną. Kryteria odkładania mogą bazować na ubytku przekroju metalicznego, dopuszczalnej liczby złomów drutów, zmianie wymiarów badanego obiektu, stopnia deformacji oraz zużycia tworzywa będącego integralną częścią struktury mechanicznej. W większości przypadków lin stalowych kryteria odkładania określone są jako dopuszczalna liczba pękniętych drutów lub dopuszczalny ubytek przekroju metalicznego. Występujące uszkodzenia sumują się na długości kilku lub kilkudziesięciu wielokrotności średnic liny. Określenie wymiarów cięgna, deformacji oraz zużycia tworzywa możliwe jest poprzez kontrolę wizualną. Wyznaczenie ubytku przekroju metalicznego oraz liczby pękniętych drutów umożliwia stosowanie metody magnetycznej i omawianej głowicy. Wartości liczbowe kryteriów odkładania ustalone są w przepisach prowadzenia ruchu i normach właściwych dla danego urządzenia transportu linowego. Dla lin stalowych stosowanych w dźwigach osobowych wartości liczbowe kryteriów odkładania nie są określone. Liny tam pracujące poddawane są jedynie kontroli wzrokowej realizowanej przez konserwatorów i pracowników dozoru technicznego [1].

W przypadku cięgien stalowo poliuretanowych oględziny wzrokowe nie dają informacji o stanie linek stalowych, dlatego też konieczne jest wyznaczenie kryteriów odkładania dla tych obiektów. Ich określenie będzie możliwe dzięki przeprowadzeniu badania trwałości zmęczeniowej w zamodelowanych warunkach obciążeniowych. Badania te przeprowadzone zostaną na specjalnie do tego celu skonstruowanej maszynie zmęczeniowej (Rys. 11). W celu odzwierciedlenia rzeczywistych warunków pracy cięgna w układzie stanowiska przyjęto olinowanie identyczne jak w rzeczywistym obiekcie.



Rys. 11 Maszyna zmęczeniowa do badania cięgien stalowo poliuretanowej dźwigów Gen2

Wyznaczenie trwałości zmęczeniowej polegać będzie na określeniu tempa zużycia zmęczeniowego oraz wynikającego z niego osłabienia wytrzymałości cięgna w funkcji wykonanych cykli. Konieczne będzie określenie korelacji pomiędzy stopniem zużycia cięgna wyznaczonym na podstawie badań magnetycznych, a wynikami otrzymanymi z badań wytrzymałościowych. Badania pozwolą na wyznaczenie czasu bezpiecznej pracy cięgna w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Określenie aktualnego poziomu zużycia na podstawie złomów zmęczeniowych drutów będzie możliwe dzięki zastosowaniu na stanowisku głowicy GPGen. W wyznaczeniu kryteriów odkładania wykorzystane będą również wyniki badań przeprowadzonych na rzeczywistych obiektach z zastosowaniem metody magnetycznej i głowicy GPGen2.

Literatura:

- [1] Tytko A.: Eksploatacja lin stalowych, „Śląsk” sp. z o.o. Wydawnictwo Naukowe, Katowice 2003.
- [2] Kwaśniewski J., Krakowski T., Ruta H.: Wykorzystanie analiz MES w projektowaniu uniwersalnej głowicy pomiarowej cięgien linowych, Nieniszczące badania materiałów tekst wkładów i referatów przygotowanych na XV seminarium, Zakopane 10-13 marca 2009.
- [3] Materiały reklamowe firmy Otis.
- [4] Materiały reklamowe firmy ContiTech.

Recenzja/Review: Ing. Stanislav Kropuch, PhD.