

Jerzy KWAŚNIEWSKI¹

EKSPLOATACJA ŻURAWI BUDOWLANYCH – OCENA ZDARZEŃ TYPU KATASTROFICZNEGO

W artykule zawarto informacje o rezultatach badań liny nośnej żurawia budowlanego, która uległa zerwaniu w trakcie zdarzenia typu katastroficznego. Na podstawie badań magnetycznych, badań niszczących wybranych odcinków liny oraz badań metalograficznych w połączeniu z eksperymentem procesowym określono przyczyny zerwania się liny. Zmiana plastycznych liny, usytuowanie zbocza w trakcie zdarzenia, pamięć kształtu itp. pozwoliło na zrekonstruowanie zdarzenia.

1. WSTĘP

Artykuł kierowany jest do użytkowników żurawi budowlanych, wskazując na nieprawidłowości ich eksploatacji i konsekwencje z nich wynikające. Jednymi z popularniejszych żurawi jest seria EC-B- Flat-Top (rys. 1) obejmująca całą paletę modeli od 50 ton do 285 ton. Serię wieńczy model 285 EC-B 12 Litronic. W żurawiach EC-B kompaktowa głowica integruje mechanizm podnoszenia, mechanizm, obrotowy, centralny, układ przełączania i zestaw wieńców obrotowych.



Rys. 1. Widok żurawia serii EC-B [3]
Fig. 1. View crane EC-B [3]

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Transportu Linowego

W wyniku nieprawidłowej eksploatacji takiego żurawia doszło do śmiertelnego wypadku spowodowanego urwaniem liny nośnej. Specjaliści branży dźwignicowej na zlecenie prokuratury ustosunkowali się do:

- stanu urządzenia sterującego żurawia budowlanego i jego wpływu na przerwanie liny,
- oceny stanu technicznego liny i jego wpływu na jej zerwanie,
- sposobu eksploatacji żurawia (w szczególności liny),
- masy i rodzaju ładunku transportowanego w trakcie zdarzenia,
- sposobu usytuowania żurawia i miejsca stanowiska pracy sterującego w stosunku do ukształtowania istniejących elementów obiektu.

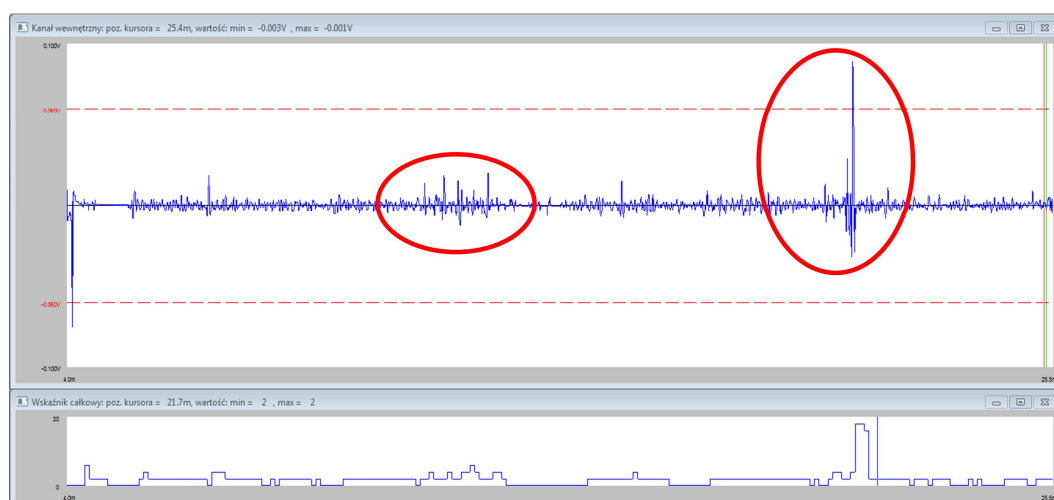
Ocena stanu technicznego liny nośnej została dokonana w oparciu o wyniki [1]:

- badań nieniszczących (magnetycznych i wizualnych) całej liny,
- badań niszczących wybranych odcinków lin,
- badań metalograficznych miejsca zerwania.

