

# Przegląd metod badania napięcia taśm gumowych w przenośnikach taśmowych wykorzystywanych w transporcie bliskim

## Overview of the rubber belts tension test methods in the close transport conveyors

TOMASZ RYBA\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.3.28>

Dokonano przeglądu dostępnych rozwiązań oraz przedstawiono propozycję układu badawczego do analizy – w czasie rzeczywistym – napięcia gumowej taśmy pracującej na przenośniku. Dzięki zastosowaniu czujników tensometrycznych w aparaturze badawczej możliwe jest uzyskanie danych, których interpretacja pozwoli na zdiagnozowanie stanu taśmy i przystosowanie procesu pracy przenośnika do wymogów Przemysłu 4.0.

**SŁOWA KLUCZOWE:** taśma gumowa, Przemysł 4.0, czujniki tensometryczne

*The review of existing solution and the proposal of the test equipment for belts tension detection on the conveyor in the real time is presented. Application of strain gauges made it possible to obtain the data, which would enable to make proper work condition diagnosis and to adapt the process to requirements of the Industry 4.0.*

**KEYWORDS:** rubber belt, Industry 4.0, strain gauges

Przenośniki taśmowe nabrały w ostatnich latach nowego znaczenia w przemyśle – zarówno dzięki szerokim możliwościom zastosowania, jak i w wyniku opracowania nowatorskich konstrukcji z użyciem nowoczesnych materiałów i technologii produkcji. Stosowanie przenośników w systemach transportowych to m.in. efekt konieczności obniżenia kosztów transportu, realizowanego dotychczas z wykorzystaniem pojazdów kołowych, oraz kosztów eksploatacyjnych systemów transportowych, ale w taki sposób, aby zapewnić ich dostatecznie wysoką niezawodność i trwałość [1].

Zastosowanie nowoczesnych technologii wytwarzania oraz globalnych programów nadzorujących to cechy charakterystyczne rewolucji przemysłowej nazywanej Przemysłem 4.0 (Industry 4.0). W założeniu chodzi o system doskonale zharmonizowanych elementów, w którym obrabiarki, maszyny technologiczne, roboty i ludzie wspólnie tworzą nowe środowisko produkcyjne [2]. Jej zasadniczym elementem jest internet rzeczy (IoT – *Internet of Things*), który ma przejąć kontrolę nad infrastrukturą produkcyjną oraz monitorowaniem kosztów jej utrzymania i wydajności. Wdrożenie takich systemów przynosi wzrost efektywności i oszczędności energii. Jednak żeby spełniać wymogi Przemysłu 4.0, niezbędny jest globalny dostęp do danych na każdym etapie wytwarzania.

W celu dopasowania do tych wymogów podajników taśmowych, będących ważnym elementem cyklu produkcyjnego, przeanalizowano literaturę i zaproponowano nowatorskie rozwiązanie.

### Rozwiązania klasyczne

Typowe sposoby badania napięcia taśm zostały opisane m.in. w pracach Gładysewicza [3] i Kulinowskiego [4]. Publikacje te zawierają standardowe obliczenia matematyczne, umożliwiające dobór taśm.

W celu dobrania taśmy należy uwzględnić materiał i konstrukcję rdzenia po sprawdzeniu dobranej wstępnie wytrzymałości nominalnej oraz wyborze grubości i materiału okładek ochronnych. Jednym z ważniejszych aspektów jest czynnik techniczno-ekonomiczny. Według Gładysewicza istotnym punktem obliczeń projektowych jest dobór wytrzymałości nominalnej  $K_n$  oraz wyznaczenie sił w taśmie. Wytrzymałość nominalną taśmy z rdzeniem tkaninowym sprawdza się według następującej nierówności [3]:

$$K_n \geq \frac{(Sr)_{\max}}{1000 \cdot B} \cdot k_e \cdot k_b \quad (1)$$

gdzie:

$K_n$  – wytrzymałość nominalna (klasa wytrzymałości taśmy) [kN/m lub N/mm];

$B$  – szerokość taśmy [m];

$(Sr)_{\max}$  – maksymalna siła w taśmie w trakcie rozruchu [N];

$k_e$  – współczynnik bezpieczeństwa uwzględniający warunki eksploatacji;

$k_b$  – współczynnik spiętrzenia naprężeń w złączu.

