

BeltSonic – innowacyjne urządzenie diagnostyczne do pomiaru grubości taśm przenośnikowych w ruchu – projekt LIDER

Część 1 – Punktowe i ciągłe pomiary grubości taśm

BeltSonic – Innovative diagnostic device for measuring the thickness of conveyor belts in motion – the LIDER project

Part 1 – point and continuous thickness measurements of belts

Agata Kirjanów-Błażej, Leszek Jurdziak, Ryszard Błażej, Tomasz Kozłowski

W poprzednim numerze „Transportu Przemysłowego i Maszyn Roboczych” (nr 1(47)/2020) redakcja przedstawiła informację, że pani dr inż. Agata Kirjanów-Błażej uzyskała finansowanie złożonego przez nią projektu w ramach programu NCBiR o nazwie LIDER [23]. W tym numerze przedstawiamy plany badawcze, związane z opracowaniem urządzenia BeltSonic w ramach tego projektu. Jego celem jest stworzenie innowacyjnego urządzenia do pomiaru grubości oraz oceny zmian profilu poprzecznego i wzdłużnego taśm przenośnikowych, stosowanych w górnictwie i w przemyśle, wykorzystującym taśmy przenośnikowe do transportu. Projekt będzie obejmował powstanie wersji laboratoryjnej urządzenia, a na jej podstawie końcowej wersji przemysłowej do testowania w kopalni odkrywkowej. Na podstawie wykonanych badań laboratoryjnych i pomyślnie zakończonego pierwszego etapu zostanie wykonana wersja przemysłowa, uwzględniająca potrzeby użytkownika.

Pomiar będzie realizowany w sposób ciągły wzdłuż osi taśmy. Grubość taśmy będzie mierzona na płaskim odcinku w trakcie pracy przenośnika. Rozwiązanie będzie mogło być używane na każdym typie taśm stosowanych w górnictwie i przemyśle, wykorzystującym taśmy przenośnikowe do transportu poziomego. Do obsługi urządzenia pomiarowego stworzona zostanie aplikacja o nazwie BeltSonic. Będzie pozwalała użytkownikowi na wprowadzenie podstawowych informacji, dotyczących przenośnika przed rozpoczęciem pomiaru. Wyniki pomiaru będą przedstawiały przekrój taśmy na całej długości pętli i będą ukazywały jej profil wzdłużny i poprzeczny.

Wprowadzenie

Projekt nie powstał w próżni. Najpierw opracowano technologię pomiaru [6], a potem, w ramach własnych projektów badawczych, zbudowano wersję laboratoryjną urządzenia [8]. Przetestowanie urządzenia w laboratorium i pierwsze pomiary w warunkach przemysłowych gwarantują sukces projektu, który podobnie jak urządzenie DiagBelt może znaleźć drogę do wdrożenia w warunkach przemysłowych. Dosłownie kilka tygodni wcześniej NCBiR przyznał środki na opracowanie urządzenia DiagBelt+ dla PGE GiEK SA O. Bełchatów. Wytrwała praca i starania zaowocowały sukcesem dla branży przenośnikowej. Dwa urządzenia diagnostyczne (do oceny stanu rdzenia i pomiaru grubości taśmy), potrzebne do prowadzenia nowoczesnych obsług taśm przenośnikowych, będą opracowywane przez naukowców z Politechniki Wrocławskiej dla branży taśmowej. Stanowią one kontynuację i uwięźnienie dotychczasowych prac związanych z komputerową gospodarką taśmową [11], strategiami ich wymian [13-14], zintegrowanymi urządzeniami do oceny stanu taśm [4-5, 7-8, 29-31] i przemysłem 4.0 [15-16]. Docelowo informacje z obu urządzeń, mające postać cyfrową, generujących wiele kluczowych wskaźników analitycznych wspomagających podejmowanie decyzji. Z pewnością w przyszłości będą integrowane razem w ramach systemów kontrolnych kopalni [44-45].

Charakterystyka rynku docelowego

Przenośniki taśmowe są powszechnie stosowane do transportu na odległości, sięgające 100 km. Przykładem

może być ciąg przenośników do transportu fosforytów z kopalni Bou Craa, położonej w Saharze Zachodniej (Maroko), do portu El-Aaiún, liczący 98 km (61 mil). Ma on wydajność ok. 2000 t/godz. Pojedyncze przenośniki mają długość przekraczającą 20 km (np. 21-km przenośnik zbudowany przez firmę Sandvik dla kompanii górniczej Sasol (2014) lub 17-km przenośnik do transportu wapieni z Indii do cementowni w Bangladeszu – szerokość taśmy 800 mm, St-2500 (2005).

W Anglii, w podziemnej kopalni węgla kamiennego Wistow stosowano dwa 15-km taśmociągi, w Australii boksyty transportowano 30-km taśmociągiem z kopalni do huty, w chilijskiej kopalni rud miedzi użytkuje się 14-km taśmociąg, a w Górach Skalistych w USA przenośnik krzywoliniowy ma długość prawie 17 km.

Jednym z rozważanych wariantów transportu węgla brunatnego z przyszłej kopalni Złoczew do Elektrowni Bełchatów jest taśmociąg o długości ponad 30 km.

W Polsce przenośniki użytkowane są w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego (ok. 500 km taśm), w kopalniach rud miedzi (ok. 100 km taśm, w ZG Rudna ok. 50 km). Szacuje się, że w podziemnych kopalniach węgla zainstalowanych jest ok. 800 km taśm. Dziesiątki kilometrów taśm pracuje w portach, zakładach chemicznych (m.in. Police), hutach, elektrowniach, cementowniach. Łączną długość zainstalowanych taśm może sięgać 1500-2000 km, a liczba przenośników liczona jest w tysiącach. Wszędzie tam można byłoby stosować automatyczny pomiar grubości taśm, zwłaszcza gdy dostęp do taśmy na przenośniku jest utrudniony, a przenośnik jest dosyć długi i liczba pomiarów ręcznych musiałaby być duża.

W miarę wzrostu płac rośnie opłacalność zastosowania automatycznych urządzeń diagnostycznych, które wypierają tradycyjną inspekcję dokonywaną przez ludzi, gdyż popełniają oni błędy, wynikające m.in. z subiektywnej oceny (wybór miejsca pomiaru), zmęczenia i chęci ograniczania własnego wysiłku (redukcja liczby pomiarów i wybór łatwiejszego dostępu), błędów odczytu (warunki pogodowe – nadmierne lub zbyt małe oświetlenie) i błędów zapisu (zapis odbywa się ręcznie). W Polsce praktycznie nie stosuje się komputerów przenośnych i tabletów, pozwalających na zapis miejsca lokalizacji pomiaru danego odcinka i odczytanej wartości w sposób automatyczny. Nawet jeśli używa się urządzeń elektronicznych do pomiaru (ultradźwiękowych) zamiast tradycyjnych urządzeń mechanicznych, to lokalizacja miejsca pomiarów jest zgrubna, a odczyt zapisywany jest ręcznie w zeszycie, co stwarza pole do licznych błędów.

Rynek docelowy dla urządzenia jest więc dosyć duży. Przenośników długich (>100 m) jest kilka tysięcy. W niektórych obszarach popyt na nowe przenośniki jest rosnący (np. porty i zakłady chemiczne). Zwiększa się bowiem obszar powierzchni składów i obroty oraz rośnie produkcja. Liczba przenośników w kopalniach węgla kamiennego maleje, ale z uwagi na chęć obniżania kosztów transportu wydłuża się trasy pojedynczych instalacji, a przenośniki są unowocześniane. Kopalnie powinny być więc zainteresowane urządzeniami, zapewniającymi dokładne i automatyczne pomiary grubości taśmy

na całej powierzchni. Jest to tym bardziej ważne, że coraz bardziej popularny staje się transport ludzi na taśmie i znaczenie oceny stanu technicznego taśm (w tym grubości) wzrasta z uwagi na zapewnienie bezpieczeństwa.

W kopalniach węgla brunatnego wydobyć zacznie znacząco spadać dopiero po 2040 r. i to wtedy, gdy nie zbuduje się nowych kopalń, które są w planie rządowym (kopalnie Złoczew i Gubin). Przenośniki w nowych kopalniach powinny być w pełni zautomatyzowane i wyposażone w urządzenia diagnostyczne, dlatego zapotrzebowanie na urządzenie do pomiaru grubości taśmy na całej powierzchni będzie istotnie wzrastać.

