

Zastosowanie czujników i technik pomiarowych w ocenie stanu technicznego taśm przenośnikowych

W artykule opisano wyniki realizacji prac przedstawicieli Politechniki Wrocławskiej dotyczące opracowania systemu diagnostycznego do oceny stanu technicznego taśm przenośnikowych.

Ocena stanu technicznego taśm przenośnikowych pracujących w warunkach przemysłowych stanowi istotne zagrożenie zapewnienia ciągłości pracy systemów transportowych. Przy rosnącym popycie na surowce mineralne przerwy w transporcie surowców i materiałów spowodowane awariami taśm mogą spowodować istotne straty produkcyjne, których nie da się zredukować, gdy praca odbywa się w ruchu ciągłym w systemie 24/7. Koszty wymian awaryjnych są znacznie wyższe niż zaplanowanych wcześniej wymian prewencyjnych, dlatego zapobieganie awariom jest racjonalne ekonomicznie. Można to czynić w oparciu o wiek urządzenia lub w oparciu o zdiagnozowany stan techniczny. Kalendarzowy czas pracy urządzeń nie jest najlepszą i obiektywną miarą stopnia zużycia, gdyż intensywność pracy przenośników bywa zmienna, zmienna jest jakość kupowanych taśm, a losowo pojawiające się uszkodzenia mogą istotnie przyspieszyć proces degradacji. Dlatego zdobycie wiedzy o aktualnym stopniu zużycia pętli taśmy przenośnikowej złożonej z odcinków i ich połączeń oraz predykcja pozostałego czasu ich bezawaryjnej pracy są niezbędne. Dzięki zdobytej szczegółowej informacji o stopniu zużycia taśmy można podjąć doraźne działania naprawcze wydłużające okres użytkowania taśm oraz przewidzieć pozostały czas jej bezawaryjnej pracy w przyjętej strategii ich wymian. Planowanie postojów na naprawy i wymiany pozwala na racjonalną gospodarkę budżetem taśmowym, gdyż znajomość terminów przyszłych wymian pozwala zamawiać taśmy z odpowiednim wyprzedzeniem. Straty produkcyjne mogą być spowodowane nie tylko postojem awaryjnym, ale również czasem oczekiwania na nowe taśmy. W dobie przerwanych łańcuchów dostaw, rosnących cen surowców i materiałów oraz czasu dostaw i kosztów transportu (tym frachtu morskie-

SUMMARY

The use of sensors and measuring techniques in the assessment of the technical condition of conveyor belts

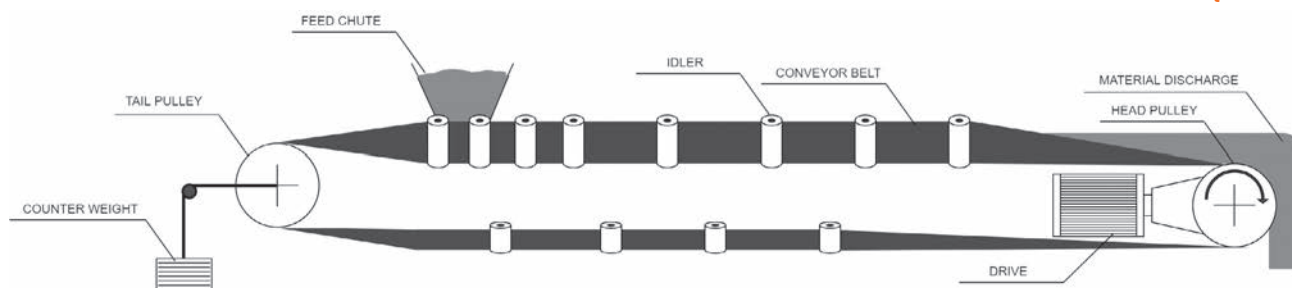
The paper describes results of the efforts carried out by the representatives of the Wrocław University of Science and Technology related to development of a diagnostics system to be used for the assessment of the technical condition of conveyor belts.

Keywords: sensors, measuring techniques, technical condition, conveyor belts

TEKST: dr hab. inż. Ryszard Błażej, dr hab. inż. Leszek Jurdziak, dr inż. Agata Kirjanów-Błażej, Aleksandra Rzeszowska, Dominika Olchówka,

Politechnika Wrocławska

ZDJĘCIA: autorzy



Rys. 1.

go i kolejowego) czas oczekiwania na taśmy i ich cena (zwłaszcza w zakupie interwencyjnym) mogą użytkowników taśm zaskoczyć. W Polsce na Politechnice Wrocławskiej w wyniku realizacji wieloletnich prac badawczych finansowanych przez NCBiR opracowano systemy diagnostyczne do oceny stanu technicznego taśm przenośnikowych.

