

## MONITOROWANIE WYDŁUŻENIA LINY STALOWEJ W DŹWIGU OSOBOWYM W STANIE RZECZYWISTYM

Paweł LONKWIC

Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji,  
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: [plonkwic@gmail.com](mailto:plonkwic@gmail.com)

### Streszczenie

Typowe układy dźwigowe oparte na zasadzie działania sprzężenia ciernego między kołem, a liną są narażone w warunkach ekstremalnych na nadmierne zużycia. Zużycie może się objawiać jako zmiana przekroju poprzecznego np.: rowków linowych w kole lub wydłużeniem lin nośnych, co pociąga za sobą zmianę przekroju poprzecznego liny. W związku z tym, przestoje związane ze skróceniem lin po nadmiernym wydłużeniu, powodują wzrost kosztów eksploatacji dźwigu. Dodatkowo, nie można przewidzieć w jakim czasie nastąpi wydłużenie lin do wartości krytycznej. Oznacza to skomplikowany charakter zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami pracy przy obecności wielu sprzężeń. Analiza opracowań o charakterze teoretycznym pozwala wnioskować, że rozwiązanie tego problemu można znaleźć stosując do monitorowania parametrów pracy systemu, oparte na czujnikach umieszczonych w szybie. System taki powinien zapewnić właściwe monitorowanie pracy układów transportowych oraz inteligentne sterowanie opierające się na analizie parametrów charakterystycznych dla danego obiektu, a mogących wpłynąć na wystąpienie stanów krytycznych.

Słowa kluczowe: dźwig osobowy, układy linowe monitorowanie.

### MONITORING OF EXTENSION ROPE IN A ELEVATOR IN REAL TIME

#### Summary

The typical lifts leaning on principle arrangements of working of coupling friction between wheel, and the rope be subject in extreme conditions on excessive wastes. Waste can manifest itself as change of section transverse e.g. rope grooves in wheel or extension catenary wire, which attracts behind the change of transverse section tenches. They in relationship from this the, connected from shortening the ropes after excessive extension standstills, cause the growth of working expenses. It additionally, it was not it been possible was to foresee in what time extension will happen tench to critical value. This marks the complicated character of dependence among individual parameters of work near of many couplings. The analysis of studies about theoretical character permits to infer it that solution of this problem was it been possible was to find applying to monitoring of parameters of work the systems, leaning on situated in shaft sensors. System such should to assure proper the monitoring the work of forwarding arrangements as well as the intelligent be basing on analysis of characteristic parameters for given object steering, and liable to influence on pronouncement the critical states.

Keywords: lift, monitoring, ropes systems.

### 1. WPROWADZENIE

Współczesne zagadnienia transportu towarów oraz ludzi dotyczą nie tylko właściwego dobrania środków transportu do stawianych wymagań, jak np. bezawaryjny, bezpieczny, szybki itp., ale także obejmują problematykę doboru odpowiednich elementów i układów ich monitoringu i sterowania pracą w czasie rzeczywistym. Zastosowanie takich układów powinno między innymi przyczyniać się do ograniczenia czynności obsługi, czy też stworzenia warunków do możliwie pełnej automatyzacji systemu transportu. Bardzo rzadko w takich przypadkach zwraca się również uwagę na potrzebę zmniejszenia awaryjności. Zwłaszcza poprzez monitorowanie na bieżąco w czasie

rzeczywistym takich parametrów pracy, które w istotny sposób mogą przyczynić się do wystąpienia stanów krytycznych. Podobnie jest również w przypadku diagnozowania stanu maszyn i urządzeń oraz podejmowania na tej podstawie decyzji sterujących w celu wyeliminowania wspomnianych sytuacji i stanów krytycznych lub przeciwdziałania ich skutkom. Wynika to z faktu, że zagadnienie takie jest z wielu względów bardzo trudne do praktycznej realizacji. W większości przypadków rejestrowane dane musiałyby być bowiem na bieżąco mierzone przez odpowiedni układ czujników oraz analizowane przez personel, mający umiejętność wyciągania właściwych wniosków z prowadzonych obserwacji i podejmowania decyzji o zmianie parametrów pracy zagrażających bezpiecznej i bezawaryjnej pracy