Kopalnia Węgla Brunatnego Bełchatów jest żywo zainteresowana wdrożeniem urządzenia DiagBelt do oceny stanu rdzenia taśm z linkami stalowymi. Urządzenie BeltSonic może być wdrożone jako dodatkowy moduł tego systemu. Informacja o tempie wycierania się taśmy jest dla kopalni ważna z uwagi na prowadzoną politykę wymiana taśm – przeprowadzenie opłacalnej regeneracji. Warunkiem dobrze przeprowadzonej regeneracji jest nie tylko wymiana taśmy w momencie, gdy jej rdzeń nie jest jeszcze nadmiernie zużyty (ocenę stanu rdzenia zapewni moduł magnetyczny systemu DiagBelt), lecz również by okładki taśmy nie były nadmiernie wytarte. Odstąpienie gumy rdzeniowej i linek znacznie przyspiesza tempo zużycia taśmy. Taka taśma przenośnikowa ma bowiem bardzo niską odporność na przebicia, a w linkach znajdujących się w jej rdzeniu łatwo może rozwijać się korozja. Kontrola grubości taśmy ma więc duże znaczenie ekonomiczne.

Urządzenie BeltSonic będzie działać samodzielnie i przez to obszar jego zastosowania nie ogranicza się tylko do taśm z linkami stalowymi. Pozwala to na jego wykorzystanie na każdym z kilku tysięcy przenośników w Polsce. Oczywiście obszar zastosowania urządzenia BeltSonic nie ogranicza się tylko do Polski. Rynek taśm przenośnikowych na świecie jest rosnący (tempo wzrostu ok. 3% rocznie). W 2017 r. szacowano go na ok. 5,3 mld USD, a w 2023 r. (gdy BeltSonic może być gotowy do wdrożenia) ma osiągnąć wartość ok. 6,3 mld dolarów [47]. Z uwagi na pandemię koronawirusa wcześniejsze szacunki mogą ulec znacznym zmianom, jednak czy rynek przekroczy 6 mld USD czy tylko 5 mld USD, to i tak rocznie będzie się sprzedawać ok. 100 000 km taśm, gdyż ludzkość nie może zrezygnować z surowców mineralnych oraz towarów masowych, do których transportu powszechnie używa się przenośników taśmowych. Jeśli cena 1 mb. zmienia się w granicach 100-250 USD, to rocznie wymienia się od 20 do 50 tys. km taśm. Dla średniej trwałości taśm ok. 10 lat możemy oszacować, że na świecie zainstalowanych jest od 200 do 500 tys. km taśm, co daje łączną długość przenośników w granicach 100-250 tys. km i od 25-250 tys. przenośników (dla średniej długości przenośnika od 1 km do 4 km). Większa liczba odpowiada przenośnikom o długości 1 km. Ich liczba może się podwoić, gdy trwałość taśm wynosi tylko 5 lat.

Roczny rynek urządzeń monitorujących przenośniki ma osiągnąć w 2024 r. obroty rzędu ok. 254 mln USD. Przy szacowanym tempie 3,5% wzrostu oznacza to, że obecnie przekracza 220 mln USD [43].

Jak napisano na stronie jednej z firm monitorujących rynek (MARKETSANDMARKETS), oczekuje się, że w okresie prognozy do roku 2024 technika monitorowania przenośników taśmowych będzie miała największy wkład w rynek monitorowania przenośników.

Monitorowanie przenośnika to proces określania stanu przenośnika taśmowego i jego napędu podczas jego pracy oraz wczesne wykrywanie potencjalnej awarii, co skutkuje niskimi nakładami na obsługi, zmniejszonym czasem przestoju przenośników oraz zwiększoną wydajnością przenośników i produkcją w przemyśle. Taśmy przenośnikowe podlegają przecięciom wzdłużnym, uszkodzeniom obrzeży, zużyciu i przerwanom, oblepianiu urobkiem na bębnach, zbieganiu z trasy, nieosiowemu łączeniu, niewystarczającemu czyszczeniu taśmy itp. Wszelkie zakłócenia pracy przenośnika mają bezpośredni wpływ na wydajność w górnictwie i w branży generacji energii. Uszkodzenie taśmy mogą powodować uszkodzenia linek w rdzeniu, prowadząc nawet do ich odstonięcia, mogą zmniejszyć wytrzymałość połączeń, przyspieszając ich zużycie i doprowadzając do ich rozerwania, a wszystko przez niewystarczające czyszczenie, oraz rozcięcie taśmy przez ciała obce, trafiające na nią z urobkiem. Monitorowanie przenośnika staje się koniecznością, aby uniknąć uszkodzenia taśm przenośnikowych oraz kosztownych przestojów.

Jak prognozuje firma MARKETSandMARKETS, górnictwo prawdopodobnie doświadczy wyższego tempa wzrostu rynku monitorowania przenośników w okresie prognozy.

Oczekuje się, że górnictwo i kopalnictwo odnotuje wyższą stopę wzrostu w okresie prognozy. Przemysł ten związany jest z wydobywaniem zasobów mineralnych i rud metali oraz produkcją metali. Monitorowanie przenośników pomaga uniknąć kosztownych przestojów poprzez terminowe sprawdzanie zauważonych uszkodzeń i podnoszenie alarmów zapobiegawczych. W górnictwie przenośniki mogą pracować w odległych terenach i osiągać bardzo duże wydajności. W tej branży praca w ekstremalnym środowisku może poważnie zagrażać ciągłości ich pracy. Taśma narażona jest na rozcięcia przez ostre przedmioty oraz na uszkodzenia rdzenia przez duże bryły. Z tych względów zastosowanie monitoringu przenośników jest niezbędne, zwłaszcza w tej branży. Proces monitorowania nie tylko zapewnia ciągłość pracy przenośników, ale także pomoże w utrzymaniu wydajności kopalń.

Kluczowymi producentami i dostawcami na rynku urządzeń monitorujących przenośniki są producenci taśm: Fenner Dunlop, PHOENIX CBS GMBH, ContiTech Conveyor Belt Group, firmy serwisujące taśmy: Beltscan Systems Pty oraz dostawcy urządzeń pomiarowych: Bruel and Kjaer, Yellowtec, Honeywell International, Emerson Electric, Parker Hannifin itp. Oferta niektórych z nich, w zakresie pomiaru grubości taśmy lub jej okładek, zostanie tu przedstawiona.

Przy stosunkowo niewielkiej konkurencji na rynku w zakresie automatycznego pomiaru grubości taśm można więc przyjąć, że na rynku jest sporo miejsca dla zastosowania nowego urządzenia, nawet ograniczając potencjalny rynek tylko do Polski.

Pomiary punktowe grubości taśmy i okładek

Pomiar grubości okładek i grubości taśmy są podstawowymi pomiarami, jakie wykonuje się, by zidentyfikować stopień zużycia taśmy. Wdrożenie w KWB Bełchatów i KWB Turów w połowie lat 80. komputerowych systemów: Taśma [19] i Sufler [18], a potem Komputerowa Karta Taśmy – KKT (PWr uczestniczyła w przetargu, lecz nie została wybrana do realizacji wdrożenia) pozwala rejestrować wszelkie zdarzenia, związane ze zmianami odcinków taśm i połączeń w pętach taśm (nazywanych także obwodnicami). Rejestruje się wykonawców, przyczyny wymiany/demontażu, daty realizacji, co pozwala określić czas pracy do demontażu). W systemie KKT wprowadzono opracowaną na Politechnice Wrocławskiej słowną klasyfikację uszkodzeń wraz z ich intensywnościami [17]. Próby rejestracji danych o bieżącym stanie taśmy, w tym pomiarach grubości okładek i taśmy, nie udały się. Ręczne wprowadzanie dużej ilości danych do komputera okazało się zbyt pracochłonne, a próby wykorzystania słownego opisu stanu, pomimo skomputeryzowania wyznaczania indeksu zużycia, nie zostały wdrożone w praktyce [12], mimo planów zastosowania tabletów do zbierania danych z inspekcji.

Pomiary grubości taśm i okładek są jednak wykonywane w trakcie rutynowych inspekcji stanu taśm, zwłaszcza dla odcinków, które osiągnęły średni wiek dla danego przenośnika. Danych nie rejestruje się wprawdzie w komputerach, lecz w dokumentacji papierowej i na obwodnicach, które zawierają wszystkie niezbędne informacje do podejmowania decyzji.