Metody nieniszczące NDT

Bezinwazyjna diagnostyka taśm przenośnikowych w wykrywaniu uszkodzeń pozwala na znaczne obniżenie kosztów związanych z wymianą taśm, a także ocenę zmian stopnia ich zużycia w czasie. Dzięki temu zwiększa się bezpieczeństwo użytkowania taśmy. W zależności od umiejscowienia przenośnika taśmowego, jego długości czy rodzaju transportowanego materiału, a także prędkości, z jaką pracuje taśma, tempo jej zużycia może być różne, choć sam proces zużycia i jej stopniowej degradacji jest nieunikniony. Taśma jest obiektem starzejącym się z punktu widzenia teorii niezawodności, a to oznacza rosnącą intensywność jej awarii [1–3]. Czas pracy taśmy przenośnikowej zależy od wielu czynników przedstawionych w literaturze [4] – między innymi od rodzaju transportowanego materiału, specyfiki punktu transportowego oraz długości i wieku przenośnika taśmowego. Rys. 1 przedstawia schematyczny obraz przenośnika taśmowego użytkowanego w górnictwie [5]. Najważniejszą i najczęściej ulegającą awariom częścią przenośnika jest taśma. Wysokie wymagania stawiane producentom taśm przenośnikowych co do wysokiej trwałości i wytrzymałości taśm przekładają się na jej cenę. Diagnostyka taśm i szybkie wykrywanie ewentualnych uszkodzeń oraz ich naprawa przedłużająca okres jej pracy, mają więc sens ekonomiczny. Awaria przenośnika taśmowego generuje bowiem znaczne koszty związane nie tylko z jego naprawą, ale również z wymuszonym po-

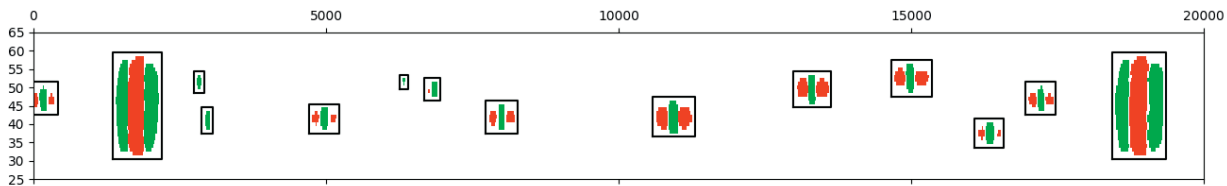
stojem systemu transportowego i stratami produkcyjnymi [6]. Taśma zainstalowana na przenośniku może mieć rdzeń tekstylny (mniej odporny na uszkodzenia i mniej wytrzymały) lub z linkami stalowymi (o dużej wytrzymałości).

Specyfika badań nieniszczących NDT (ang. *non-destructive techniques*) zakłada, że podczas badania obiektu nie ulega on degradacji (tak jak np. przy wycięciu próbek z taśmy w celu ich zbadania), a jego struktura i właściwości nie ulegają zmianie. Wielu badaczy na całym świecie opracowało różnorodne systemy do diagnostyki taśm przenośnikowych [6]. Niektóre z dostępnych metod służą do diagnozowania stanu okładek, inne do wykrywania uszkodzeń rdzenia z linkami stalowymi osadzonymi w gumie [7, 8]. W dobie Przemysłu 4.0 możliwe jest zainstalowanie czujnika na badanym obiekcie, a następnie zbieranie danych w czasie jego pracy (badania *online*), by na bieżąco śledzić zmiany stanu badanego obiektu (np. proces wycierania, powstałe uszkodzenia rdzenia) i natychmiast reagować na pojawiające się zagrożenia. Można prowadzić również diagnostykę cykliczną i badać taśmę co pewien czas, by ocenić jej stan i tempo zachodzących w niej zmian. Instalowanie urządzeń na każdym przenośniku jest kosztowne, ale pozwala lepiej zabezpieczać system transportowy przed awariami katastroficznymi (m.in. zapobiegać rozcięciom taśm i zerwanom połączeń). Cykliczna diagnostyka zmniejsza koszty inwestycyjne, gdyż jedno urządzenie mobilne jest wykorzystywane do badania wielu przenośników. Doskonale nadaje się do oceny bieżącego stanu i określenia tempa zmian mających charakter kumulacyjny: rosnąca liczba uszkodzeń rdzenia, wycieranie się okładek i obrzeży oraz stopniowe rozchodzenie się połączeń.

