

Jerzy KWAŚNIEWSKI¹ Tomasz MACHULA²

PRZENOŚNIKOWE SYSTEMY TRANSPORTOWE – BADANIA I MONITORING

Streszczenie. Przenośniki taśmowe zaliczane są do ciągnowych urządzeń transportowych pracujących w sposób ciągły. Przenośniki ze względu na rodzaj zastosowanej taśmy możemy podzielić na urządzenie z taśmą stalowo-gumową oraz taką, gdzie rdzeń stanowi tkanina. Jednak w tym artykule szczególną uwagę poświęcono pierwszemu rodzajowi taśm z zawulkanizowanymi linkami stalowymi, który odgrywa kluczową rolę w przemyśle wydobywczym.

Taśmy przenośnikowe, jak każdy produkt wytworzony przez człowieka, posiadają swoją określoną trwałość. Zależy ona między innymi od poziomu technologii produkcji oraz od warunków jej eksploatacji. Obecnie produkowane taśmy, według rozpoznanych prowadzonych przez producentów, mają okres gwarantowanej jakości przez około 3 - 6 lat. Jednak wiele czynników, takich jak na przykład dbałość ze strony użytkownika, częste kontrole stanu technicznego przedłużają ten okres do kilkunastu lat. Natomiast nieprzestrzeganie podstawowych zasad związanych z eksploatacją może doprowadzić do znacznego skrócenia trwałości taśmy w wyniku powstałych uszkodzeń.

Dlatego też zasadniczą kwestią związaną z bezpiecznym funkcjonowaniem urządzenia są badania mające na celu zdiagnozowanie stanu technicznego tych obiektów. Częste wizualne kontrolowanie długich taśm jest niepraktyczne, a pewien rodzaj uszkodzeń jest trudny do wykrycia metodą wizualną. Dlatego też konieczne stało się zastosowanie metody magnetycznej do kontrolowania i diagnozowania zjawisk zachodzących wewnątrz taśmy, a w szczególności połączeń linek oraz ich stanu technicznego. Na skutek ciągłej eksploatacji urządzenia wielokrotnie zdarzają się uszkodzenia, które wpływają w znaczący sposób na żywotność takiej taśmy. Spadający na taśmę urobek w postaci większych brył powoduje przecięcia wkładek gumowych, a niejednokrotnie również uszkodzenie zawulkanizowanych wewnątrz linek stalowych.

Obecnie coraz więcej problemów w diagnozowaniu taśm dostarczają nam nowe konstrukcje taśm, zwłaszcza te z tzw. „brokerami”, czyli stalowymi wzmocnieniami umieszczonymi tuż nad linkami, wykonanymi najczęściej w postaci stalowej siatki typu Fleximat lub też w postaci linek o mniejszej średnicy. Ze względu na podniesienie niezawodności pracy systemów przenośnikowych konieczne staje się diagnozowanie taśm w krótkich odstępach czasu, ustrzegając się tym samym poważniejszych awarii i przestoju związanych z zerwaniem taśmy. Wystąpienie takich zdarzeń powoduje ogromne straty finansowe dla przedsiębiorstw związanych z przestojem, a także naprawą lub wymianą uszkodzonej taśmy.

Obecnie jedną z najbardziej zaawansowanych metod jest defektoskopia magnetyczna, która pozwala na ocenę stanu linek w trakcie normalnej eksploatacji, a uzyskiwane wyniki badań gwarantują jej pełną użyteczność. Takie badania prowadzone są przez pracowników Katedry Transportu Linowego, Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademii

¹ Katedra Transportu Linowego, Akademia Górniczo – Hutnicza, kwasniew@imir.agh.edu.pl

² Urząd Dozoru Technicznego, Kraków

Górnictwo – Hutniczej w Krakowie. W procesie diagnozowania zaistniała możliwość identyfikacji uszkodzeń taśm, takich jak złomy zmęczeniowe drutów, przerwanie ciągłości splotek, wady fabryczne, zużycie korozyjne odspojonych linek i obserwację połączeń taśmy. Identyfikacja tych wad i uszkodzeń umożliwia eliminację zużytych fragmentów taśmy oraz ich naprawę. Ocena stanu taśm, przenośnikowych z linkami stalowymi za pomocą głowicy pomiarowej sprzężonej z defektografem umożliwia ilościową interpretację wielkości ubytku przekroju nośnego linek.