urządzenia. W wielu przypadkach występują istotne ograniczenia możliwości wykonania dostatecznie prostego układu monitorująco-sterującego bez udziału czynnika ludzkiego. Pojawiające się w ostatnich paru dziesięcioleciach modele systemów inteligentnych opierające się chociażby na sztucznych sieciach neuronowych, pozwalające między innymi na realizację tzw. sterowania predykcyjnego, czy też tzw. „myślenia maszynowego” mogą być również zastosowane w przypadku monitoringu i sterowania maszyn roboczych, w tym także przenośników taśmowych. Dlatego też dużym wyzwaniem naukowym oraz fascynującym zagadnieniem badawczym jest rozwiązanie jednego z problemów efektywnego monitoringu pracy typowych urządzeń transportu, jakimi są dźwigi osobowe lub towarowe poprzez zastosowanie odpowiedniego układu pomiarowego opierającego się na dobranym systemie, w celu przeciwdziałania stanom krytycznym mającym wpływ na wydłużenie liny.

Transport linowy ze względu na szereg zalet jest używany nie tylko do transportu ludzi, ale również do transportu towarów w różnych gałęziach przemysłu: przemysł maszynowy, wydobywczy, morski, hutniczy, wysokie budynki użyteczności publicznej, domy mieszkalne, hotele, gastronomia, służba zdrowia oraz wiele innych. Za pomocą transportu linowego istnieje możliwość szybkiego przemieszczenia ludzi oraz towarów na wyższe kondygnacje budynków [4].

## 2. DŹWIGI CIERNE

Napęd dźwigu składa się z podstawowych podzespołów mechanicznych i elektrycznych tj.: silnik elektryczny, przekładnia mechaniczna, najczęściej ślimakowa, sprzęgła kłowego oraz hamulca. Na wale reduktora osadzone jest koło cierne o wymaganej geometrii i liczbie rowków linowych. Koło cierne obciążone jest z jednej strony sumą mas: kabiny, ramy kabinowej  $P$ , udźwigu nominalnego  $Q$  oraz częścią lin nośnych po stronie kabiny  $m_{Cwt}$ , z drugiej strony masą przeciwwagi  $M_{SRcwt}$ , stanowiącą przeciwciężar układu (rys. 2). Udział masowy przeciwwagi przedstawia wzór (1):

$$M_{SRcwt} = \frac{1}{2} \cdot Q + P + m_{Cwt} \quad (1)$$

gdzie:

$Q$  – udźwig nominalny [kg],

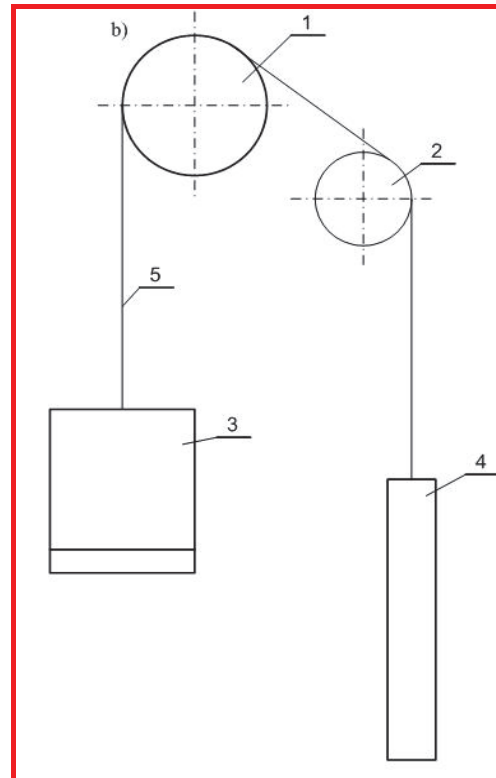
$P$  – suma mas ramy, kabiny z drzwiami i osprzętem elektrycznym [kg],

$m_{Cwt}$  – masa lin nośnych po stronie przeciwwagi [kg]

$M_{SRcwt}$  – masa przeciwwagi [kg]