System DiagBelt

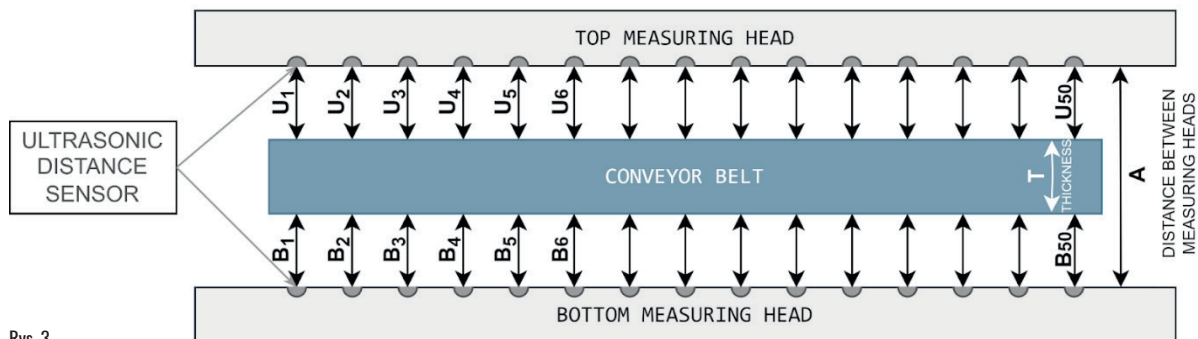
Jedną z metod nieinwazyjnej diagnostyki taśm przenośnikowych jest zastosowanie ►

1. Schemat budowy przenośnika taśmowego



Rys. 2.

$$T_i = A - (U_i + B_i)$$



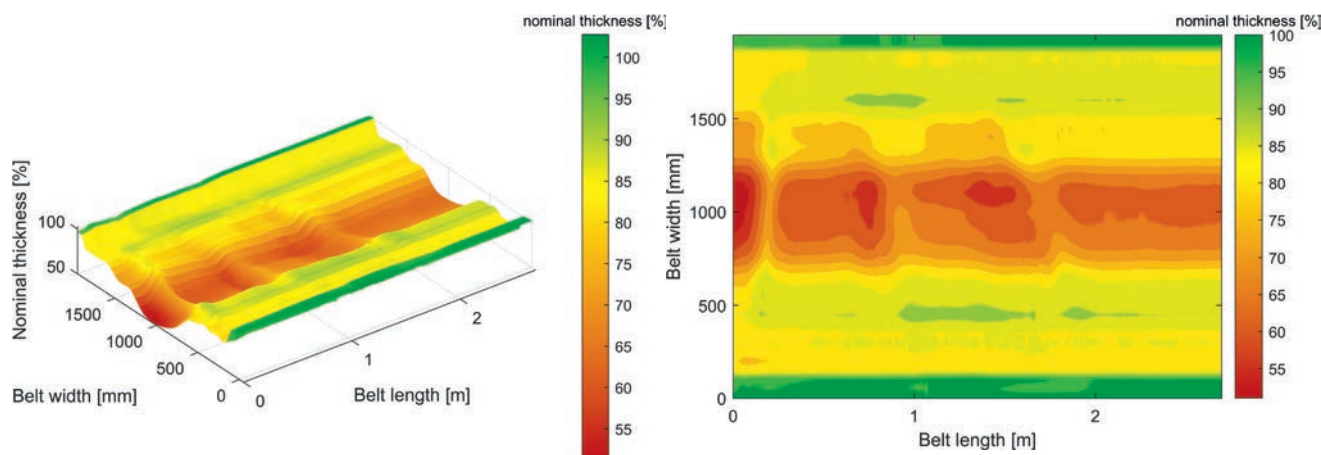
Rys. 3.

2. Wizualizacja danych pomiarowych na dwuwymiarowym obrazie

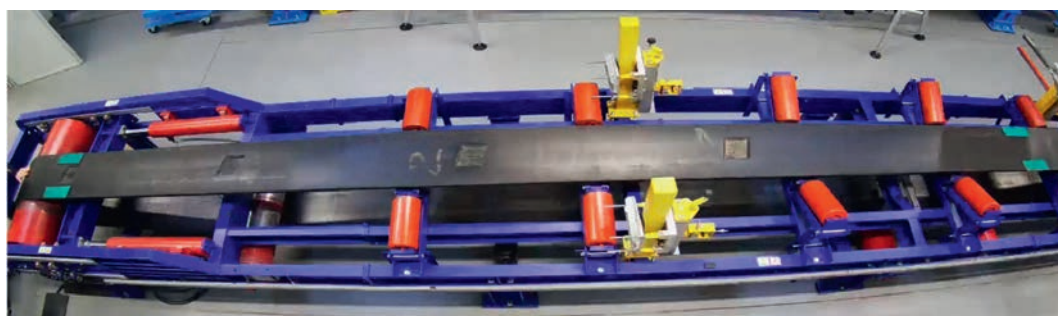
3. Idea ultradźwiękowego pomiaru różnicowego