Pomimo że badania magnetyczne taśm przenośnikowych z linkami stalowymi są wykonywane od kilkunastu lat, problem ilościowej ich oceny bezpieczeństwa nie jest do końca rozwiązany. Dla jednoznacznej i dokładnej interpretacji wyników zrodziła się koncepcja zamodelowania wszystkich możliwych uszkodzeń, jakie mogą wystąpić w linkach podczas eksploatacji. Jednakże ze względu na zbliżony kształt otrzymanego sygnału pochodzącego od różnych modeli uszkodzeń konieczna jest gruntowna zmiana właściwości metrologicznych aparatury. Ma to zastosowanie zwłaszcza dla taśm przenośnikowych z „brokerami”, które wywołując zaburzenie pola magnetycznego w głowicy, utrudniają, a wręcz często uniemożliwiają prawidłową interpretację występujących w linkach stalowych zmian ich stanu technicznego. W artykule przedstawiono analizę obwodu magnetycznego głowicy i jej model matematyczny. Z wykorzystaniem tego modelu matematycznego opracowano prototyp obwodu magnetycznego głowicy pomiarowej, która znalazła zastosowanie w badaniu przenośników posiadających wzmocnienia w postaci siatki stalowej.

CONVEYOR BELT SYSTEMS – DIAGNOSTICS AND MONITORING

Summary. Belt conveyors belong to a group of transport facilities operated in a continuous mode. Depending on the belt type, the conveyors are divided into two groups: those with a steel-rubber belt and those where the belt core is made of cloth. Of major interest is the first group, that is installations complete with belts with cured steel wires, in widespread use in the extractive industry. Like every other man-made products, conveyor belts have a limited service life which depends on the technology of manufacturing and the operating conditions. According to the manufacturers, currently produced belts offer a guaranteed performance quality for 3-6 years. When proper maintenance procedures are put in place supported by regular inspections of the belt condition, the guaranteed service life might exceed 10 years. However, when the basic operating and maintenance principles are not observed, the service life is likely to get shortened due to damage. The fundamental issue in safe operation and maintenance of conveyor belts is a reliable diagnosis of their working condition.

New diagnostic problems appear when handling new type constructions, such as those complete with brokers – i.e. reinforcing elements made of steel and placed above the ropes in the shape of a steel Fleximat net or as small diameter wires.

As conveyor installations must be dependable and wholly reliable, conveyor belts have to be inspected frequently and regularly, to avoid major breakdowns and failures due to belt breaking, which brings about considerable financial losses to the company as the installation has to be shut down whilst the conveyor belt is being replaced or repaired.

Magnetic inspection is a state-of-the art method of assessing the rope condition whilst in normal service, moreover the results prove to be adequate and reliable. Magnetic inspection tests are performed by specialists from the Department of Ropeway Transport of the Faculty of Mechanical Engineering and Robotics of AGH-UST in Kraków.

Magnetic inspections of conveyor belts with steel ropes have been performed for more than ten years, yet the problems involved in quantitative evaluation of their safety features

have not been fully solved yet. In order to assure an unambiguous and precise interpretation of the magnetic inspection data, the idea was put forward to model all potential rope defects, those occurring at the stage of design and during their service life.

However, as signal waveforms from a number of modelled defects were vastly similar, the metrological properties of the measuring apparatus had to be modified accordingly.

This mathematical model underlies the design of a prototype magnetic circuit in a measuring probe to be applied in magnetic inspection of conveyor belts reinforced by steel nets.

In the new probe design, governed by the mathematical model, metrological properties of the probe are modified and the obtained signal allows for locating the points where brokers are present

1. WPROWADZENIE

Przenośniki taśmowe, zwane również taśmociągami, zaliczane są do ciągowych urządzeń transportowych pracujących w sposób ciągły. Zwykle zadaniem tych obiektów technicznych jest transport materiałów drobnych oraz sypkich. Wykorzystywane są głównie w kopalniach podziemnych a także odkrywkowych, jak również w budownictwie, czy wreszcie w magazynach oraz liniach produkcyjnych. Cechą tych urządzeń jest to, że urobek czy ładunek jest transportowany na powierzchni taśmy o specjalnej budowie, względem której materiał przenoszony pozostaje nieruchomy. Przenośniki stosowane są wszędzie tam, gdzie inne rodzaje transportu, w tym transport samochodowy czy kolejowy, są utrudnione lub też nieekonomiczne.