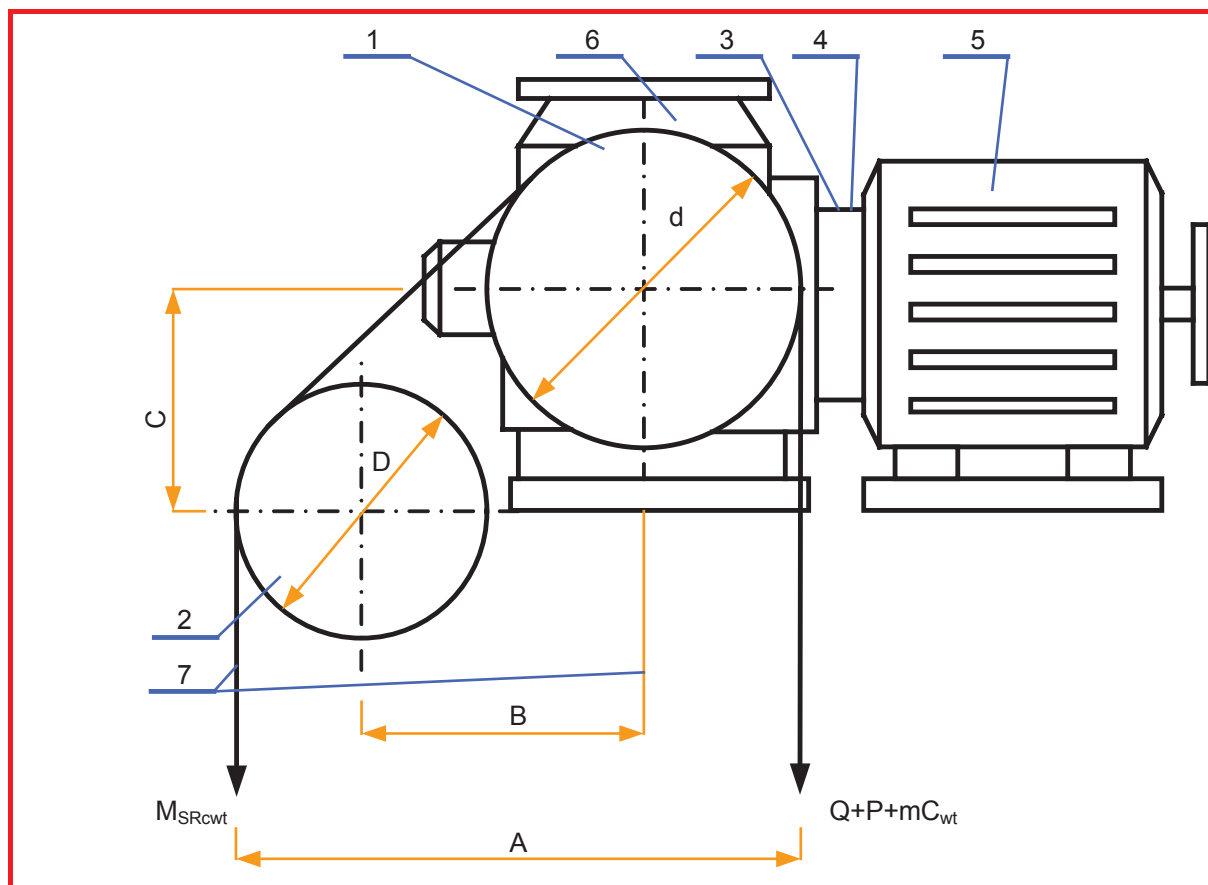
Wszystkie masy wchodzące w skład wzoru (1) stanowią integralną część wszystkich obliczeń

układów dźwigowych. Biorąc pod uwagę, że udźwig nominalny jest masą wyjściową jaka obciąża układ, pozostałe masy są mniej lub bardziej zależne od udźwigu. Masa kabiny jest zależna od powierzchni, która jest określana przez udźwig nominalny. Im większy udźwig nominalny tym większa masa kabiny. Masa ramy kabinowej jest zależna od rozstawu prowadnic kabinowych, które są zależne od szerokości kabiny określanej z udźwigu nominalnego. Na rys. 2 przedstawiono model napędu dźwigu elektrycznego wraz z obciążającymi go siłami.



Rys. 1. Schemat typowego rozwiązania dźwigu osobowego [1], [2]: 1 – koło cierne, 2 – koło zdawcze, 3 – kabina, 4 – przeciwwaga, 5 – liny

Obecnie w urządzeniach dźwigowych nie stosuje się żadnych urządzeń, które pozwoliłyby na wczesne wykrycie niepożądanego zjawiska wydłużenia lin, co w każdym dźwigu jest zjawiskiem nie uniknionym. W budynkach, w których dźwig jest niezbędny, wymaga się dużej niezawodności oraz trwałości urządzenia. Liny nośne są elementem dźwigu, który wielokrotnie jest poddawany przegięciom na kole ciernym oraz kole zdawczym. Z uwagi na to, że dźwig obsługuje od kilku do kilkunastu pięter, istnieje możliwość wyciągnięcia się lin, co stwierdza się w praktyce.