► urządzenia wykorzystującego zmiany pola magnetycznego podczas przemieszczania się taśmy pod listwą pomiarową (zainstalowaną na całym przekroju taśmy). Takie urządzenie stworzono i rozwijane jest w Laboratorium Transportu Taśmowego (LTT) Politechniki Wrocławskiej w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (POIR.01.01.01-00-1194/19-00) [9, 10]. Zastosowana w urządzeniu metoda magnetyczna do identyfikacji uszkodzeń opiera się na rejestrowaniu zmiany pola magnetycznego generowanego przez uprzednio namagnesowane stalowe linki tworzące rdzeń taśmy. Zmiany pola magnetycznego powstają wokół nieciągłości w linkach, które mogą być spowodowane ich przecięciem (całej linki lub kilku drutów w lince), wykonaniem połączenia lub innymi uszkodzeniami (takimi jak: zgniecenie linki, pęknięte druty w lince w procesach zmęczeniowych, ubytek drutów i linek spowodowany korozją) [10]. Metoda ta stosowana jest do wykrywania uszkodzeń rdzenia taśmy przenośnikowej typu St, a wyniki w postaci obrazu dwuwymiarowego pokazują zmiany pola magnetycznego wokół uszkodzeń. Odbierany z cewek magnetycznych sygnał jest rejestrowany w postaci cyfrowej, przyjmując jedną z trzech wartości: +1, 0 lub -1, w zależności od kierunku wykrytych zmian pola magnetycznego dla zadanego poziomu czułości urządzenia.

Rys. 2 przedstawia wizualizację zmian pola magnetycznego na dwuwymiarowym obrazie – macierz wyników pomiarowych uzyskaną w efekcie skanowania jednej z taśm przenośnikowych. Widać na nim dwa połączenia (po obu stronach rysunku – zmiany pola na całym przekroju wokół końcówek linek w połączeniu pozwalające na weryfikację pierwotnej struktury połączenia i jego bieżący stan) oraz kilka uszkodzeń o różnym stopniu intensywności (od korozji, poprzez pęknięte druty, po przecięcie linek w rdzeniu). Każda z widocznych chmur punktów (sygnał czerwony oznacza ujemną zmianę pola magnetycznego, sygnał zielony dodatnią, białe piksele oznaczają sygnał 0) określa pewną nieciągłość linek (złącze taśmowe lub uszkodzenie) w rdzeniu taśmy przenośnikowej z linkami stalowymi. Gęste ułożenie czujników na przekroju pozwala określić uszkodzenie pojedynczych linek, a wysoka częstotliwość próbkowania (400 Hz) pozwala na identyfikację dokładnych zmian wzdłuż osi taśmy. System DiagBelt przeznaczony jest do oceny stanu technicznego taśm przenośnikowych z linkami stalowymi. Zanim jednak dojdzie do uszkodzeń rdzenia, mamy do czynienia z uszkodzeniami gumy okładkowej i obrzeży. Uszkodzenia mogą mieć lokalny charakter wynikający z ubytku lub wyrwania fragmentów gumy spowodowanych przebiegami taśmy w miejscach nadawczy lub dotychczas całej powierzchni na sku-



Rys. 4.



Fot. 1.

4. Dwustopniowe złącze taśmowe na jednej z badanych taśm przenośnikowych

Fot. 1. Taśma w Laboratorium Transportu Taśmowego z modelowymi uszkodzeniami rdzenia taśmowego