2. OCENA STANU TECHNICZNEGO LINY NOŚNEJ

2.1. BADANIA WIZUALNE I MAGNETYCZNE LINY

Badania magnetyczne przeprowadzono z zastosowaniem defektografu MD120 oraz głowicy pomiarowej GP3. Na 30m do miejsca zamocowania liny widoczne jest na defektografie zużycie w postaci pojedynczych jak i skupionych pęknięć drutów. W miejscu oznaczonym na rysunku 2 stwierdzono przekroczenie dopuszczalnego poziomu zużycia liny (miejsce położenia-oznaczenie **1** na rysunku 9).



Rys. 2. Defektogram z badania odcinka liny z oznaczonymi miejscami występowania skupionych uszkodzeń[2]
Fig. 2. Defectogram of a rope section with indicated regions of concentrated damages [2]

Na rysunku 3 przedstawiono wybrany odcinek liny z występującymi uszkodzeniami.



Rys. 3. Zdjęcie liny z uszkodzeniami
Fig. 3. Wire rope from damage

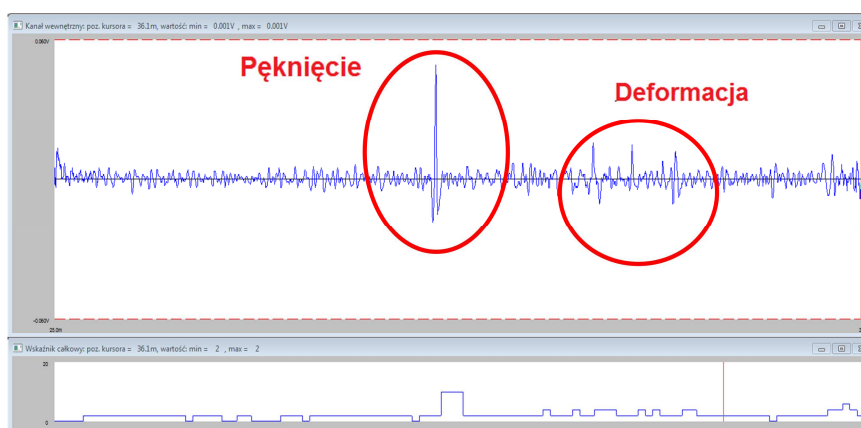
Na 42,30 metrze (rys. 2 po prawej stronie) od zamocowania występuje skupisko pojedynczych uszkodzeń oraz zerwana splotka. (17 metr od miejsca zerwania liny – oznaczenie 2 na rysunku 9).



Rys. 4. Zdjęcie skupiska uszkodzeń wraz z zerwaną splotką
Fig. 4. Concentration of rope damage: broken strand

Po charakterze odkształcenia pękniętych drutów (rys. 4) można wnioskować, że powstały one w skutek ocierania liny (prawdopodobnie o wystające elementy budynku). Zerwanie liny, które nastąpiło w trakcie jej przeciążenia nie mogło spowodować uszkodzenia o takim ułożeniu końców pękniętych drutów.

W odległości 52,80 metra od zakotwienia liny występuje deformacja splotek oraz pojedyncze pęknięcie drutu (7,20 metra od miejsca zerwania liny - oznaczenie 4 na rysunku nr 9), co zaznaczono na defektogramie przedstawionym na rysunku 5 oraz na zdjęciu-rysunek 6.



Rys. 5. Defektogram wybranego odcinka liny[2]
Fig. 5. Defectogram of a selected rope section [2]

W odległości 55-56 metra od zamocownia (4-5 metr od miejsca zerwania - oznaczenie **3** na rysunku 9) widoczne są wyraźne deformacje spletek spowodowanych kontaktem z konstrukcją budynku. Zauważalne są również starcia drutów warstwy zewnętrznej spletek (rys. 7). Na rysunku 9 przedstawiono usytuowanie istotnych uszkodzeń wzdłuż długości liny oraz na rysunku 8 położenie zblocza w momencie zerwania liny.