Rys. 2. Schemat obciążenia napędu, dźwigu elektrycznego [3]: 1 – koło cierne, 2 – koło zdawcze, 3 – sprzęgło, 4 – hamulec, 5 – silnik elektryczny, 6 – reduktor, 7 – lina nośna,  $M_{SRcwt}$  – masa przeciwwagi,  $P+Q$ ,  $m_{Cwt}$  – suma mas pustej kabiny wraz z ramą, udźwigniem nominalnym oraz masą lin nośnych po stronie kabiny

Sam proces monitorowania stanu technicznego liny, jest procesem możliwym tylko w dwóch miejscach, nad zawieszeniem kabiny w odległości około 2 m od zawieszenia oraz nad zawieszeniem przeciwwagi w takiej samej odległości. Pozostała część lin jest wielokrotnie przewijana przez koła, przez co nie ma możliwości zainstalowania tam czujników, co jest niewątpliwie najtrudniejszą częścią całego przedsięwzięcia.

### 3. MOŻLIWOŚCI DIAGNOSTYKI DŹWIGU W ASPEKTCIE MOŻLIWOŚCI PRZEWIDYWANIA NADMIERNEGO WYDŁUŻENIA LIN NOŚNYCH

Wydłużenie lin nośnych jest okolicznością powodującą unieruchomienie urządzenia oraz straty finansowe z tego właśnie powodu. Z racji charakteru i warunków pracy urządzenia oraz specyfiki sterowania, zachodzi potrzeba zastosowania do tego celu odpowiedniego układu monitorującego oraz wczesnego ostrzegania o zbliżającym się nadmiernym wydłużeniu. Układ taki umożliwi przekształcenie urządzenia w prostą „maszynę inteligentną” mającą możliwość

„samodzielnego” reagowania na zmieniające się warunki pracy oraz powiadamianie odpowiednich służb konserwujących. Realizacja takiego celu jest możliwa poprzez ciągły pomiar i analizę wydłużenia liny w czasie pracy. Odpowiedni do tego układ będzie miał zatem za zadanie diagnozowanie stanu urządzenia w oparciu o pomiary prowadzone na bieżąco, których wyniki będą w tym samym czasie analizowane przez odpowiednio nauczony system, mający za zadanie podejmowanie decyzji o ostrzeganiu służb nadzorujących.

Mając na uwadze powszechność stosowania w dźwigów o napędzie linowym oraz brak efektywnych systemów monitorujących, przeciwdziałających awariom tych urządzeń w wyniku nadmiernego wydłużenia, można wnioskować, że wyniki realizacji podjętego tematu przyczynią się nie tylko do zwiększenia wiedzy i doświadczenia w zakresie przemysłowego wykorzystania systemów monitorujących, ale też spowodują ograniczenie strat spowodowanych przestojami w wyniku nieprzewidzianych awarii.

Drugorzędym celem realizacji omawianego zagadnienia jest ponadto przeprowadzenie analizy porównawczej różnych typów systemów

inteligentnych, które mogą być stosowane do monitorowania i sterowania predykcyjnego w warunkach przemysłowych. Tematyka realizowanego zagadnienia łączy w sobie zatem problematykę:

- budowy i eksploatacji maszyn roboczych transportowych,
- monitoringu stanu urządzenia w oparciu o na bieżąco prowadzone pomiary,
- oraz sterowania wykorzystującego analizę wyników diagnozowania przez odpowiednio przygotowane i nauczone systemy.

Wszystkie te trzy zagadnienia łączą się z sobą nierozdzielnie w proponowanej koncepcji układu monitorującego [4].

#### 4. PROJEKT UKŁADU MONITORUJĄCEGO STAN LINY W CZASIE RZECZYWISTYM

W obecnym okresie dąży się do tego, aby każdy proces transportu był coraz bardziej zmechanizowany i automatycznie sterowany. Stosowany w takim przypadku program sterowania powinien być odpowiednio połączony z systemem informacji. Podobnie, choć w bardzo ograniczonym zakresie, dzieje się w przypadku rozwoju konstrukcji dźwigów ciernych. Wynika to ze specyfiki konstrukcyjnej tych urządzeń oraz warunków ich eksploatacji.