Kolejne pomiary grubości pozwalają na określenie trendu tempa zużywania się okładek. Pozwala to na wyznaczenie daty osiągnięcia przez okładkę minimalnej grubości, dopuszczalnej w danych warunkach pracy przenośnika. Wyznacza to pozostały czas pracy i może służyć do prognozowania strumienia wymian taśm. Zapewne będzie się on różnił od strumienia wymian, generowanego na bazie statystyk czasów pracy taśm do wymiany. Wszelkie zmiany stopnia wykorzystania przenośników, np. wynikające ze zmiany planu pracy kopalni lub dbanie o lepsze jego wypełnienie w celu obniżenia jednostkowego wskaźnika zużycia energii [1-3], mogą wpłynąć na zmianę tempa wycierania. Podobnie zmiana rodzaju transportowanego urobku, może przyczynić się do spowolnienia lub przyspieszenia tempa zużycia (np. rozpoczęcie eksploatacji utworów trudno urabialnych przez koparkę). Określenie pozostałego czasu pracy taśmy na bazie zidentyfikowanego tempa ścierania okładki i aktualnych pomiarów grubości ma charakter prognozy wymian w oparciu o stan, podobnie jak prognoza, pozostałego czasu pracy taśm do osiągnięcia odpowiedniego stopnia uszkodzeń (np. gęstości) rdzenia taśmy [20]. Prognozy oparte na zidentyfikowanym stanie okładek i rdzenia mają przewagę nad prognozami na danych statystycznych, gdyż mają charakter indywidualny, uwzględniający indywidualne zróżnicowanie własności taśmy, warunków jej pracy itp.

Pomiar ręczny jest bardzo pracochłonny, gdyż dla wiarygodnego określenia stanu wytarcia okładek pomiary

powinny być realizowane w wielu wybranych miejscach na przekroju lub w wybranych punktach pomiarowych na powierzchni odcinka taśm. Pojedyncze pomiary nie są reprezentatywne, gdyż taśma w różnych miejscach wyciera się różnie. Czasami fartuchy uszczelnienia w punkcie nadawcy lub urządzenia czyszczące lub naprowadzające taśmę powodują zwiększone procesy abrazyjne. Podobnie konstrukcja przesypu lub kosza zasypowego może powodować niesymetryczny rozkład uderzeń brył urobku w taśmie, co z czasem może prowadzić do nierównomiernego wycierania się okładek i uszkodzeń rdzenia. Przykładem może być rozkład uszkodzeń w rdzeniu na taśmie St w jednej z kopalń węgla kamiennego i kopalni rudy miedzi [22] (rys. 21).

Zidentyfikowanie różnic ubytków grubości taśmy czy okładek przy użyciu ręcznych pomiarów może stwarzać problem. Ręczne grubościomierze mają bowiem ograni-



Rys. 1 Ograniczone możliwości pomiarów grubości taśmy przenośnikowej przy użyciu ręcznych grubościomierzy

czony zasięg ramion (rys. 1), co nie pozwala na pomiar grubości taśmy na całym przekroju. Suwmiarki pozwalają określić grubość taśmy na obrzeżach i na przekrojach taśmy w momencie wykonywania połączeń. Grubociomierze nie- co dalej, a te z bardzo długimi ramionami nawet kilkadziesiąt centymetrów od krawędzi (rys. 1). Niestety w przypadku taśm przenośnikowych stosowanych w górnictwie jest to dalece niewystarczające.

Konieczny zatem staje się pomiar grubości taśmy oraz grubości okładek przy użyciu innych urządzeń. Pomocne stało się wykorzystanie ręcznych urządzeń, pozwalających na pomiar grubości okładek taśm z wykorzystaniem



Rys. 2 Ręczne pomiary grubości taśmy przy użyciu urządzeń ultradźwiękowych wymagają zatrzymania taśmy i wejścia na jej powierzchnię, by przyłożyć sondę do taśmy z użyciem medium łączącego (żelu lub płynu) [39]

fal ultradźwiękowych (rys. 3-8). Na rynku dostępne są urządzenia różnych firm (np. Olympus, Sonotec GmbH, Beltscan Systems Pty Ltd, itp). Niezależnie od użytego urządzenia (mniej lub bardziej poręcznego) i tak do pomiaru konieczne jest opróżnienie taśmy z urobku, zatrzymanie przenośnika oraz wejście na taśmę, by dokonać pomiaru w różnych miejscach na środku lub na całym przekroju poprzecznym taśmy (rys. 2).

Mierniki ultradźwiękowe firmy Olympus

Firma Olympus [26, 46] ma w swej ofercie wiele urządzeń do pomiaru grubości różnych powłok. Niektóre z jej



Rys. 3 Pomiary grubości taśmy/okładki przy użyciu urządzenia ultradźwiękowego firmy Olympus [46]

urządzeń przeznaczone są dla użytkowników taśm przenośnikowych (rys. 3) i zostaną one omówione w dalszej części. Rynek taśm jest dla niej jednym z wielu rynków i nie generuje największych przychodów. Firma oferuje bowiem szerokie spektrum rozwiązań: urządzenia NDT (pośród nich są urządzenia do pomiarów grubości taśm przenośnikowych), analizatory XRF i XRD, mikroskopy przemysłowe oraz wideoskopy i boroskopy.

Pośród rozwiązań NDT firma Olympus oferuje kilka typów urządzeń do pomiarów ultradźwiękowych taśm różnych typów i grubości.

Taśmy przenośnikowe mają złożoną, kilkuwarstwową konstrukcję. Rdzeń składa się z wewnętrznej warstwy tkaniny lub stalowych linek przenoszących naprężenia wzdłużne. Rdzeń czasami chroniony jest warstwami brekerów z linek stalowych ułożonych poprzecznie do osi taśmy lub z tkaniny. Producenci taśm przenośnikowych powinni weryfikować położenie poszczególnych warstw w taśmie, aby upewnić się, że produkt spełnia specyfikację. Weryfikować powinni to również użytkownicy taśm, którzy oprócz tego po zainstalowaniu taśm powinni także okre-



Rys. 4 Ręczne przyrządy do pomiaru grubości firmy Olympus [46]

sowo sprawdzać grubość pozostałej gumy w okładkach, gdyż zużywa się ona w trakcie użytkowania taśmy, aby oszacować pozostały okres użytkowania do ich wymiany. Ponieważ wytrzymałe taśmy są bardzo drogie, dokładne informacje o pozostałej grubości gumy są cenne dla użytkowników.

Urządzenie ultradźwiękowe (głowice) emitują fale ultradźwiękowe, które odbijają się od pierwszej warstwy wzmocnienia. W przypadku taśm wzmacnianych tkaniną bardzo mało energii przenika głębiej, by określić położenie kolejnych warstw. Pomiar całkowitej grubości taśmy jest zwykle możliwy tylko w przypadku niektórych taśm z linkami stalowymi, w których jest wystarczająco szeroki odstęp między stalowymi linkami, aby energia fal mogła dotrzeć bez przeszkód do przeciwnej strony taśmy. Dla większości użytkowników kluczowa jest znajomość grubości gumy pierwszej warstwy, czyli okładki.



Rys. 5 Zestaw pomiarowy firmy Olympus z żelami sprężającymi i zdjęciami z pomiarów [46, 48]

Taśmy przenośnikowe o grubości gumy poniżej 12,5 mm (0,50 cala) można zwykle zmierzyć za pomocą standardowych mierników grubości 38DL PLUS i 45MG (rys. 4-5) z oprogramowaniem Single Element. W przypadku więk-



Rys. 6 Urządzenie Sonowall 70 Thickness Gauge firmy Sonotec do pomiaru grubości (praca pionowa po lewej i pozioma – po prawej) [37]

szych grubości należy zastosować opcję oprogramowania High Penetration dla tych przyrządów pomiarowych. Pomiar grubości można również wykonać za pomocą dowolnego defektoskopu z serii EPOCH. W przypadku niektórych bardzo grubych taśm (do 50 mm lub 2 cali), firma zaleca defektoskopy Epoch (np. serii 650 lub 1000).

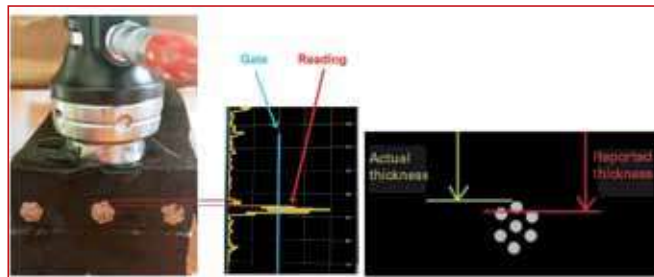
Oferta firmy Sonotec GmbH

Inną firmą, oferującą urządzenia do pomiaru grubości okładek taśm, jest Sonotec GmbH.

Miernik grubości Sonowall 70 (rys. 6) to grubościomierz, idealny do pomiaru grubości taśmy przenośnika.