Obecnie produkowane taśmy, według rozpoznań prowadzonych przez producentów, mają okres gwarantowanej jakości przez około 3 - 6 lat. Jednak wiele czynników, takich jak na przykład dbałość ze strony użytkownika, częste kontrole stanu technicznego przedłużają ten okres do kilkunastu lat. Dlatego też zasadniczą kwestią związaną z bezpiecznym funkcjonowaniem urządzenia są badania mające na celu zdiagnozowanie stanu technicznego tych obiektów.

2. MOŻLIWOŚCI DIAGNOSTYCZNE TAŚM Z LINKAMI STALOWYMI

Częste kontrolowanie długich taśm jest niepraktyczne, jak również wiele rodzajów uszkodzeń jest trudne do wykrycia metodą wizualną. Dlatego też konieczne stało się zastosowanie metody magnetycznej do kontrolowania i diagnozowania zjawisk zachodzących wewnątrz taśmy, a w szczególności połączeń linek oraz ich stanu technicznego. Na skutek ciągłej eksploatacji urządzenia wielokrotnie zdarzają się uszkodzenia, które wpływają w znaczny sposób na trwałość takiej taśmy. Spadający na taśmę urobek w postaci większych brył powoduje przecięcia wzdłużne taśmy, a niejednokrotnie również uszkodzenie zawulkanizowanych wewnątrz linek stalowych.

Konieczne staje się zdefiniowanie dwóch pojęć:

Monitorowanie – jest to obserwowanie wartości parametrów taśmy (cech stanu i symptomów zużycia) w trakcie normalnej jej eksploatacji lub w trakcie przeprowadzania procesu diagnostycznego. Jeżeli możemy obserwować w sposób ciągły zmianę jakiegoś parametru w miarę upływu czasu, to mamy do czynienia z monitorowaniem równoległym (ciągłym).

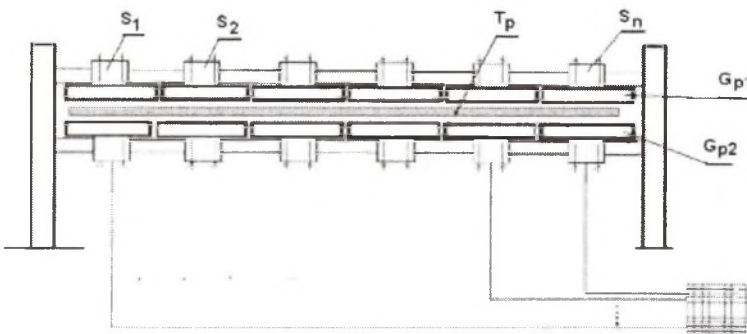
Diagnozowanie – jest to proces mający na celu określenie aktualnego (w momencie pomiaru) stanu technicznego taśmy, czyli jej sprawności lub niesprawności, stopniu zużycia, wartości uszkodzeń itp. Wynikiem diagnozowania jest postawienie diagnozy.

Występujące podczas eksploatacji drobne uszkodzenia, które na etapie początkowym mogą być szybko i łatwo naprawione przez miejscową wulkanizację lub klejenie, w warunkach dynamiki ruchu pod obciążeniem gwałtownie rozprzestrzeniają się, a eskalacja uszkodzeń prowadzić może do nienaprawialnego już zniszczenia, konieczności wymiany całego odcinka taśmy, znacznych przerw produkcyjnych i wysokich strat ekonomicznych. Konieczne staje się więc eksploatacyjne monitorowanie występujących uszkodzeń taśmy i wykonywanie bieżących napraw eliminujących gwałtowny przyrost uszkodzeń. Znane są różne sposoby badania uszkodzeń przenośnikowych taśm zbrojonych. Oprócz sposobów wykorzystujących promienie Roentgena, zjawiska rozproszenia magnetycznego i prądów wirowych, znany jest również sposób polegający na ciągłym wytwarzaniu, podczas ruchu taśmy stałego pola magnetycznego o obwodzie zamykającym się przez zbrojenie na odcinku pomiarowym N-S (rys.2.) wzdłuż taśmy oraz w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni taśmy. Pomiar natężenia pola magnetycznego występującego bezpośrednio nad odcinkiem N-S i kolejne przetwarzanie tego sygnału pomiarowego poprzez filtrowanie, rejestrację i analizę impulsów uszkodzeń wzdłuż długości taśmy, dokonywane przy użyciu środków elektronicznej techniki przetwarzania danych - odzwierciedla uszkodzenia linek stalowych w taśmie.