Obecnie stosuje się liny o różnej konstrukcji oraz materiałach o różnej wytrzymałości. Jednak monitorowanie stanu ciężka nośnego w warunkach normalnej pracy, nie jest wciąż rozwiązane. Wynika to głównie ze znacznego skomplikowania ewentualnego układu monitorującego, pracującego w tych samych warunkach, co dźwig oraz braku stosownych rozwiązań konstrukcyjnych. Ponadto dość skomplikowane byłoby też opracowanie dokładnego modelu matematycznego tak diagnozowanego obiektu.

Typowe liny stosowane w dźwigach mają zbliżone parametry. Szczególnie istotna jest wartość wytrzymałości użytych drutów do wytworzenia liny, którą przyjmuje się następująco:

- 1570 MPa lub 1770 MPa dla lin z drutami o jednakowej wytrzymałości na rozciąganie,
- 1370 MPa dla drutów zewnętrznych i 1770 MPa dla drutów wewnętrznych w linach o dwóch klasach wytrzymałości na rozciąganie [3], [5].

Znajomość konstrukcji liny ma istotny wpływ na minimalną dopuszczalną wartość wydłużenia liny. Przeprowadzona wstępna analiza stanu wiedzy na temat wytrzymałości lin oraz trwałości pozwala na postawienie następującej tezy badawczej:

Wydłużenie lin nośnych do wartości krytycznej jest wielkością zależną od właściwości samej liny (w tym od minimalnego dopuszczalnego

wydłużenia liny) oraz od wartości mas zawieszonych na linach oraz konfiguracji dźwigu. Istnieje zatem możliwość monitorowania wydłużenia liny w czasie pracy dźwigu, przy jednoczesnym określeniu wartości krytycznej wydłużenia.

Projektowany układ monitorujący będzie miał możliwość zasygnalizowania z wyprzedzeniem, o zaistnieniu warunków towarzyszących nadmiernemu wydłużeniu liny. Odpowiednia konstrukcja pozwoli również na uzyskanie dodatkowych korzyści wynikających z jego zastosowania, między innymi poprzez:

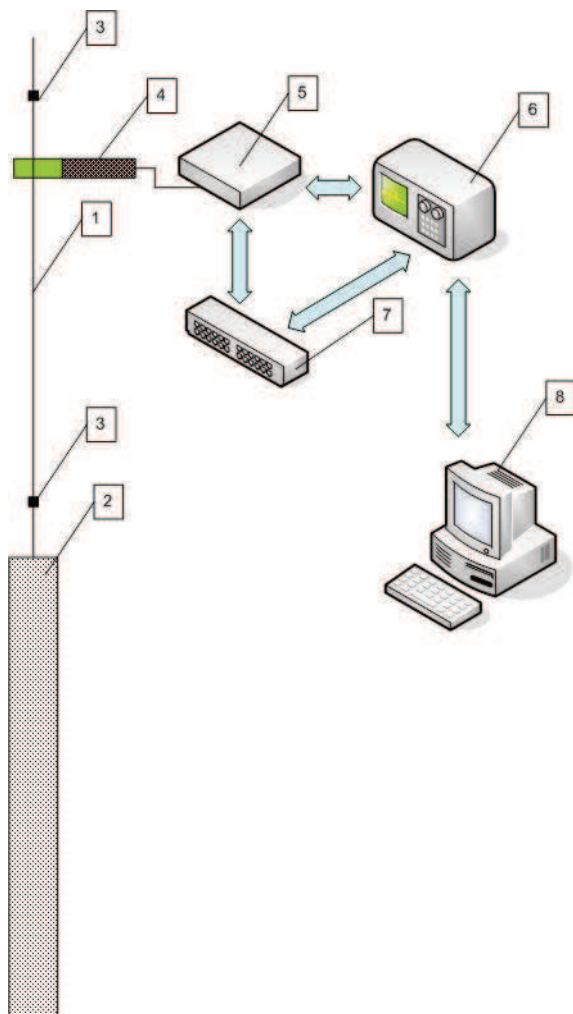
- przeanalizowanie parametrów eksploatacyjnych dźwigu, mających wpływ na częste awarie w wyniku wydłużenia lin oraz opracowanie odpowiedniego systemu inteligentnego, który będzie umożliwiał monitorowanie warunków pracy dźwigu,
- praktyczne porównanie właściwości stosowanych lin o różnej konstrukcji w aspekcie ich wytrzymałości na rozciąganie.