Kulinowski także ukazuje matematyczne metody wyznaczania m.in. sprzężenia ciernego i sił występujących w taśmie. Uwzględnia wymagania normy DIN 22101, która odwołuje się do czynników mających wpływ na wytrzymałość taśmy [4]. Niestety, prace te nie zawierają rekomendacji dotyczących diagnostyki pracy taśmy przenośnika w czasie rzeczywistym.

### Przegląd kierunków badań

W duchu założeń Przemysłu 4.0 w publikacjach z ostatnich lat zwraca się uwagę na ogólne aspekty techniczne przenośników taśmowych oraz szczegóły konstrukcyjno-projektowe i eksploatacyjne. Wiele prac poświęcono problematyce połączeń taśm przenośników i samym taśmom. Z uwagi na charakter niniejszego artykułu omówiono w nim tylko kilka ważniejszych opracowań.

Zur i Hardygóra na podstawie analizy wpływu uszkodzeń taśmy i konstrukcji połączenia na wytrzymałość taśmy uznali obszar złącza za najsłabsze ogniwo taśmy pracującej na przenośniku, od którego parametrów wytrzymałościowych zależy niezawodna praca całego urządzenia transportowego [5]. Z ich pracy wynika, że wytrzymałość taśmy będzie taka, jak wytrzymałość najsłabszego jej połączenia.

\* Mgr inż. Tomasz Ryba (ryba2104@op.pl) – UTH im. K. Pułaskiego w Radomiu

Obecnie na rynku stosuje się najczęściej trzy typy łączenia taśmy przenośnika:

- sklejanie,
- wulkanizację,
- mechaniczne połączenie za pomocą różnego rodzaju okuć.

Prace badawcze opisane przez Madziarza [6] dotyczyły analizy wpływu konstrukcji i technologii wykonania połączeń tkaninowych taśm na ich wytrzymałość. Szukano przyczyny pojawiania się uszkodzeń połączeń taśm pracujących w warunkach przemysłowych, w konkretnych przenośnikach.

Stwierdzono, że 25% zarejestrowanych uszkodzeń połączeń taśm tkaninowych stanowią rozwarstwienia wynikające z niedostatecznej adhezji spoiny połączenia. Uszkodzenia były również wynikiem wad wykonawczych, m.in. nacięcia przekładek oraz niedokładnego przygotowania powierzchni spoin. Wykryto pewną zależność pomiędzy wytrzymałością złączy a wieloma trudnymi do uniknięcia błędami wykonawczymi [6].

Madziarz podjął próbę opracowania modelu matematycznego połączenia taśmy wieloprzekładowej i weryfikacji otrzymanych wyników w badaniach elastooptycznych. Istotnym punktem badań było wykonanie modeli połączeń, w których warstwę gumy zastąpiono materiałem optycznie czułym, dzięki czemu możliwe było rejestrowanie bezpośrednio zaburzenia rozkładu naprężeń stycznych w warstwie międzyprzekładowej połączenia.

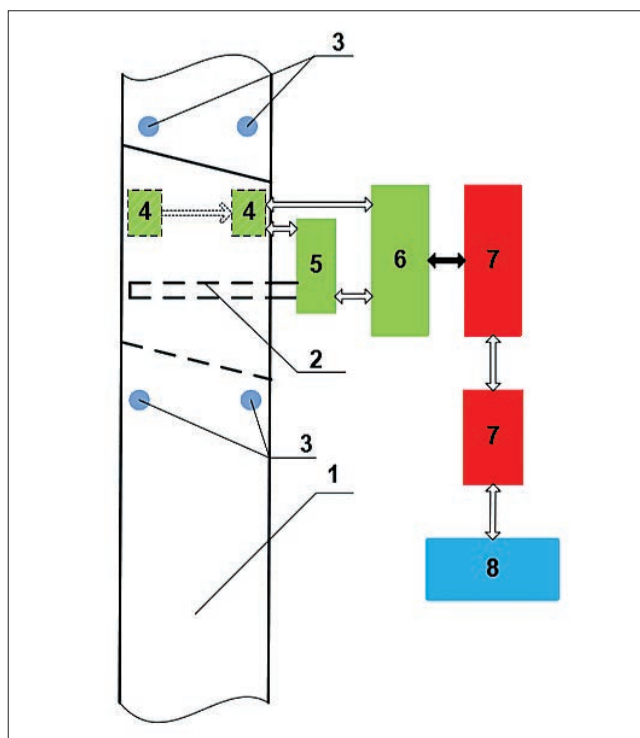
Rezultaty opisanych badań charakteryzowały się dużą niedokładnością, wynikającą z różnicy właściwości mechanicznych materiału elastooptycznego i gumy międzyprzekładowej. Inne czynniki zwiększające błędy to niewielka grubość badanych modeli połączeń, mały zakres zastosowanych obciążeń oraz specyfika badań elastooptycznych. Wykazano trudność w odniesieniu obliczonych wartości współczynników karbu do wielkości naprężeń występujących w rzeczywistych warunkach [6].