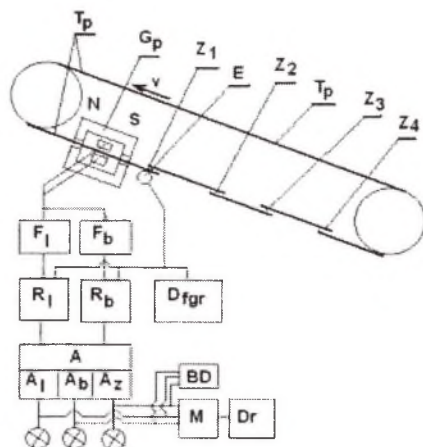
W Polsce od kilkunastu lat z powodzeniem stosowana jest w diagnozowaniu przenośników taśmowych z linkami stalowymi metoda magnetyczna. Wykorzystuje się do tego celu głowicę pomiarową GP9 o szerokości 30 cm poruszającą się po ramie usytuowanej nad taśmą przenośnika. Głowica ta posiada dwie sekcje pomiarowe (dwa czujniki). Przemieszczając głowicę nad taśmą w kolejne położenia, rejestrowane są sygnały informujące o stanie linek stalowych w całym przekroju taśmy. Sygnały rejestrowane są za pomocą defektografu MD120.

Opracowana koncepcja sposobu eksploatacyjnego monitorowania i lokalizacji uszkodzeń taśmy z linkami stalowymi narzuciła konieczność budowy głowicy GP9CRU o konstrukcji segmentowej obejmującej całą szerokość taśmy (rysunek 1). Liczba sekcji pomiarowych znajdujących się nad taśmą zależna jest od szerokości badanej taśmy.

Przedstawiony na rysunku 2 układ monitorowania i lokalizacji uszkodzeń zbrojonej taśmy przenośnika T_p ma głowicę pomiarową G_p , zabudowaną poprzecznie na dolnym odcinku taśmy w pobliżu bębna napędowego. Taśma przenośnika T_p ma zawulkanizowane linki stalowe L , ukierunkowane wzdłuż taśmy.

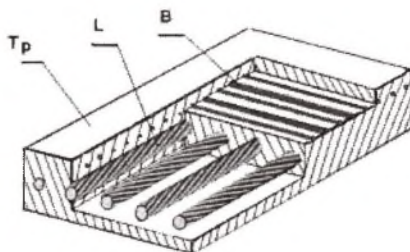


Rys. 1. Schemat głowicy segmentowej
Fig. 1. The segmented head scheme



Rys. 2. Układ monitorowania i lokalizacji uszkodzeń
Fig. 2. The monitoring and localization system

Całkowita długość taśmy przenośnika T_p utworzona jest z odcinków taśmy $Z_{1-2}, Z_{2-3}, \dots, Z_{(m-1)-m}$, połączonych poprzez zwulkanizowanie ich końców złączami Z_1, Z_2, \dots, Z_{m_2} z mijającymi się na zakładkę stalowymi linkami L . Oprócz linek stalowych L taśma przenośnika T_p ma dodatkowe zbrojenie poprzeczne B , w postaci ułożonej po stronie zewnętrznej, na linkach L stalowej siatki z drutu lub z poprzecznych linek - co przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Przekrój taśmy z linkami stalowymi i brokerem
Fig. 3. The cross-section of a belt with steel ropes and a breaker