Wymierną korzyścią realizacji takiej właśnie koncepcji monitorowania i sterowania pracą analizowanego obiektu będzie między innymi:

- umożliwienie stałego nadzoru stanu wszystkich lin w trakcie ich pracy, z wykorzystaniem metody bezinwazyjnej,
- identyfikacja lin oraz ocena ich trwałości i niezawodności w czasie całego okresu pracy,
- eksploracja danych z monitoringu w czasie rzeczywistym,
- zapewnienie szybkiej reakcji układu na zmieniające się warunki pracy.

Schemat opracowanego układu monitorującego realizującego przedstawione powyżej cele przedstawia rys. 3.

Opracowane i wykonane urządzenie będzie testowane na jednym z dźwigów elektrycznych w Lublinie.



Rys. 3. Sposób zainstalowania czujników na linie nad zawieszeniem przeciwwagi. (opracowanie autorskie): 1 – lina, 2 – przeciwwaga, 3 – znacznik, 4 – czujnik, 5 – urządzenie pomiarowe, 6 – sterownik mikroprocesorowy, 7 – urządzenie do transmisji danych 8 - komputer

## 5. PODSUMOWANIE

Celem prowadzonych prac jest opracowanie metody monitoringu i sterowania parametrów pracy typowego urządzenia transportowego, która pozwoliłaby na przewidzenie warunków wystąpienia stanu krytycznego, a przez to uniknięcie awarii. W wyniku takiego opracowania, określone zostaną warunki konstrukcyjno-eksploatacyjnych urządzenia, mające wpływ na awarie w wyniku wydłużenia lin nośnych. W kolejnym etapie prac opracowany zostanie odpowiedni system monitorujący, który będzie umożliwiał monitorowanie warunków pracy maszyny. System taki opracowany będzie w oparciu o odpowiedni model inteligentny analizowanego obiektu. Do tego celu niezbędne jest zgromadzenie zbioru danych charakteryzujących obiekt oraz przeprowadzenie analizy dostępnych technik modelowania systemów inteligentnych pod

kątem możliwości ich zastosowania w różnych obiektach rzeczywistych w zależności od specyfiki ich konstrukcji i warunków pracy. Przeprowadzone zostaną badania symulacyjne polegające na opracowaniu systemu komputerowego w oparciu o wykonany model obiektu. Ich istotnym elementem będzie opracowanie systemu komputerowego do rejestracji, archiwizacji i przetwarzania wyników symulacji. Model taki pozwoli na właściwą ocenę i prognozowanie pracy obiektu, projektowanie i testowanie oraz analizę pracy systemu monitorującego. Aby zrealizować tak założony cel pracy konieczne jest przeprowadzenie badań na obiekcie rzeczywistym. Przeprowadzone zostaną również opisane wcześniej badania symulacyjne oraz weryfikacyjne. Wnioski dotyczące praktycznych cech aplikacyjnych systemów inteligentnych i opisujących je modeli umożliwią łatwe przeniesienie wyników prac na inne tego typu obiekty rzeczywiste, które powinny posiadać zabudowane inteligentne systemy monitoringu i sterowania w czasie rzeczywistym.

## 6. LITERATURA

- [1] Kwaśniewski J.: *Dźwigi osobowe i towarowe*, Kraków UWND 2004.
- [2] Lonkwic P.: *Analiza rozwiązań konstrukcyjnych napędów stosowanych w dźwigach elektrycznych*. Eksploatacja i Niezawodność 3, str. 3 – 14, Lublin 2004.
- [3] Lonkwic P.: *Analysis of elevator configuration influence on the operation and safety conditions of lifting ropes*. Lift Report No. 6, pages 34 – 40, Germany 2004.
- [4] Mazurkiewicz D.: *Monitorowanie stanu połączeń klejowych taśm przenośnikowych w warunkach rzeczywistych*. Eksploatacja i Niezawodność nr 3, strony 41 – 49, Lublin 2005.
- [5] Polska Norma PN EN 81.1:2002. *Przepisy bezpieczeństwa dotyczące konstrukcji i instalowania dźwigów osobowych i towarowych oraz dźwigów towarowych małych*.



Mgr inż. **Paweł LONKWIC**, jest pracownikiem Lubelskiej Wytwórni Dźwigów Osobowych Lift Service S.A. w Lublinie, zatrudnionym na stanowisku projektanta urządzeń dźwigowych. Absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej, w kierunku Budowa Maszyn. W 2004

roku rozpoczął studia doktoranckie również na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej. Zajmuje się badaniami nad sprzężeniem ciernym układów dźwigowych oraz wytrzymałością ram dźwigów elektrycznych.