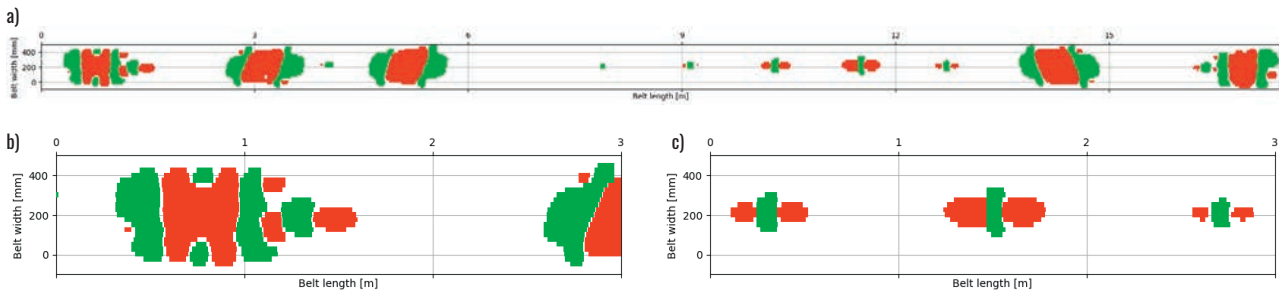
tek wycierania okładek (nośnej i bieżnej) oraz obrzeży wzdłuż całej długości trasy (tarcie urobku o taśmę lub taśmy o konstrukcję trasy przenośnika i krążniki) lub punktowo na bębnach napędowych, odchylających i zwrotnych, w miejscach nadawy (m.in. przyspieszanie urobku) oraz instalacji urządzeń czyszczących i uszczelniających w trakcie cyklicznego przewijania pętli taśmy wokół przenośnika. Zużycie taśmy spowodowane procesami tarcia dotyczy zewnętrznej powłoki taśmy i taśm wszystkich typów (nie tylko taśm St). Do pełnej oceny stanu eksploatowanej taśmy jest więc potrzebna wiedza, w jakim stopniu została ona wytarta.

System BeltSonic

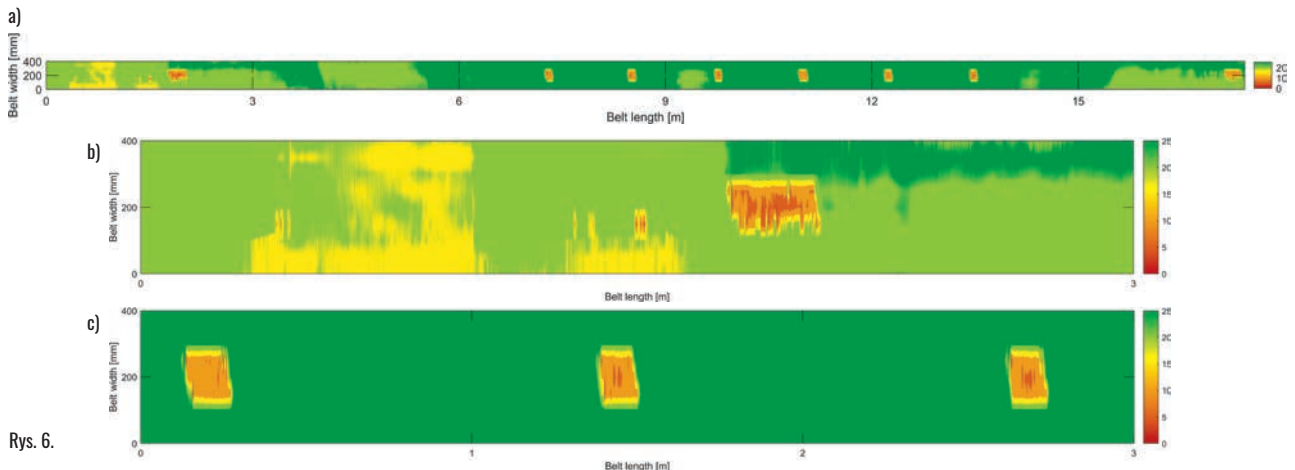
W wyniku pozyskaniu środków na badania statutowe [12, 13], a potem istotnych środków z programu LIDER [14, 15] na Politechnice Wrocławskiej opracowano ultradźwiękowe urządzenie pomiarowe, któremu nadano nazwę BeltSonic. System ten został zbudowany w celu pomiaru grubości taśmy przenośnikowej w ruchu. Opisano go w pracy [16].

Najważniejszą część projektowanego urządzenia stanowią ultradźwiękowe czujniki odległości. Sama idea pomiaru grubości