Istnieje kilka funkcji szczególnie przydatnych do pomiaru taśm. Obejmują one widoczną bramę, jasny wyświetlacz i możliwość dostosowywania częstotliwości pomiaru, gdy zajdzie taka potrzeba, by nie wymieniać sond pomiarowych. Urządzenie może współpracować z różnymi sondami posiadanymi przez użytkownika, w tym z sondami monokrystalicznymi.

Urządzenie pozwala na jednoczesny pomiar grubości 2 warstw. Na rys. 7 Sonowall 70 pokazuje pomierzoną grubość do linii rdzenia i do warstwy tkaninowego brekera. Możliwe jest stosowanie urządzenia do taśm różnych typów (rys. 6: St – po lewej i wieloprzekładowych po



Rys. 7 Zmienność odczytu grubości gumy nad linkami w rdzeniu taśm St. Rysunek pokazuje sondę nad linką i odpowiedni odczyt na wyświetlaczu [10, 42]

prawej). Taśmy tkaninowe stanowią wyjątkowe wyzwanie, ponieważ przekładki nie są gładkie, co stwarza problem przy kalibracji. Przekładki w rdzeniu nie sięgają do obrzeży taśmy, dlatego można to wykorzystać w procesie kalibracji.

Wiele czynników może wpływać na zmienność odczytów grubości warstw w taśmie. Jednym z czynników jest temperatura taśmy. Czas pomiaru również może odgrywać rolę w pewnych sytuacjach, w których występuje duża zmienność temperatury taśmy.

Jak podano w [10, 42], ze względu na konstrukcję linek w taśmie pomiary grubości warstwy gumy nad nimi stwarzają dwa problemy. Linki są wiązką spiralnych drutów, więc pomiar grubości różni się w zależności od tego, gdzie został wykonany pomiar na jej osi (spiralny splot ma swój skok). Inną kwestią jest to, że pozorny odczyt grubości



Rys. 8 Zawartość walizek do przenoszenia urządzeń ultradźwiękowych: przyrząd (Olympus 38DL Ultrasonic Digital Thickness Gauge – po lewej i Sonotec Sonowall 70 Thickness Gauge – po prawej), sondy, kable, bloki kalibracyjne, żel sprężający, próbki testowe, instrukcje obsługi i ładowarka

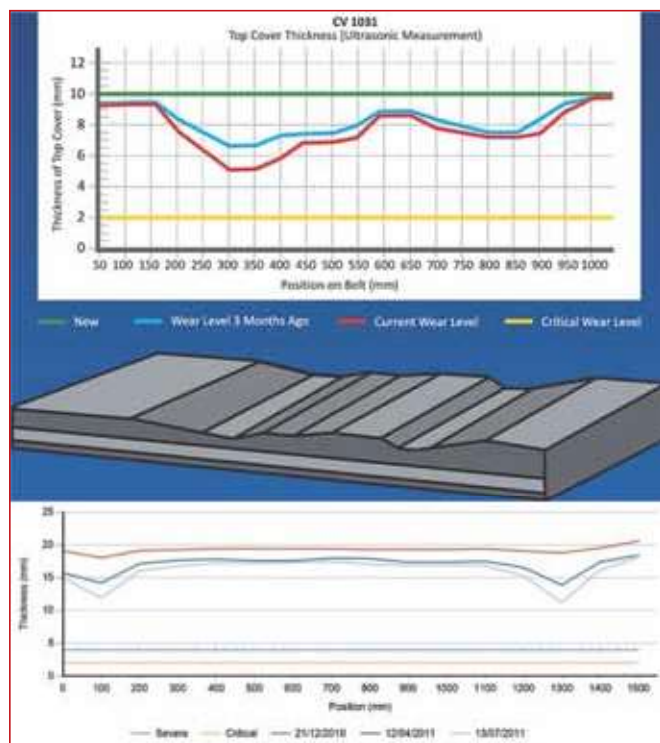
na instrumencie i fizycznie zmierzony odczyt grubości różnią się (rys. 7).

Odczyt instrumentu wykreśla się tuż pod powierzchnią przewodu. Istnieje wiele czynników. Zwykle stosuje się sondę podwójnokrystaliczną 2 MHz.

Niepewność związana z odczytem prawdopodobnie wynika z faktu, że długość fali jest zbyt duża, aby zidentyfikować pierwszy drut w lince. Ponadto sygnał dla tego drutu może być zbyt trudny do odizolowania na wyświetlaczu (zaletą jest wysoka rozdzielczość i wyraźny obraz SONO-WALL 70), dlatego zamiast prawdziwej grubości używane jest echo główne. Niektóre firmy stosują współczynnik korygujący, ale większość nie. W terenie operatorzy nie mają czasu na znalezienie tych małych sygnałów, dlatego rejestrują główne echo.

Wyposażenie walizek do przenoszenia urządzeń pomiarowych firmy Olympus i Sonotec pokazano na rys. 8.

Typowa procedura wyznaczenia profilu zużycia okładki na przekroju poprzecznym taśmy (rys. 9) polega na ręcznym pomiarze grubości okładki nad każdą linką w rdzeniu lub w regularnych odstępach (rys. 2, 7).



Rys. 9 Przykłady profili wytarcia okładek z różnych okresów. Na dolnym widać wytarcie od uszczelnienia w miejscu nadawcy (źródło: [48, 24, 36] dół)

BeltGuard Cover Care firmy BeltScan systems Pty z Australii

Do pomiaru grubości okładek firma BeltScan Systems [32], specjalizująca się wyłącznie w urządzeniach diagnostycznych dla użytkowników przenośników taśmowych, ma własny przenośny miernik ultradźwiękowy. Firma powstała pod koniec lat 70. i jako jedna z pierwszych zaczęła oferować skanery magnetyczne do badania stanu rdzenia taśm z linkami stalowymi. Od tego czasu jej oferta znacznie się rozbudowała i obejmuje jeszcze wiele innych urządzeń,

stając się jednym z ważnych dostawców na rynku urządzeń monitorujących przenośniki. Jedno z urządzeń pomiarowych tej firmy wykorzystywane jest w systemie DiagBelt, opracowanym przez Politechnikę Wrocławską.

Urządzenia Portable Cover Thickness zapewnia pomiar grubości z dokładnością do 0,1 mm. Wykorzystuje technologię indukcyjną i ma zasilanie akumulatorowe. Pomiarów dokonuje się ręcznie. Celem firmy było stworzenie prze-



Rys. 10 Przenośne urządzenie ultradźwiękowe BeltGuard Cover Care CC222 [34-35]

nośnego urządzenia do pomiaru grubości okładki taśm z linkami stalowymi bez ograniczeń standardowych urządzeń ultradźwiękowych. Urządzenie Cover Care CC222 to instrument indukcyjny o rozdzielczości 0,1 mm. Jego twórcy udało się wyeliminować środek sprzęgający (żel lub płyn) oraz wpływ temperatury. Oczywiście taśma musi być nieruchoma w trakcie pomiaru, podobnie jak w przypadku innych ręcznych urządzeń ultradźwiękowych. Przenośne urządzenie jest zasilane wewnętrznym akumulatorem 12Volt-1,3 Ah, który może być wielokrotnie ładowany. Czas pracy po pełnym załadowaniu wynosi około dziewięciu godzin. System wykorzystuje ręczną sondę indukcyjną do wykrywania stalowych linek w rdzeniu. Dane wyjściowe z sondy są dostarczane do mikroprocesora, który oblicza odległość od powierzchni sondy do górnej części linek, stosując unikalny algorytm lub predefiniowany „profil taśmy CC222” i wyświetla wartość w mm na łatwym do odczytu wyświetlaczu.

Istotnym wyróżnikiem tego urządzenia jest to, że w przeciwieństwie do innych przyrządów ultradźwiękowych, stosowanych do tego samego celu, nie jest konieczne żadne medium sprzęgające, a na dokładność pomiaru nie ma wpływu temperatura otoczenia ani skład warstwy okładkowej.

Wyniki pomiarów zmieniają się nie tylko w zależności od grubości okładki, ale również w zależności od konstrukcji rdzenia. Z tego powodu dla każdego rodzaju mierzonej taśmy potrzebne jest podanie jej profilu CC222. Profile można łatwo tworzyć przy użyciu niewielkiej próbki taśm i są zapisywane do wykorzystania w przyszłości. Urządzenie CC222 uzupełnia inne przyrządy RCT do ochrony taśm, umożliwiając określenie kształtu profilu zużycia w dowolnym przekroju taśmy.

Sonda indukcyjna jest zaprojektowana do wykrywania blachy stalowej, a nie stalowej linki w rdzeniu. Oczywiście, rdzeń taśmy St 6800 z umieszczonymi blisko siebie linkami o dużej średnicy będzie bardziej przypominał stalową płytę niż lekka taśma St 800. Dlatego przyrząd wymaga odpowiedniej kalibracji i zlinearyzowania, by nadawał się do pomiaru różnych taśm.