Rys. 6. Zdjęcie deformacji spletek i pojedynczego pęknięcia drutu
Fig. 6. Strand deformation and a single broken wire (photo)



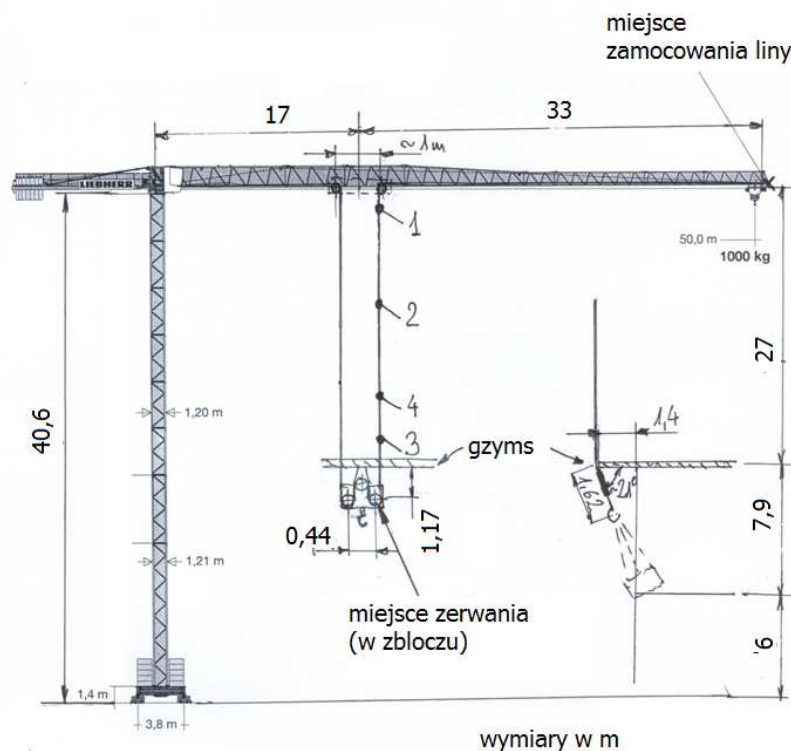
Rys. 7. Zdjęcie deformacji i starć spletek warstwy zewnętrznej
Fig. 7. Deformations and abrasions of strands in the outer layer



Rys. 8. Usytuowanie zblocza w momencie zerwania liny
Fig. 8. Pulley block position at the instant of rope failure

2.2. BADANIA NISZCZĄCE WYBRANYCH ODCINKÓW LIN

W trakcie badań niszczących określono sumaryczną i rzeczywistą siłę zrywającą linę, odnosząc się do parametrów określonych w stosownych wymaganiach [1]. Przy określaniu właściwości plastycznych drutów skorzystano z normy PN-68/M-80021 „*Drut stalowy dla liny*” przy założeniu, że lina wykonana jest w klasie jakości pierwszej oraz przy uwzględnieniu minimalnej liczby skręceń drutu.



Rys. 9. Schemat olinowania dźwigu z zaznaczonymi miejscami uszkodzeń
Fig. 9. Rope arrangement in the lift with indicated defects- schematic diagram

Oprócz określenia własności mechanicznych i technologicznych wybranego odcinka liny na podstawie wyników badań magnetycznych, wyznaczono wartości rzeczywistych sił zrywających (zerwanie wybranych odcinków lin w całości rys. 10 i rys.11).



Rys. 10. Widok wybranych odcinków lin do badań niszczących zalanych w stożki
Fig. 10. Rope sections selected for destructive testing, filled in tapered sections



Rys. 11. Widok próbki liny o największym zużyciu po zerwaniu
Fig. 11. Maximally worn rope sample after failure

Dokonano także oceny wizualnej kształtu zerwanego fragmentu liny. Ułożenie zerwanego wskutek zdarzenia fragmentu liny (promień przegięcia około 120mm, co odpowiada średnicy krążka w zbloczu) oraz ostre zagięcie końców zerwanych drutów (rysunek 12) wskazuje iż zerwanie liny nastąpiło najprawdopodobniej w miejscu wskazanym na rysunku 13 (dla zobrazowania sytuacji wrysowano w zblocze obwiednie kół przewojowych). Naruszenie właściwości plastycznych drutów liny nośnej i tzw. pamięć kształtu obciążonej w czasie eksploatacji liny, pozwoliło na wskazanie bezpośredniej przyczyny jej zerwania.