Głowica pomiarowa G_p składa się z dwóch identycznych połówek, obejmujących taśmę przenośnika T_p z góry i dołu (rysunek 1). Każda z połówek głowicy pomiarowej G_p zawiera wiele sekcji pomiarowych S_1, S_2, \dots, S_n , usytuowanych obok siebie i pokrywających całą szerokość taśmy przenośnika T_p . Z kolei każda sekcja S_1, S_2, \dots, S_n zawiera dwa magnesy stałe, wytwarzające pole magnetyczne o obwodzie zamykającym się przez zworę i linki stalowe na odcinku pomiarowym $N-S$ wzdłuż oraz w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni taśmy przenośnikowej T_p . Czujnik umieszczony bezpośrednio nad odcinkiem pomiarowym $N-S$ mierzy zmiany natężenia pola magnetycznego, wywołane zakłóceniami od uszkodzeń linek. Sygnały wyjściowe z czujników obu połówek głowicy pomiarowej G_p , danej sekcji pomiarowej S_1, S_2, \dots, S_n są sumowane i analizowane w układzie monitorowania. Sygnały pomiarowe z poszczególnych sekcji pomiarowych S_1, S_2, \dots, S_n

poddawane są w sposób ciągły filtracji w blokach filtracji sygnału uszkodzeń linek F_l i filtracji sygnału uszkodzeń zbrojenia poprzecznego (brokera) F_b . Następnie sygnały pomiarowe w rejestratorach R_l i R_b poddaje się indywidualnemu zliczaniu impulsów uszkodzeń linek L i uszkodzeń zbrojenia poprzecznego B , występujących na długości poszczególnych odcinków taśmy $Z_{1-2}, Z_{2-3}, \dots, Z_{(m-1)-m}$. Dla poszczególnych sekcji pomiarowych S_1, S_2, \dots, S_n i na odpowiadających im odcinkach taśmy $Z_{1-2}, Z_{2-3}, \dots, Z_{(m-1)-m}$ utworzone zostają symptomowe macierze obserwacji liczby impulsów uszkodzeń linek L i liczby uszkodzeń zbrojenia poprzecznego B - co pozwala na dokonanie odpowiednich ocen w oprogramowanym, elektronicznym analizatorze A . W sytuacji gdy analiza A_l wykáže jednoczesność występowania uszkodzeń linek L we wszystkich sekcjach pomiarowych S_1, S_2, \dots, S_n danego odcinka taśmy $Z_{1-2}, Z_{2-3}, \dots, Z_{(m-1)-m}$ uruchomiony zostaje sygnał alarmowy. Przykładowo, sytuacja taka występuje na symptomowej macierzy pokazanej na rysunku 4 dla odcinka taśmy Z_{7-8} .

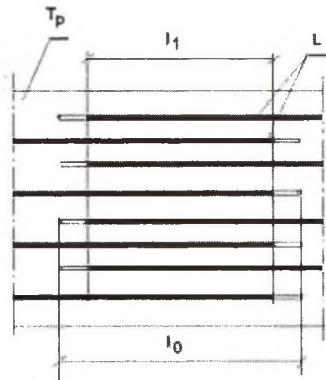
ALARM
↓

S_1	12	7	5	6	9	2	6	25		8
S_2	2	3	1	2	3	6	9	0		8
S_3	0	1	1	0	6	1	16	0		0
S_4	3	2	1	0	5	9	1	5		5
S_5	7	3	0	0	8	3	11	2		8
S_6	5	0	1	7	8	2	5	9		0
S_7	6	5	1	1	5	16	6	16		0
S_n	9	8	5	3	25	1	16	11		8
	Z_{1-2}	Z_{2-3}	Z_{3-4}	Z_{4-5}						$Z_{(m-1)-m}$

Rys. 4. Symptomowa macierz obserwacji

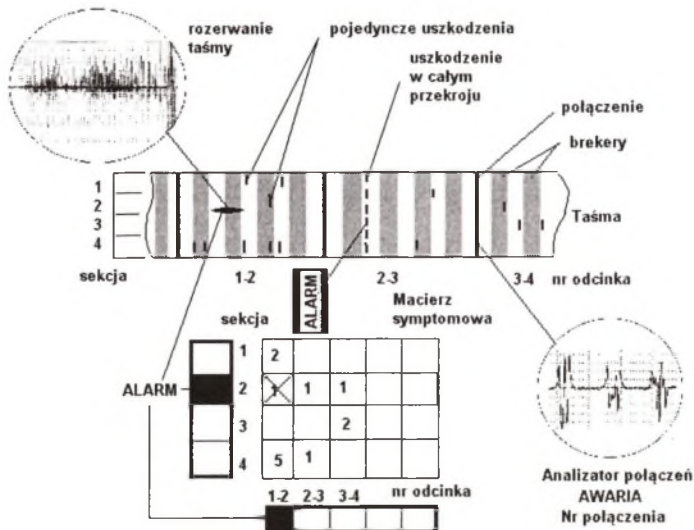
Fig. 4. A symptomatic observation matrix