Rys. 11 Walizka na urządzenie CC222 i tablica do kalibracji systemu [34-35]

Kalibracja przyrządu jest prosta i jednoznaczna na podstawie małej próbki taśm i przekładek z tworzywa sztucznego (plastic shims) (rys. 11).

Profile taśm CC222 można przechowywać w dowolnie wybranym folderze plików na laptopie, komputerze, tablecie lub zewnętrznej pamięci USB. Komunikacja między instrumentem a komputerem odbywa się przez USB.

Pomiarów skanerami dokonuje się ręcznie na wybranym przekroju taśmy typu St (z rdzeniem z linkami stalowymi), mierząc sygnał odbity od rdzenia lub w wybranych, dyskretnych punktach na powierzchni taśmy. Wymaga to wejścia serwisanta na taśmę i przyłożenie głowicy bezpośrednio do okładki w miejscu pomiaru i odczytu grubości na wyświetlaczu.

Wymaga to wielu pomiarów dokonanych po zatrzymaniu taśmy. Oznacza to, że w trakcie pomiarów nie można realizować zadań transportowych, co może ograniczyć wydajność.

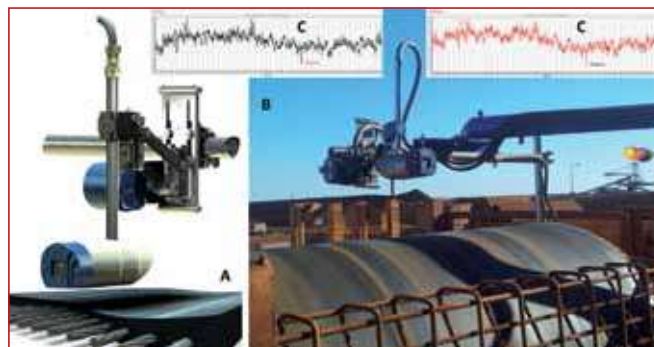
Jak napisano w [25, 49], „grubość taśmy określana jest w każdym przedziale serwisowym za pomocą mobilnego urządzenia ultradźwiękowego i przechowywana jest w bazie danych. Program wykorzystuje dane do przewidywania, gdy należy wymienić taśmę ze względu na jej zużycie. Oznacza to, że żywotność przenośnika taśmowego może być w pełni wykorzystana. Kiedy kończy się okres użytkowania taśmy, klient, dystrybutor i pracownik działu sprzedaży otrzymują powiadomienia, by mogli zaplanować zakupy części zamiennych i dogodny moment na ich wymianę”. Autor nie precyzuje, jakich urządzeń używa się do tego celu.

Ciągły pomiar grubości taśmy i okładek

Na światowym rynku są dostępne urządzenia do ciągłego pomiaru grubości w ruchu, jednak nie analizują one całego przekroju taśm, lecz wybrany pas we wskazanym miejscu, w którym taśma wyciera się najszybciej. Z urządzeń oferujących ciągły (dyskretny, ale z zadaną bardzo dużą częstością próbkowania) pomiar wzdłuż całej pętli taśmy można wskazać dwa liczące się rozwiązania. Jest to system firmy Beltscan Systems o nazwie Remaining Cover Thickness (Pozostała Grubość Okładki) [35],

pozwalający na bezkontaktowy pomiar grubości okładki w czasie rzeczywistym (online), ale tylko dla 10 cm pasa taśmy w wybranym miejscu jej przekroju. Pomiar można realizować tylko na taśmach z linkami stalowymi, bo sygnał pomiarowy musi odbić się od stalowych linek.

Głowica czujnika (rys. 12 A) zawiera sondy, niezbędne do wykonania pomiarów grubości okładki. Pomiar odbywa się na szerokości ~100 mm przekroju poprzecznego taśmy. Głowica montowana jest na stałe w miejscu, w którym taśma wyciera się najbardziej. Decyzja oparta jest na historycznych pomiarach poprzecznego profilu okładki nośnej.

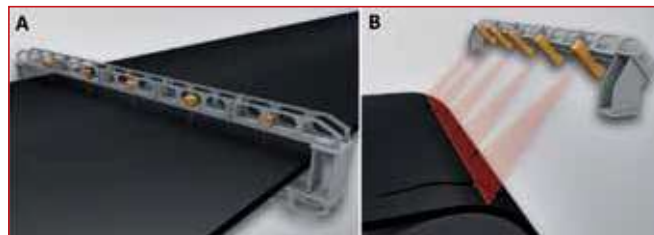


Rys. 12 System RST firmy Beltscan Systems z Australii [32]

Regularne skanowanie grubości okładek pętli system RCT dostarcza informacji niezbędnych do prognozowania żywotności okładek w połączeniu z innymi wspomagającymi informacjami o przyszłej pracy, takimi jak czas wykorzystania przenośnika i planowanie do przeniesienia masy. Według twórców systemu powinno to wystarczyć do wiarygodnej prognozy bez konieczności regularnego skanowania grubości okładek w wielu miejscach.

Urządzenie jest trwale zamontowane na konstrukcji przenośnika, jednak gdy skanowanie nie jest wykonywane, głowica czujnika jest parkowana w bezpiecznej odległości od powierzchni taśmy (rys. 12 B). W trakcie pomiarów (na żądanie lub w regularnych odstępach czasu) głowica opuszczana jest do wysokości ok. 30 mm nad linkami rdzenia (rys. 12 A), co daje ciągły obraz zmian grubości okładki nośnej wzdłuż całej pętli (rys. 12 C). Pozwala to zidentyfikować miejsca o najmniejszej grubości okładki.

Innym urządzeniem jest CONTI® INSPECT [40], zapewniający pomiar grubości taśmy (0-55 mm) i kontrolę jej powierzchni w miejscach jej wycierania. Wymaga tylko jednego obiegu taśmy do wykonania pomiarów grubości. Składa się z trzech modułów: Belt Thickness

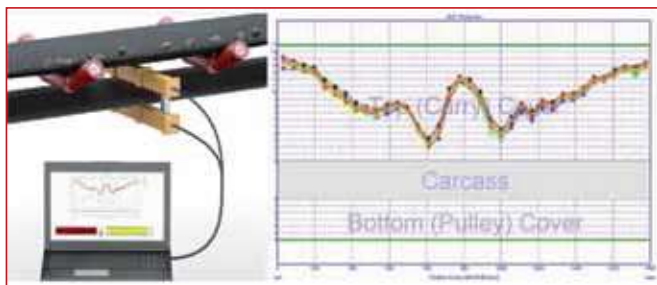


Rys. 13 Schematy rysunki urządzenia do pomiaru grubości (Belt Thickness Measurement, A) i skanowania powierzchni taśmy (Belt Surface Inspection, B) z oferty firmy ContiTech [40]

Measurement (rys. 13 A), Belt Surface Inspection (rys. 13 B) i Cord Condition. Przypomina więc bardziej system DiagBelt z modulem BeltSonic. Funkcjonalność modułu Belt Thickness Measurement odpowiada możliwościom systemu BeltSonic.

Pomiar dokonywany jest jednak jednostronnie, a nie dwustronnie i różnicowo, gdyż realizowany jest ponad płaskim elementem specjalnej konstrukcji. Producent nie zdradza szczegółów technicznych rozwiązania, a w internecie można znaleźć jedynie schematy urządzeń, pokazujące sposób działania i to bardzo ogólnie. Nie znamy liczby czujników, bo trudno przyjąć, że 5 czujników widocznych na rysunku wystarcza do identyfikacji zmian profilu poprzecznego grubości taśmy. W systemie laboratoryjnym BeltSonic [8] zamontowano 4 czujniki na 1 mb. przekroju taśmy, a przewiduje się zwiększenie ich liczby.

Pomiar dwustronny, ale przy użyciu technologii laserowej firma Contitech, zaproponowała w urządzeniu CONTI WearInspect (rys. 14). Czujniki laserowe umożliwiają pomiar pełnej grubości taśmy. Dodatkowo system wyświetla



Rys. 14 Urządzenie laserowe CONTI WearInspect z obrazem profilu poprzecznego grubości taśmy [40]

profile wytarcia na przekrojach, dane o grubości taśmy dla segmentu oraz dane % wytarcia, a także miejsca wytarcć i ich zidentyfikowaną wielkość. Wszystko zawarte jest w łatwym do zrozumienia raporcie w formacie PDF. Zdaniem twórców wizualne przedstawienie wytarcia okładek łatwe do interpretacji bezpośrednio przy przenośniku w trakcie pomiaru i po zebraniu danych dla całej pętli. Wyniki zawarte są w raporcie ze wskazaniem lokalizacji miejsc o największym zużyciu, profilu grubości taśmy na przekrojach, poziomicy grubości. Wyniki mogą być wykorzystane do predykcji pozostałego czasu oraz trendu tempa zużycia, powiązanego z parametrami przenośnika. Może to posłużyć do wydłużenia życia taśmy.