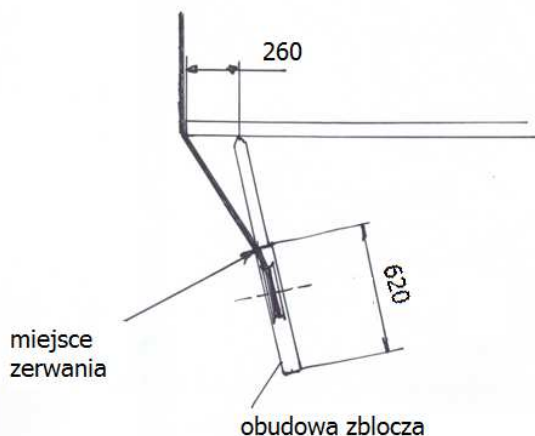


Rys. 12. Ukształtowanie spletek i drutów zerwanego odcinka liny
Fig. 12. Strands and wires in the broken rope section



Rys. 13. Widok zblocza dźwigu z zaznaczonym miejscem zerwania liny
Fig. 13. Pulley block with the indicated spot of rope failure

Przebieg liny na obudowie zblocza ułatwił jej zerwanie. Na rysunku nr 14 pokazano ułożenie liny w chwili zablokowania zblocza o wystający gzyms. Ponadto na gzymsie stwierdzono występowanie wyraźnego znaku od uderzenia zblocza.



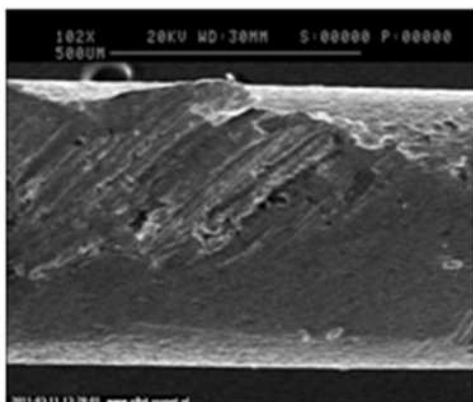
Rys. 14. Ukształtowanie liny w chwili zablokowania zblocza o wystający gzyms
Fig. 14. Rope position at the instant the pulley gets blocked by a protruding cornice

2.3. BADANIA METALOGRAFICZNE KOŃCÓW DRUTÓW Z MIEJSCA ZERWANIA

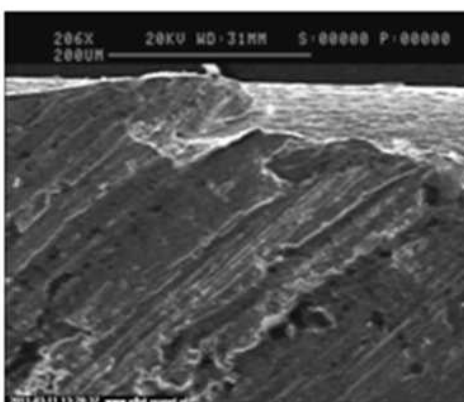
Badaniom metalograficznym poddano fragment liny obejmujący miejsce zerwania oraz bezpośrednie jego sąsiedztwo [1]. Wygląd splotek zewnętrznych liny przedstawia rysunku 15. Na drutach reprezentujących poszczególne splotki w miejscu zerwania, przeprowadzono następujące badania:

- obserwacje uszkodzeń powierzchniowych za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM),
- obserwacje charakteru przełomów - fraktograficzne (SEM),
- obserwacje mikrostruktury na zglądach metalograficznych (rys. 15).

a)



b)



Rys. 15. Morfologia uszkodzeń powierzchni drutów w splotkach zewnętrznych liny:

a, b – przykład otarcia mechanicznego na powierzchni drutu

Fig. 15. Morphology of wire damage in outer strands in a rope a, b- mechanical abrasion on the wire surface

W trakcie eksperymentu procesowego sprawdzono stan urządzenia sterującego żurawia budowlanego marki Liebherr. Sterowanie odbywało się drogą radiową przy pomocy pulpitu zdalnego sterowania. Sprawdzano poprawność działania mechanizmu obrotowego wysięgnika, mechanizmu jazdy wózka, mechanizmu podnoszenia oraz przełącznika blokującego (zatrzymanie awaryjne). Żuraw wyposażony był w zabezpieczenie przed przeciążeniem z zakresu obciążeń stałych. Wykonano próbę obciążenia dźwigu odpowiednią masą pozwalającą na uruchomienie ogranicznika siły w linie. Wszystkie próby wykazały pełną sprawność techniczną badanych elementów.

3. WNIOSKI

Przedstawione powyżej wybrane wyniki kompleksowych badań pozwoliły na precyzyjne określenie stanu technicznego liny nośnej żurawia w momencie zdarzenia i przyczyn nieszczęśliwego wypadku.