Również gdy analiza A_B danych z symptomowej macierzy liczby impulsów uszkodzeń zbrojenia poprzecznego B wykazuje wystąpienie w tej samej sekcji pomiarowej S_1, S_2, \dots, S_n zwiększonej liczby impulsów od uszkodzeń - zwłaszcza liczby powtarzającej się w sąsiadującym odcinku taśmy $Z_{1-2}, Z_{2-3}, \dots, Z_{(m-1)-m}$ - inicjowany jest sygnał alarmowy. Usytuowanie uszkodzeń na długości taśmy T_p uściśla sygnał z enkodera E , zabudowanego bezpośrednio przy odcinku pomiarowym ($N-S$). W analizatorze A , w bloku A_z oceniany jest także sygnał aktualnej długości złącza l_1 . W sytuacji gdy dla danego złącza Z_1, Z_2, \dots, Z_m występuje skrócenie długości zakładki $l_0 - l_1$ większe od założonej długości początkowej l_0 , program inicjuje sygnał alarmowy. Sygnał pomiarowy zobrazowany może być wykresem defektografu D_{fig} - co przykładowo pokazuje rysunek 5, lub wynik po analizach wizualizowany jest na monitorze M i może być ewentualnie utrwalony pracą drukarki D_r . Wyniki analiz archiwizowane są w pamięci bazy danych B_d .



Rys. 5. Schemat połączenia taśmy
Fig. 5. The belt connection scheme

Przykładowy układ możliwych uszkodzeń, jakie mogą wystąpić w badanej taśmie, pokazano na rysunku 6. Odpowiadają im odpowiednie wartości zliczanych uszkodzeń pokazanych na symptomowej macierzy obserwacji. W macierzy tej sygnalizowane są także stany awaryjne związane ze zmianą długości połączenia, pojawiającymi się jednocześnie uszkodzeniami w całym przekroju taśmy oraz pęknięciami wzdłużnymi taśmy.



Rys. 6. Uszkodzenia taśmy i odpowiadająca im macierz symptomowa
Fig. 6. Belt damages and the corresponding symptomatic matrix

3. PODSUMOWANIE

Przedstawiony system eksploatacyjnego monitorowania i lokalizacji uszkodzeń taśmy z linkami stalowymi, zgodnie z postawionym założeniem może pracować w sposób ciągły. Ma to szczególne znaczenie przy diagnozowaniu wzdłużnych zmian spójności osnowy

gumowej taśmy. Z praktycznego punktu widzenia wystarczy raz dziennie dokonywać rejestracji liczby występujących miejsc z pękniętymi drutami w linkach stalowych (symptomowej macierzy danych) przy równoczesnej analizie rozkładu uszkodzeń w przekroju poprzecznym taśmy.

Literatura

1. Jóźkiewicz M.: Stanowisko do badania taśm przenośnikowych z linkami stalowymi AGH – KTL 2003. Praca magisterska pod kierunkiem dra hab. inż. J. Kwaśniewskiego.
2. Materiały konferencyjne Fabryki Taśm Transportowych STOMIL Wolbrom SA z X Międzynarodowego Sympozjum – Zakopane, 8-10.05.2002.
3. Kwaśniewski J., Molski Sz., Machuła T.: Zgłoszenie patentowe z dnia 9.02.06, Sposób eksploatacyjnego monitorowania i lokalizacji uszkodzeń zbrojonej taśmy przenośnika.
4. Kwaśniewski J., Molski Sz., Machuła T.: Monitoring taśm z linkami stalowymi. XIV Międzynarodowe Sympozjum Zakopane 2006, Nowe rozwiązania i doświadczenia w budowie i bezpiecznej eksploatacji urządzeń kompleksowej odstawy urobku przenośnikami taśmowymi, Zakopane, 10-12.05.06.