System CONTI® WearInspect może być stosowany do taśm tkaninowych i taśm z linkami stalowymi. Można odtworzyć powierzchnię okładki górnej przy założeniu, że okładka nośna nie zużywa się, lub wykorzystując dane o zużyciu okładki nośnej z pomiarów ultradźwiękowych. Dane o zużyciu okładek mogą być wykorzystane do predykcji pozostałego czasu pracy taśmy oraz identyfikacji czynników, powodujących przyspieszone zużycie taśmy (np. wykrycie wytarcia w miejscu montażu uszczelnień).

Duża liczba urządzeń pomiarowych w ofercie tej firmy o nakładających się obszarach badania i różniących się techniką pomiarową wynika z dużej aktywności tej firmy w przejmowaniu innych firm. Przejęte firmy, takie jak Phoenix

czy Veyance, miały nie tylko dobrze wyposażone własne ośrodki badawcze, ale również własne lub opracowane na ich zamówienia urządzenia monitorujące taśmy. Te innowacyjne rozwiązania po przejęciu funkcjonują pod nowymi nazwami. Trwają też prace nad ich integracją, dlatego w ofercie pojawiają się rozwiązania o przedrostkach „multi” i „total” (Conti MultiProtect, Conti TotalProtect). Firma oddziela też urządzenia montowane na stałe, spełniające funkcje ochronne poprzez dodanie końcówki „Protect”, oraz urządzenia mobilne do okresowych badań z przedrostkiem „Inspect”. Oferowane „totalne” rozwiązania mają swoje zalety i wady, które omówione były w artykule poświęconym taśmie przenośnikowej 4.0 [15-16]. Widać, że coraz więcej firm zaczyna oferować rozwiązania do ochrony i monitorowania przenośników taśmowych, a zwłaszcza kosztownej taśmy. Zarówno system BeltSonic, jak i DiagBelt i DiagBelt+ wpisują się w te trendy. Na długich przenośnikach przy dużej dbałości i starannej obsłudze taśm oraz przy monitorowaniu ich stanu taśma ma szansę pracować 10, a nawet 20 lat. Nie da się jednak tego osiągnąć bez, choćby okresowej, weryfikacji ich stanu. Szkoda, że producenci taśm zlokalizowani w Polsce nie podążają tym trendem. Swego czasu odrzucili ofertę opracowania systemu dla gospodarki taśmami, a ostatnio nie zainteresowali się opracowaniem urządzenia do monitorowania taśm z linkami stalowymi. Jak widać, firma Continental umiejętnie odczytuje sygnały płynące od użytkowników i naukowców i konsekwentnie wdraża wiele nowych idei. Ma to istotne dla ich pozycji na rynku, gdyż nie tylko zwiększa prestiż i umacnia wizerunek innowacyjnego lidera, lecz ma też wymiar finansowy. Już obecnie obroty na rynku urządzeń monitorujących przenośniki przekraczają 5% wartości rynku taśm, a w przyszłości mogą przekroczyć 10%, gdyż prognoza tempa wzrostu dla urządzeń monitorujących jest wyższa niż dla rozwoju rynku taśm.



Rys. 15 Zdjęcia z realnych pomiarów grubości okładki systemem RCT firmy BeltScan Systems [35]

Firma Continental chroni jednak swoje rozwiązania, gdyż w internecie i w prasie fachowej brakuje zdjęć z instalacji tych rozwiązań na przenośnikach (ryc. 15), relacji użytkowników (studiów przypadku) czy filmów z pomiarów takimi urządzeniami, jak Belt Guard RCT Deployment [51]. Producent nie publikuje też listy swoich użytkowników, tak jak np. w przypadku systemu australijskiego [33].

Swoje rozwiązanie ma też firma Rema TipTop. System BTM (Belt Thickness Monitoring), który pozwala na określenie grubości całej taśmy poprzez ultradźwiękowy pomiar odległości od czujników do powierzchni taśm pod krążnikiem stabilizującym drgania taśmy (rys. 16 A) lub na bębnie zwrotnym (rys. 16 B). Pomiar nie jest różnicowy



Rys. 16 System pomiaru grubości taśmy (Belt Thickness Monitoring – BTM) firmy REMA TipTop (źródło: [50], REMA TIP TOP DBP Conveyor Belting Portfolio)

(dwustronny), jak w systemie BeltSonic, i wykonywany jest z częstotliwością >1000 Hz. Z uwagi na wykonywanie jednostronnego pomiaru poślizg taśmy lub jej drgania mogą zaburzać i zniekształcać pomiar. Zniekształcenia wprowadza też przyjęcie, że okładka bieżna zużywa się równomiernie, gdyż grubość taśmy wyznacza się wzglę-



Rys. 17 Przykłady zmian grubości i uszkodzeń powierzchni okładki nośnej [28]

dem gładkiej powierzchni krążnika stabilizującego jej bieg lub bębna.

W świetle publikacji [28] pomiar jednostronny uniemożliwia wykrycie deformacji i uszkodzeń powierzchni okładki bieżnej (rys. 17).

Twierdzenie producenta, że pomiar jednostronny pokazuje całkowite zużycie i uszkodzenie taśmy przenośnika i dokładnie identyfikuje uszkodzenia taśmy oraz przewiduje pozostały okres użytkowania taśmy, należy uznać za słuszny tylko częściowo. Niestety dokładny jest jedynie obraz jej powierzchni nośnej, gdy liczba czujników jest duża. Na podstawie zmian łącznej



Rys. 18 Idea pomiaru ultradźwiękowego jednostronnego, ilustrująca niedokładności pomiaru wytarcia okładki bieżnej

grubości dokonywane są prognozy pozostałego czasu pracy taśmy, jednak zmiany lokalne (wyłobienia, wytarcia i wyrwania) okładki bieżnej nie mogą być zidentyfikowane, jeśli na pozostałym obszarze przekroju nie występują. Oczywiście z uwagi na napięcie wstępne taśmy będzie ona dociskana do bębna z dużą siłą, co zlikwiduje

lub zmniejszy wielkość lokalnych wytarć i uszkodzeń. Pomimo tego rysy, wyłobienia i karby nie zostaną tym pomiarem zidentyfikowane (rys. 18). Zaletą systemu jest to, że może generować obraz taśmy już po pierwszym obrocie pętli.

Swoje rozwiązanie oferuje również firma Fenner Dunlop. W internecie występuje pod długą i opisową nazwą Fenner Dunlop Online Thickness Tester for Conveyor Belts [41], oznaczającą urządzenie pracujące w ruchu ciągłym (online) do testowania grubości, które przeznaczone jest dla taśm przenośnikowych.

Tester grubości taśmy jest urządzeniem, które wykorzystuje sondy ultradźwiękowe do pomiaru profilu wytarcia gumy okładki taśmy przenośnikowej.

Śledząc zużycie w czasie, można z większą wiarygodnością i dokładniej prognozować pozostały czas pracy taśmy do wytarcia okładki do granicznej, dopuszczalnej wartości. Wykrycie przedwczesnego zużycia gumy okładkowej pozwala zidentyfikować i usunąć pojawiające się problemy, zanim spowodują poważniejszą awarię.

Jak reklamuje producent, urządzenie może działać na każdym typie przenośnika taśmowego z taśmami przekładkowymi, z linkami stalowymi czy też jednolicie tkanym rdzeniem. Pomiar może być wykonywany na taśmie będącej w ruchu lub po jej zatrzymaniu. Sprawdzono jego działanie przy prędkości do 5 m/s i na taśmach o szerokości do 3200 mm. System może zostać zainstalowany na stałe i zapewniać bieżące odczyty i informacje online. Zaplanowane raporty zużycia można przysyłać pocztą elektroniczną, a raporty mogą być generowane na żądanie. Dane są dostępne za pośrednictwem lokalnego intranetu lub za pośrednictwem korporacyjnej sieci VPN. Firma oferuje również usługę czasowego montażu i wykonanie pomiarów.