1. Badania mikrostruktury liny nie wykazały obecności wad dyskwalifikujących materiał użyty do wykonania liny. Mikrostrukturę drutów stanowi drobny perlit (troostyt) z włóknistością charakterystyczną dla procesu ciągnięcia. Przy powierzchni drutów nie stwierdzono odwęglenia. Nie zaobserwowano także wad w postaci rozwarstwień, mikropełnięć czy skupisk wtrąceń niemetalicznych.
2. Obserwacje mikroskopowe powierzchni drutów zewnętrznych, jak i rdzeniowych liny wykazały obecność licznych uszkodzeń mechanicznych charakterystycznych dla długotrwałej eksploatacji liny.
3. W miejscu zerwania liny stwierdzono występowanie licznych otarć i wgnieceń powierzchniowych, deformujących bardzo wyraźnie przekroje drutów zarówno w splotkach zewnętrznych, jak i rdzeniowych liny. Ich powstanie ułatwiło zerwanie się liny.
4. Zaobserwowane uszkodzenia świadczą również o istnieniu niezwykle dużych nacisków na powierzchnię liny, a także o tarcu liny o twardą powierzchnię krążków prowadzących lub innych przypadkowych znajdujących się w sąsiedztwie liny.
5. Stan techniczny urządzenia sterującego żurawia budowlanego był zadowalający, gwarantując poprawność działania urządzenia i nie mógł spowodować zdarzenia niezgodnego z zamierzeniem osoby sterującej, co w konsekwencji mogłoby doprowadzić do zerwania liny.
6. W trakcie kilkuletniej eksploatacji lina utraciła swoje właściwości plastyczne (wliczając jej czas pracy w poprzednim miejscu instalacji). Nieznane są warunki pracy liny w okresie przed jej zamontowaniem w Polsce. Utrata właściwości plastycznych z pewnością zmniejszyła wartość siły zrywającej linę podczas jej przegięcia na obudowie zbloca.
7. W trakcie eksploatacji po zainstalowaniu żurawia wystąpiły liczne uszkodzenia mechaniczne liny (starcia, zgniecenia, deformacje itp.), spowodowane niewłaściwą eksploatacją, co zostało potwierdzone badaniami metalograficznymi i badaniami nieniszczącymi (wizualnymi). Te zmiany eksploatacyjne również spowodowały zmniejszenie wartości siły zrywającej linę.

8. Wskutek zablokowania zblocza - wywołane działaniem sterującego dźwigiem - o wystający gzyms, przy równoczesnym przegięciu liny na obudowie zblocza, wystąpił wzrost wartości siły w linie. Świadczą o tym ślady na wystającym gzymsie oraz ukształtowanie liny po zaistniałym zdarzeniu (zerwaniu liny). Zablokowanie zblocza o gzyms spowodowało wystąpienie w linie siły powodujące jej zerwanie.
9. Wartość siły zrywającej linę była znacznie mniejsza niż wartość określona w wyniku badań laboratoryjnych (poniżej 36kN). Należy tutaj również uwzględnić fakt zmniejszenia jej właściwości plastycznych, przegięcie na obudowie zblocza oraz dynamikę wywołaną nagłym zablokowaniem samego zblocza. Wartość siły zrywającej linę mogła nie przekroczyć wartości, przy której powinno nastąpić zadziałanie ogranicznika siły zainstalowanego na żurawiu.

LITERATURA

- [1] KWAŚNIEWSKI J., MOLSKI, SZ. STĘPIŃSKI J., KUBAS B., 2011, *Ekspertyza techniczna: Opinia zespołu biegłych dotycząca niedopełnienia obowiązków dbałości o bezpieczeństwo i higienę pracy*, Kraków.
- [2] *Przeglądarka wyników pomiaru Browser 1.04* NDT-Zawada.
- [3] Strona internetowa <http://www.bkt.wroclaw.pl/>.

OPERATION AND MAINTENANCE OF CRANES - CATASTROPHIC ACCIDENTS

The paper summarizes the results of tests of a crane after an accident on a construction site. Testing is done by destructive, non-destructive and metallographic methods supported by simulations performed on a real object. The chief goal of the experts' team is to find the direct cause of the rope breaking and indicating the improper operation and maintenance elements. Reduction of plastic properties of wires in a hoisting rope and the shape memory behavior of the rope under the service load help to establish the direct cause of rope failure. The case study presented in the paper should be a warning to operators of cranes and other ropeway installations.