opiera się na pomiarze różnicowym – z obu stron badanego obiektu umieszczone są czujniki ultradźwiękowe. Rys. 3 prezentuje zastosowaną w systemie ideę pomiaru różnicowego. Czujnik umieszczony nad badanym obiektem wyznacza odległość opisaną symbolem U1...U50, a czujnik umieszczony pod obiektem – B1...B50. Znajomość odległości pomiędzy znajdującymi się nad i pod obiektem czujnikami (tutaj oznaczonymi literą A) jednoznacznie określa grubość obiektu w danym miejscu [14–16]. Pomiary wykonywane z użyciem systemu diagnostycznego BeltSonic pozwalają na uzyskanie dokładnej informacji o wytarciu okładek taśmy przenośnikowej, a także umożliwiają wykrycie większych uszkodzeń. Wyniki pomiarowe zapisywane są w postaci macierzy, dzięki czemu możliwe jest zwizualizowanie danych pomiarowych za pomocą trójwymiarowego wykresu lub mapy konturowej. Rys. 4 przedstawia przykładowy obraz uzyskanych danych pomiarowych taśmy przemysłowej przenoszącej ostrokrawędzisty materiał. Rozmieszczenie kanałów pomiarowych w odległości 50 mm od siebie, a także częstotliwość pracy systemu 100 Hz pozwala na uzyskanie gęstości siatki pomiarowej 50 mm w poprzek taśmy oraz



Rys. 5.



Rys. 6.

5. Stan rdzenia taśmy przenośnikowej – system DiagBelt.

a – uszkodzenia rdzenia pętli taśmy St o długości 1740 mm i szerokości 40 mm, b – uszkodzenia rdzenia fragmentu 3 m taśmy z połączeniem, c – uszkodzenia rdzenia fragmentu 3 m taśmy z trzema uszkodzeniami.

6. Grubość taśmy przenośnikowej – system BeltSonic.

a – grubość pętli taśmy St o długości 1740 mm i szerokości 40 mm, b – grubość fragmentu 3 m taśmy z połączeniem, c – grubość fragmentu 3 m taśmy z trzema uszkodzeniami.

➤ co 10 mm na każdy 1 m/s prędkości taśmy przenośnikowej w rozdzielczości wzdłużnej. Bliska odległość kanałów pomiarowych od siebie pozwala również na analizę kolejnych przekrojów wzdłużnych i tym samym na ocenę jakości badanego fragmentu taśmy (np. określenie struktury i jakości wykonania złącza taśmowego).

Ocena stanu technicznego z wykorzystaniem systemów pomiarowych

Pełny obraz stanu technicznego badanej taśmy przenośnikowej z linkami stalowymi można uzyskać przy wspólnej pracy obu urządzeń (DiagBelt oraz BeltSonic). Ich wspólną pracę testowano w Laboratorium Transportu Taśmowego (LTT). Badaniom poddana została laboratoryjna taśma przenośnikowa, w której wykonane zostały modelowe uszkodzenia rdzenia taśmy, nad którymi zdjęta została okładka nośna. Fot. 1 przedstawia zdjęcie opisywanej taśmy przenośnikowej (o długości 1740 mm i szerokości 400 mm) z kamery liniowej umieszczonej nad przenośnikiem taśmowym. Rys. 5 przedstawia obraz rdzenia taśmy tej taśmy przenośnikowej badanej na poziomie czułości 200 mV. Rys. 6 pokazuje mapę konturową prezentującą grubość badanego obiektu. Na obu rysunkach została zachowana skala szerokości i długości taśmy

przenośnikowej. Dla lepszej prezentacji na rysunkach przedstawiony został również obszar o długości 3 m ze złączem taśmowym i jednym z uszkodzeń oraz obszar długości 3 m z trzema modelowymi uszkodzeniami.

Podsumowanie

Bezinwazyjna diagnostyka taśm przenośnikowych znajduje coraz szersze zastosowanie w górnictwie węgla brunatnego (m.in. w KWB Turów stosuje się ją od 2000 r. [17] i KWB Bełchatów [18]), górnictwie węgla kamiennego (m.in. w KWB Bogdanka [19, 20], KWK Marcel [20, 21]) oraz w kopalniach podziemnych rud miedzi (m.in. ZG Rudna, ZG Polkowice-Sieroszowice [22, 23]). Coraz częściej zainteresowanie wdrożeniem cyklicznych badań okresowych wyrażają kopalnie surowców mineralnych, zwłaszcza korzystające z długich przenośników instalowanych w miejscach niepozwalających na swobodny dostęp w celu wizualnej oceny jej stanu na całej trasie (np. na galeriach, przenośnikach z przykryciem zabezpieczającym przed wpływem czynników atmosferycznych i zmniejszających hałas). Liczne badania systemem DiagBelt wykonywane nie tylko w laboratorium, ale u wielu użytkowników, pokazały, że do uzyskania informacji o stanie taśmy dobrze