System pozwala mierzyć profil wytarcia okładki zainstalowanej taśmy dowolnego typu z identyfikacją obszarów o największym zużyciu. Docelowa dokładność pomiaru to 0,1 mm, która jest większa niż pomiar urządzeniami ręcznymi. Profile i predykcje mogą być wykonane już po dwóch cyklu obrotu pętli taśm. Zdaniem firmy osiągnięcie



Rys. 19 Tester grubości taśm firmy Fenner-Dunlop (Fenner Dunlop Online Thickness Tester) [41]

podobnej wydajności i rozdzielczości przy odczytach przy pomiarach ręcznych jest po prostu niemożliwe na nawet dla bardzo krótkich przenośników.

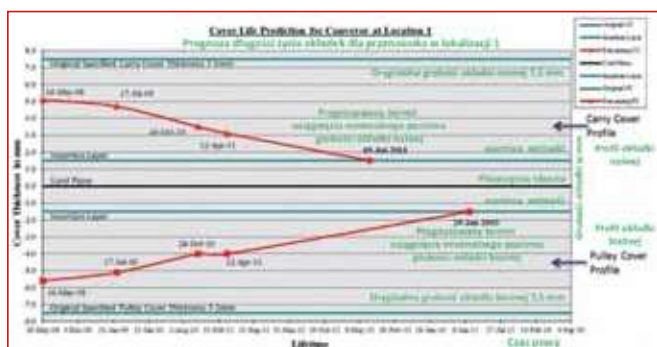
Niestety podobnie jak w ofercie innych producentów, nie ma szczegółów technicznych (nie znamy sposobu montażu, gęstości sond pomiarowych, odległości od taśmy itp. Z rysunku można się domyślać, że pomiar też jest jednostronny (ryc. 19).

Zaletą systemów ultradźwiękowych oferowanych przez producentów taśm w stosunku do systemu australijskiego jest skanowanie całej szerokości taśmy. Oczywiście pomiar jest dyskretny w miejscach instalacji czujników. Producenci nie podają jednak gęstości ich rozmieszczenia w swoich urządzeniach, a na schematach jest ich zaledwie kilka. System australijski mierzy grubość okładki w taśmach St, a systemy niemieckie oraz BeltSonic grubość całej taśmy i nie ma znaczenia, czy taśma jest tekstylna, z linkami stalowymi, czy ma rdzeń jednolicie tkany czy też jest wykonany z kevlaru/aramidu/tavronu. Zakres zastosowania jest więc znacznie szerszy. Przewagą systemu australijskiego jest pomiar grubości okładki, a nie całej taśmy, co ma znaczenie, gdy np. taśmę chcemy regenerować i nie dopuścić do wytarcia brekerów czy odstonięcia gumy rdzeniowej. W przypadku regeneracji, którą wykonuje się głównie dla taśm z linkami stalowymi, większe znaczenie ma stan uszkodzeń rdzenia, gdyż uszkodzenia linek i ich korozja może wpłynąć na zmniejszenie przyczepności gumy do linek i ponowna wulkanizacja stan tylko pogorszy.

System BeltSonic ma realizować pomiary w sposób różnicowy (dwustronny), co powinno wyeliminować wpływ drgań taśmy oraz określić grubość taśmy bez odnoszenia się do płaskiej powierzchni, reprezentującej okładkę nośną, co wnosi nieokreślony błąd pomiaru (rys. 18). Taki sposób pomiarów powinien więc uchwycić zmiany grubości całej taśmy oraz zidentyfikować wyżłobienia, rysy czy karby na powierzchniach obu okładek. Duża gęstość czujników powinna zwiększyć prawdopodobieństwa ich identyfikacji, choć oczywiście nie gwarantuje tego w 100%. Planowane jest też wyznaczanie wielu kluczowych wskaźników zużycia taśmy (jedno-, dwu- i trójwymiarowych), znacznie poszerzające możliwości analityczne opisanych tu systemów.

Prognoza pozostałego czasu pracy taśmy do zadanej grubości okładek

Niektóre firmy, obsługujące taśmy przenośnikowe i stosujące pomiary grubości, przygotowują prognozę pozostałego czasu pracy taśmy na podstawie tempa jej wycierania i wskazanej minimalnej, dopuszczalnej jej grubości (rys. 20). Jeśli pomiar realizowany jest ręcznym skanem ultradźwiękowym, to można dla wybranych punktów pomiarowych i powtarzaniu pomiarów w kolejnych okre-



Rys. 20 Przykład prognozy tempa zmian grubości okładek i wyznaczenia momentu demontażu taśmy na podstawie punktowych pomiarów ich grubości, raport CBM [9, 38]

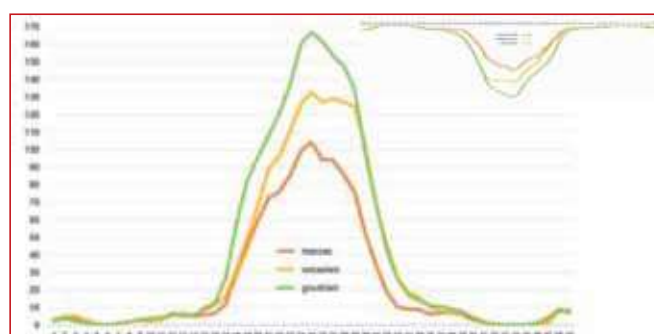
sach wykreślić linię tempa wycierania się okładki górnej (nośnej) i dolnej (bieżnej) (czerwone linie na rys. 20). Jak widać na rysunku, tempo zmian nie musi być jednakowe dla obu okładek. Na zamieszczonym wykresie (rys. 20), że moment demontażu taśmy wcześniej nastąpi z uwagi na wytarcie okładki nośnej, co jest naturalne z uwagi na odbiór i przenoszenie przez nią urobku. Można się zastanawiać, czy grubość okładki bieżnej powinna być taka sama, jak nośnej (7,5 mm), gdyż z uwagi na zużycie materiału i energii nie jest to racjonalne. Okładka bieżna mogłaby być o ponad 1 mm cieńsza, co dałoby oszczędność gumy przy produkcji oraz zmniejszyło zużycie energii potrzebnej do jej transportu przez cały okres użytkowania.

Prognoza zmian grubości taśmy jest również zaplanowana do implementacji w systemie BeltSonic, ale w znacznie szerszym zakresie. Nietylko dlatego, że podstawą do sporządzenia prognozy nie będą pojedyncze pomiary wykonane w kolejnych okresach, lecz gęsto wykonane pomiary na całej długości pętli taśmy w wyznaczonych miejscach rozmieszczenia czujników na profilu (rys. 22).

Przedewszystkim dlatego, że trudno w dużych odstępach czasu wykonać pomiar w tej samej lokalizacji. Konieczność powtórzenia pomiaru w tym samym miejscu jest oczywista, gdyż taśma nie wyciera się na całej powierzchni tak samo. Profil wytarcia zmienia się wzdłuż przekroju taśmy (rys. 9), co jest konsekwencją sposobu podawania urobku w punktach nadawy oraz lokalizacji i sposobu montażu urządzeń czyszczących, fartuchów ograniczających oraz urządzeń zapobiegających zbieganiu taśmy.

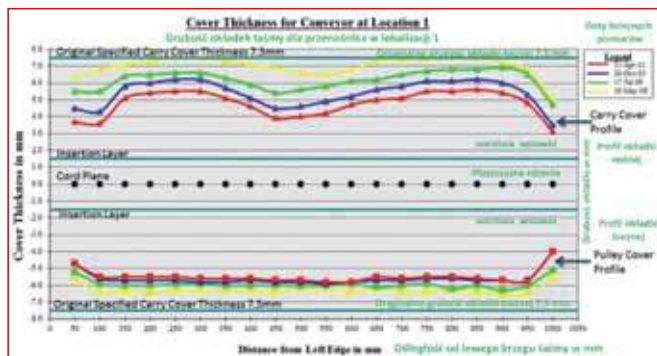
O ile nie ma większych wątpliwości co do dokładności samego pomiaru, która zależy od dokładności użytych urządzeń pomiarowych i sposobu kalibracji i metody pomiaru, o tyle można mieć wątpliwości co do możliwości dokonania pomiaru w tej samej lokalizacji.

Grubość okładek i taśmy zmienia się również wzdłuż osi taśmy. W pętli pracują bowiem odcinki taśm różnych producentów, różniące się dotychczasowym czasem pracy oraz zapewne własnościami gumy okładkowej. O ile profil wytarcia okładek taśmy wzdłuż przekroju przybiera rozkład regularny, co dokumentuje również rozkład uszkodzeń rdzenia (rys. 21), to wzdłuż osi charakter wytarcia może mieć charakter jednostajny, lecz z lokalnymi losowymi odchyleniami, co również potwierdził rozkład uszkodzeń rdzenia wzdłuż osi taśmy [21]. Porównując rysunki (21 i 22) należy uwzględnić, że wyższa częstość uszkodzeń



Rys. 21 Rozkład częstości uszkodzeń rdzenia w taśmach St [22]

oznacza większe wytarcie. Odbicie lustrzane wykresu względem osi OX odpowiada w dużym przybliżeniu liniom grubości okładek w kolejnych pomiarach (rys. 22), choć



Rys. 22 Profil poprzeczny grubości taśmy przenośnikowej w kolejnych pomiarach [9, 38]

przecież pomiary były robione na innych przenośnikach i w innych warunkach pracy. Oczywiście proces ścierania okładek jest procesem kumulacyjnym proporcjonalnie do upływu czasu lub lepszej miary trwałości taśm, czyli przeniesionej masy.