Podobne zagadnienia zostały poruszone w pracy Błażeja [7], który zwraca uwagę, że podstawowym kryterium w projektowaniu przenośników taśmowych jest odpowiedni dobór taśmy i wartości wytrzymałościowej połączenia. Jako podstawowy parametr decydujący o wytrzymałości połączenia wieloprzekładowego taśmy tkaninowo-gumowej przyjęto naprężenie ścinające w warstwach gumy międzyprzekładowej. Autor podjął próbę identyfikacji naprężeń w spoinie klejowej oraz określenia zależności pomiędzy tą wielkością a właściwościami mechanicznymi rdzenia taśmy. Kąt odkształcenia postaciowego opisano jako rozkład wydłużenia i naprężenia w spoinie klejowej [7].

Jedną ze współczesnych metod monitorowania stanu przenośnika opracował Mazurkiewicz. Stwierdził on, że istnieje możliwość monitorowania wydłużenia złączy w czasie pracy przenośnika z jednoczesnym określeniem wartości krytycznej wydłużenia, kiedy przestaje ono mieć charakter wydłużenia dynamicznego, związanego ze zmiennymi warunkami pracy, a staje się wielkością świadcząca o bliskim zerwaniu połączenia [1].

Z myślą o weryfikacji swoich założeń Mazurkiewicz zaprojektował i wykonał układ monitorujący wydłużenie złączy taśm przenośnikowych w warunkach przemysłowych (rys. 1).

System służy do automatycznego monitorowania stanu połączeń klejowych w celu wykrywania zmian w odniesieniu do każdego pojedynczego złącza, które mogą prowadzić do jego zerwania.



Rys. 1 – Schemat ideowy układu monitorującego: 1 – taśma przenośnika, 2 – obszar złącza, 3 – znacznik, 4 – czujnik, 5 – urządzenie pomiarowe, 6 – sterownik mikroprocesorowy, 7 – układ transmisji danych cyfrowych, 8 – system komputerowy [1]

Wśród metod monitorowania pracy przenośników należy wymienić wykorzystanie linii stalowych w taśmie, kontrolowanych przez czujniki magnetyczne. Pomiar odbywa się bezpośrednio na przenośniku. Dostarcza on informacji o rejestrowanym polu magnetycznym. Wszelkie odchyłki tego pola od przyjętej wartości świadczą o nieprawidłowościach w strukturze taśmy [8].

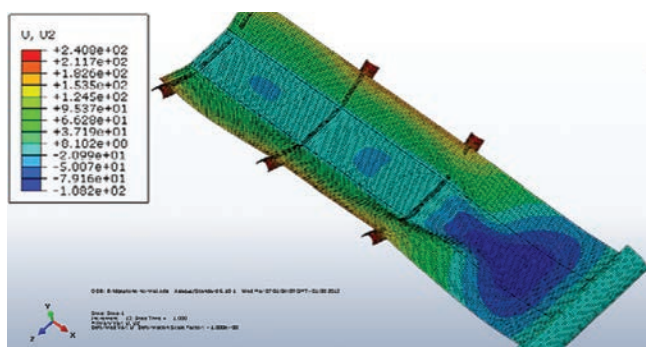
Są też publikacje o metodach radiograficznego diagnozowania taśm tkaninowych i z linkami stalowymi (poszukiwanie pęknięć i obszarów skorodowanych), jak również ultradźwiękowego diagnozowania w celu wykrycia rozcięć w taśmie [9].

Jednym ze sposobów kontrolowania stanu taśmy w czasie rzeczywistym jest zainstalowanie w niej specjalnych czujników monitorujących zużycie lub uszkodzenie w oparciu o działanie transponderów. Jednak układ ten ma wiele ograniczeń.