nadaje się magnetyczny system pomiarowy o dużej rozdzielczości czujników generujący dwuwymiarowy obraz stanu taśmy i połączeń na całym przekroju taśmy i pełnego cyklu obiegu pętli taśmy. Uzyskany obraz 2D stanu taśmy i połączeń może być łatwo analizowany (nawet przez laika) w celu wykrycia niebezpiecznych koncentracji uszkodzeń wymagających szybkich napraw. Wbudowane algorytmy cyfrowego przetwarzania obrazu pozwalają na opracowanie pełnej statystyki uszkodzeń oraz generują różne zagregowane mierniki uszkodzeń, takie jak gęstość liczby i powierzchni uszkodzeń. Pozwalają wykreślić histogram uszkodzeń na przekroju i wzdłuż osi taśmy dla wybranych fragmentów taśmy i całych odcinków, utworzyć bazę obrazów połączeń, by ocenić ich strukturę i bieżący stan. Porównanie kilku skanów taśmy wykonanych w różnym czasie pozwala ocenić tempo zachodzących w niej zmian. Pomiędzy pomiarami pojawiają się nowe uszkodzenia, a istniejące zwiększają swoje rozmiary. Intensywność uszkodzeń nie jest liniowa, gdyż w miarę wycierania się okładek taśmy graniczna energia brył urobku powodująca poważne uszkodzenia rdzenia zmniejsza się i w jednostce czasu przy tej samej wydajności transportu pojawia się coraz więcej

poważnych uszkodzeń. Trwają prace nad wbudowaniem mechanizmów nieliniowych predykcji pozostałego czasu pracy taśmy oraz do kwalifikacji rodzajów uszkodzeń z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych (sztucznej inteligencji) [24, 25], by proces podejmowania decyzji o wymianie jeszcze bardziej zautomatyzować.

W ramach projektu LIDER X zbudowane zostało pierwsze w Polsce mobilne urządzenie do ciągłego pomiaru grubości taśmy oraz oceny, profilu jej poprzecznego i wzdłużnego. Dzięki uzyskanym danym pomiarowym możliwe jest nie tylko wyznaczanie grubości lub profili, ale także wykrywanie niektórych uszkodzeń. Zaletą urządzenia jest możliwość określania grubości taśmy przenośnikowej niezależnie od jej rodzaju. Systemem BeltSonic można badać zarówno taśmy z rdzeniem z linkami stalowymi, jak i taśmy z rdzeniem tekstylnym (przekładkowe, jednolicie tkane czy taśmy z rdzeniem z Kevlaru lub Aramidu).

Połączenie działania obu prezentowanych systemów pomiarowych (systemu DiagBelt do wykrywania uszkodzeń rdzenia taśmy typu St oraz systemu BeltSonic do pomiaru grubości taśmy przenośnikowej dowolnego typu) daje pełny obraz stanu technicznego badanej taśmy przenośnikowej. □