Pozwala jedynie na ocenę zużycia ściernego taśmy lub jej rozdarcia i wymaga budowy specjalnego systemu nadawczo-odbiorczego. Dane uzyskane z systemu detekcji opartego na czujnikach znajdujących się w taśmie są niskiej jakości i możliwe jest ich błędne zinterpretowanie, a koszt budowy stanowiska jest wysoki.

Znaczenie właściwej pracy taśmy dla konstrukcji przenośnika podkreślano w wielu pracach naukowych. Istotny jest taki dobór parametrów pracy, aby taśma była eksploatowana w optymalnych warunkach, z uwzględnieniem jej parametrów technicznych. Jednak żeby ustalić te warunki, trzeba poznać właściwości taśmy.

Próby poznania charakterystyki pracy taśmy przenośnika przedstawili Fedorko i Ivančo [10]. Opracowali oni model 3D taśmy i poddali go naprężeniom wynikającym z geometrii przenośnika. Otrzymali graficzny rozkład sił i naprężeń na całej długości taśmy (rys. 2). Dzięki takim analizom można określić, gdzie występuje koncentracja nadmiernych sił i naprężeń, i uwzględnić te informacje przy projektowaniu geometrii przenośnika.



Rys. 2. Deformacje taśmy przenośnika [10]

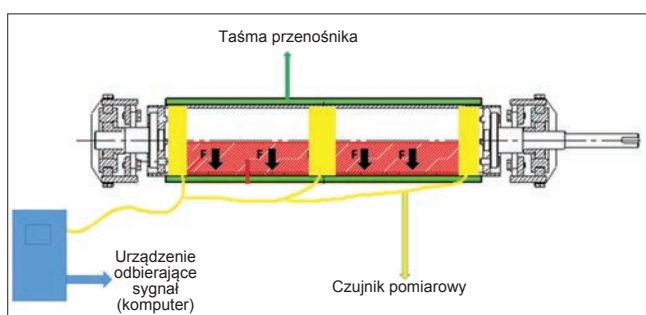
### Nowatorska propozycja metody badania stanu taśmy przenośnika

Wymienione metody kontroli stanu taśmy przenośnika mają liczne wady i ograniczenia. W literaturze przedmiotu nie opisano układu, który w pełni realizuje oczekiwania czarnej rewolucji przemysłowej, tworząc kompleksowy system monitorowania. Dlatego podjęto prace badawcze mające na celu stworzenie nowatorskiego układu badawczego z czujnikami *smart* z komunikacją IT.

Aby zaproponować nowe rozwiązanie, trzeba określić warunki, jakie powinien spełniać system. Na podstawie analizy literatury oraz znajomości stanu techniki można wyodrębnić ważniejsze wymagania wobec układu kontrolującego napięcie i stan taśmy przenośnika. Są to: niezawodna konstrukcja, możliwość adaptacji do istniejących i działających przenośników taśmowych, zbieranie i analiza danych w czasie rzeczywistym, szybkość działania, dokładność i powtarzalność pomiarów.

Aby stworzyć układ badawczy spełniający wymogi stawiane urządzeniom w dobie Przemysłu 4.0, wykorzystano zestaw czujników tensometrycznych. Zastosowanie ich w zewnętrznych układach zbierających dane bezpośrednio w czasie pracy z całej powierzchni różnego typu taśm jest rozwiązaniem nowatorskim.

Na rys. 3 pokazano schemat ideowy urządzenia monitorującego, wbudowanego w wałek przenośnika taśmowego.



Rys. 3. Proponowane urządzenie kontrolujące napięcie taśmy

Ważne, aby dane uzyskane w czasie rzeczywistym przedstawiały zużycie na pełnej powierzchni taśmy, niemal w każdym jej punkcie. Niezbędny jest wybór obrazującej stan taśmy wartości odniesienia, która będzie odpowiednia do późniejszego przetworzenia i zapewni otrzymanie miarodajnego wyniku.

Z analizy literatury można wywnioskować, że słuszne jest przyjęcie siły nacisku taśmy  $F$  [N] w jednostce czasu  $t$  [s] jako wielkości, która po odpowiednim przetworzeniu i zinterpretowaniu może ujawnić ewentualne uszkodzenia taśmy na wczesnym etapie lub ostateczne zerwanie. Z sygnału pochodzącego z czujnika badającego siłę na-

cisku, umieszczonego pod taśmą przenośnika, otrzymuje się zbiór danych, z których można wychwycić pik informujący o zmianach w powierzchni taśmy. Ponieważ czujnik pobiera dane o sile nacisku z całej swojej powierzchni, umożliwia kontrolę taśmy na całej szerokości. Dodatkowo, aby zwiększyć stabilność w trakcie pomiaru, taśmę obciążono stałą masą kontrolną, która pośrednio wywiera nacisk na czujnik. Dzięki zastosowaniu dodatkowego obciążenia została wstępnie nadana wartość wyjściowa, wyeliminowano luz w układzie pomiarowym oraz zrealizowano docisk taśmy do czujnika na całej jej szerokości.

W układzie zastosowano czujniki tensometryczne, które mierzą siłę nacisku. Znając wartość pomiarów, ze wzoru (2) można uzyskać siłę, jaka działa na układ badawczy w danym punkcie:

$$F = m \cdot g \quad (2)$$

gdzie:  $F$  – siła odczytana z czujnika [N],  $g$  – przyspieszenie ziemskie [ $m/s^2$ ],  $m$  – masa [kg] obciążająca czujnik, wywierająca na niego siłę  $F$ .

Zaproponowany układ monitorujący może być w pełni zaadaptowany do różnorodnych konstrukcji przenośników i spełniać wymogi Przemysłu 4.0. Obecnie wykonywany jest prototyp układu badawczego kontrolującego w czasie rzeczywistym stan taśmy przenośnika.

### Podsumowanie

Obecnie stan taśmy analizuje się z użyciem kosztownych i skomplikowanych specjalnych układów. Ich zastosowanie w warunkach przemysłowych wymaga znacznych modyfikacji istniejących przenośników lub stosowania specjalnych taśm. Proponowana nowatorska metodologia badań ma dostarczać ważne dla procesu dane bez znaczącej ingerencji w obecny układ, zachowując jego walory użytkowe, przy niewielkim nakładzie finansowym.

### LITERATURA

1. Mazurkiewicz D. „*Studium wybranych aspektów diagnostyki eksploatacyjnej transportu taśmowego*”. Lublin: Politechnika Lubelska, 2011.
2. Szulewski P. „Integracja informatyczna kluczowym aspektem środowiska wytwórczego w Przemysle 4.0”. *Mechanik*. 8–9 (2018): s. 630–636.
3. Gładysiewicz L. „*Przenośniki taśmowe teoria i obliczenia*”. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2003.
4. Kulinowski P. „*Dobór mocy napędu i wytrzymałości taśmy przenośnika w warunkach pracy ustalonej*”. [www.kmg.agh.edu.pl/Dydaktyka/Przedmioty/Transport\\_przenośnikowy/Materiały/PT\\_algorytm.pdf](http://www.kmg.agh.edu.pl/Dydaktyka/Przedmioty/Transport_przenośnikowy/Materiały/PT_algorytm.pdf).
5. Żur T., Hardygóra M. „*Przenośniki taśmowe w górnictwie*”. Katowice: Wyd. Śląsk, 1996.
6. Madziarz M. „*Wpływ konstrukcji i technologii wykonywania połączeń tkaninowych, wieloprzędkowych taśm przenośnikowych na ich wytrzymałość*”. Rozprawa doktorska (niepublikowana). Wrocław: Politechnika Wroclawska, 1998.
7. Błażej R. „*Wpływ właściwości mechanicznych rdzenia taśm przenośnikowych tkaninowo-gumowych na wytrzymałość ich połączeń*”. Rozprawa doktorska (niepublikowana). Wrocław: Politechnika Wroclawska, 2001.
8. Nowak R., Grzyb K. „Monitoring i badania laboratoryjne w procesie diagnostyki taśm przenośnikowych z rdzeniem z linek stalowych”. *Materiały XVI Międzynarodowego Sympozjum „100 lat w służbie polskiego przemysłu wydobywczego”*. Zakopane: FTT Stomil Wolbrom S.A., 2008, s. 39–54.
9. Lutyński A. „*O diagnozowaniu taśm przenośnikowych*”. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. 78 (1995).
10. Fedorko G., Ivančo V. „Analysis of force ratios in conveyor belt of classic belt conveyor”. *Procedia Engineering*. 48 (2012): s. 123–128.