Piśmiennictwo

- Jurdiak L.: *Prewencyjne strategie wymian taśm przenośnikowych*. Wrocław 2000, s. 13–15.
- Jurdiak L., Błażej R.: *Polityka wymiany taśm przenośnikowych z uwzględnieniem ich regeneracji – korzyści z wykorzystania diagnostyki stanu taśm. Conveyor belt replacement policies with their reconditioning – benefits from belt condition monitoring application*. „Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze”, 2016.
- Jurdiak L., Błażej R., Burduk A., Bajda M., Kirjanów-Błażej A., Kozłowski T., Olchówka D.: *Optimization of the operating costs of conveyor belts in a mine in various strategies of their replacement and diagnostics. Optymalizacja kosztów eksploatacji taśm przenośnikowych w kopalni w różnych strategiach ich wymiany i diagnostyki*. „Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze”, 2020.
- Webb C., Sikorska J., Khan R.N., Hodkiewicz M.: *Developing and evaluating predictive conveyor belt wear models*. „Data-Cent.Eng.”, 1/2020, e3.
- Hardygóra M., Żur T.: *Przenośniki taśmowe w górnictwie*. Katowice 1996.
- Błażej R.: *Ocena stanu technicznego taśm przenośnikowych z linkami stalowymi*. Wrocław 2018.
- Kirjanów-Błażej A., Jurdiak L., Błażej R., Kozłowski T.: *Identyfikacja rozwoju uszkodzeń rdzenia taśm przenośnikowych St w przestrzeni i czasie. Część 1 – rozkład uszkodzeń wzdłuż osi taśmy*. „Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze”, 1/2019, s. 13–23.
- Błażej R., Jurdiak L., Kirjanów A., Kozłowski T.: *Core damages increase assessment in the conveyor belt with steel cords*. „Diagnostyka”, 3/2017, 18, s. 93–98.
- Błażej R., Jurdiak L., Kozłowski T., Kirjanów A.: *The use of magnetic sensors in monitoring the condition of the core in steel cord conveyor belts – tests of the measuring probe and the design of the DiagBelt system*. „Measurement”, 2018, 123, s. 48–53.
- Kirjanów A.: *Model rozwoju uszkodzeń rdzenia taśm przenośnikowych z linkami stalowymi, rozprawa doktorska*. Wrocław 2018.
- Błażej R., Jurdiak L., Gładysiewicz L., Kozłowski T., Kirjanów A.: *Patent. Polska, nr 228973. Urządzenie do pomiaru grubości oraz oceny zmian profilu poprzecznego i wzdłużnego taśm przenośnikowej*. Int. Cl. B65G43/02, G01B11/16, G01B11/06, B65G43/00. Zgłosz. nr 418454 z 24.08.2016. Opubl. 30.05.2018/. Wrocław 2018. http://pubserv.uprp.pl/PublicationServer/generuj_dokument_php?plik=PL_000000000228973_B1_PDF
- Błażej R., Jurdiak L., Kirjanów A., Kozłowski T.: *A device for measuring conveyor belt thickness and for evaluating the changes in belt transverse and longitudinal profile*. „Diagnostyka”, 8 (4)/2017, s. 97–102.
- Błażej R., Jurdiak L., Kirjanów A., Kozłowski T.: *BeltSonic – innowacyjne urządzenie diagnostyczne do pomiaru grubości taśm przenośnikowych w ruchu – projekt LIDER. Część 1 – Punktowe i ciągłe pomiary grubości taśm*. „Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze”, 2/3 (48/49)/2020, s. 16–28.
- Błażej R., Jurdiak L., Kirjanów A., Kozłowski T.: *BeltSonic: Innowacyjne urządzenie diagnostyczne do pomiaru grubości taśm przenośnikowych w ruchu – projekt LIDER. Część 2 – zasada działania i opis techniczny urządzenia BeltSonic*. „Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze”, 4 (50)/2020, s. 29–33.
- Kirjanów-Błażej A., Błażej R., Jurdiak L., Kozłowski T., Rzeszowska A.: *Innovative diagnostic device for thickness measurement of conveyor belts in horizontal transport*. „Scientific Reports”, 12. 7212. 2022 10.1038/s41598-022-11148-1.
- Błażej R., Zimroz R., Nowak R., Grzyb K., Kurp Ł.: *Rozbudowa funkcjonalności systemu EyeQ do diagnostyki rdzenia taśm typu ST*. „Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze”, 3/2010, s. 24–28.
- Jurdiak L., Błażej R., Burduk A., Bajda M., Kirjanów-Błażej A., Kozłowski T., Olchówka D.: *Optymalizacja kosztów eksploatacji taśm przenośnikowych w kopalni w różnych strategiach ich wymiany i diagnostyki*. „Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze”, 4/2020, s. 14–22.
- Mazurkiewicz D.: *A computer system to monitor the condition of conveyor belt joints*. International Carpathian Control Conference ICC2006. Roznov pod Radhostem, Czech Republic, May 29–31, 2006, Conference Proceedings, s. 361–364.
- Mazurkiewicz D.: *Computer system for monitoring conveyor belt joints*. „Canadian Mining Journal”, 5/2007, s. 24.
- Lutyński A.: *Identyfikacja stanu technicznego przenośników taśmowych*. „Kruszywa: Produkcja – Transport – Zastosowanie”, 2014, 2, s. 52–55.
- Błażej R., Jurdiak L., Burduk R., Kirjanów A., Kozłowski T.: *Analysis of core failure distribution in steel cord belts on cross-section*. [W:] 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2017, 29th June – 5th July, 2017, Albena, Bulgaria: conference proceedings. Vol. 17, „Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining”, Iss. 13, Exploration and mining. Sofia: STEF92 Technology, cop. 2017. s. 987–994. (International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM).
- Błażej R., Jurdiak L., Kirjanów A., Kozłowski T.: *Core damages increase assessment in the conveyor belt with steel cords*. „Diagnostyka”, 3/2017, 18, s. 93–98.
- Olchówka D., Rzeszowska A., Jurdiak L., Błażej R.: *Statistical Analysis and Neural Network in Detecting Steel Cord Failures in Conveyor Belts*. „Energies”, 2021, 14 (11), 3081.
- Kirjanów-Błażej A., Rzeszowska A.: *Conveyor Belt Damage Detection with the Use of a Two-Layer Neural Network*. „Applied Sciences”, 2021, 11(12), 5480.