Dlatego, choć linki na brzegach prawie są nieuszkodzone, to jednak zakres wytarcia gumy na obrzeżach jest dużo większy niż częstość ich uszkodzeń. Zbiegająca na boki taśma często styka się z elementami konstrukcji i rolkami naprowadzającymi, co powoduje wytarcia. Widać też, że procesy zużycia taśmy nie powinny być rozpatrywane wyłącznie w oparciu o ocenę stanu rdzenia albo o ocenę wytarcia okładek. Oba procesy należy rozpatrywać łącznie, gdyż w zależności od warunków pracy przenośnika i rodzaju urobku jeden lub drugi proces mogą dominować. Oba są też ze sobą powiązane i wpływają na siebie, gdyż zmniejszanie się grubości okładek taśmy zwiększa prawdopodobieństwo przebiccia okładki nośnej i brekera przez duże bryły urobku i uszkodzenia rdzenia. Z tej właśnie przyczyny tempo przyrostu uszkodzeń się zwiększa i jest nieliniowe w czasie [20].

Z tych przyczyn opracowywanie przez Politechnikę Wrocławską obu urządzeń jednocześnie i możliwość wspólnego ich testowania oraz integracji wyników jest ze wszech miar słuszną i powinno przyczynić się do lepszego rozpoznania procesów degradacji taśmy i dokładniejszych prognoz osiągnięcia stanu kwalifikującego taśmę do wymiany w prowadzonej polityce wymian.

Połączenie możliwości systemu BeltSonic z systemem DiagBelt sprawi, że po integracji system będzie prognozować pozostały czas pracy taśmy w oparciu o informacje o tempie wycierania się taśmy i uszkodzania się rdzenia taśm typu St, co było przedmiotem doktoratu Wnioskodawczyni pt. „Model rozwoju uszkodzeń rdzenia taśm z linkami stalowymi” [20].

Systemy do ultradźwiękowego pomiaru grubości taśm (np. Belt Guard Cover Care CC222 firmy scan Systems z Australii, 38DL PLUS and 45MG firmy Olympus z USA, Salutron BeltCheck® TH 40 firmy Associated Technology (Pty) z RPA) mają również ograniczone zastosowanie, bo metoda pomiaru jest punktowa. Są to pomiary punktowe

o dokładności ok. 0,1 mm. Wymagają przyłożenia głowicy pomiarowej bezpośrednio do nieruchomej powierzchni taśmy w miejscu pomiaru. Pomiarów nie da się więc wykonać w trakcie ruchu przenośnika, a odczyt i zapis danych z pomiarów obarczonych jest błędami ludzkimi. Metoda ta jest bardzo pracochłonna i wymaga zaangażowania wielu pracowników do prowadzenia regularnych inspekcji dziesiątków kilometrów zainstalowanych taśm.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono metody punktowego i ciągłego pomiaru grubości okładek taśm przenośnikowych w kontekście projektu LIDER [23], którego celem jest zbudowanie innowacyjnego urządzenia diagnostycznego do pomiaru grubości taśm przenośnikowych w ruchu o nazwie BeltSonic. Pierwowzór urządzenia BeltSonic stworzono w Laboratorium Transportu Taśmowego na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej w ramach prac badawczych własnych. Pozwoliły one opracować i przetestować opatentowaną [6] metodę pomiaru dwustronnego różnicowego oraz skonstruować urządzenie laboratoryjne, które opisano w pracy [8]. Tu przedstawiono, jak współcześnie prowadzi się pomiary grubości okładek i taśmy, oraz opisane urządzenia oferowane obecnie przez niektórych producentów taśm i firmy serwisujące taśmy na świecie. Pomiary punktowe są prowadzone powszechnie, czasami badania prowadzi się intensywnie w celu stworzenia profili wytarcia taśmy/okładek na przekroju poprzecznym przy użyciu ręcznych skanerów ultradźwiękowych. Jest to ważne, gdyż wytarcie okładki nośnej i bieżnej to jedna z naturalnych przyczyn demontażu taśm, pozwalających wyznaczyć ich trwałość. Znajomość grubości taśmy jest też nieodzowna przy wyznaczaniu optymalnego momentu wymiany taśmy w celu jej regeneracji [7, 13, 21]. Nie powinno się bowiem doprowadzić do odsłonięcia gumy rdzeniowej, gdyż wtedy proces uszkodzenia rdzenia przyspiesza, a linki szybko tracą przyczepność do gumy, co uniemożliwia ich regenerację. Dlatego aktualna grubość taśmy jest ważnym miernikiem stopnia/indeksu jej zużycia [12]. Może być ona miarą jednowymiarową, gdy pomiary prowadzi się punktowo. Dwuwymiarową, gdy wyznacza się profil poprzeczny wytarcia taśmy/okładek i powierzchnię wytarcia. Może być też miarą trójwymiarową, gdy potrafimy wyznaczać objętość wytartej taśmy/okładek, mierząc zmiany grubości na całej powierzchni taśmy. Takie pomiary umożliwia już obecna wersja systemu BeltSonic, a nowy prototyp, który ma powstać w ramach projektu LIDER [23], ma to robić znacznie dokładniej, oferując nowe miary, które można wykorzystać w analizach zużycia energii. Jak pokazano w pracy [27], skorygowany współczynnik determinacji zgodności modelu z danymi pomiarowymi wzrasta przy zastąpieniu czasu pracy przeniesioną masą jako miarą trwałości oraz ze wzrostem liczby wymiarów miary zużycia taśmy [27] – od punktowych pomiarów po objętość startej gumy w okładach. Zaoferowanie użytkownikom urządzenia pozwalającego na dokładne wyznaczanie trójwymiarowych miar wytarcia taśmy powinno zatem

znacznie zwiększać dokładność prognoz zużycia taśmy i wyznaczenia momentów wymiany. Jest to szczególnie istotne tam, gdzie warunki pracy przenośnika są doskonałe, np. na długich przenośnikach transportujących nieabrazyjny materiał (np. węgiel brunatny).

W kolejnych częściach nowego cyklu będziemy przedstawiać plany projektowe i relacjonować postępy prac badawczych, związane z tym projektem.

Abstract

In the previous issue of Industrial Transport and Heavy Machines (no. 1 (47)/2020), the editors presented information that Dr Eng. Agata Kirjanów-Błażej obtained funding for the project she submitted as part of the NCBiR [29] program called LIDER [23]. In this issue, we present the research plans related to the development of the BeltSonic device under it. The aim of the project is to create an innovative device for thickness measurement and assessment of changes in the transverse and longitudinal profile of conveyor belts used in mining and industry using conveyor belts for transport. The project will include the creation of a laboratory version of the device and based on it the final industrial version for testing in the open-cast mine. On the basis of the laboratory tests carried out and the successfully completed first stage, an industrial version will be made that takes into account the needs of the user.

The measurement will be carried out continuously along the axis of the conveyor belt. The thickness of the conveyor belt will be measured on a flat section during conveyor operation. The solution will be able to be used on all types of conveyor belts used in mining and industry using conveyor belts for horizontal transport. An application called BeltSonic will be created to operate the measuring device. It will allow the user to enter basic information about the conveyor before starting the measurement. The measurement results will show the cross-section of the conveyor belt along the entire length of the loop and will show the longitudinal and transversal profile of the conveyor belt under test. ■

Literatura

- [1] Bajda M., Jurdziak L., Konieczka Z.: Porównanie zużycia energii elektrycznej przez przenośniki taśmowe w kopalniach węgla brunatnego. Cz. 1, Badanie istotności statystycznej różnic i korelacji, *Górnictwo Odkrywkowe* nr 5, 2018, s. 4-14, ISSN: 0043-2075
- [2] Bajda M., Jurdziak L., Konieczka Z.: Porównanie zużycia energii elektrycznej przez przenośniki taśmowe w kopalniach węgla brunatnego. Cz. 2, Badanie istotności statystycznej różnic i korelacji, *Górnictwo Odkrywkowe* nr 3, 2019.
- [3] Bajda M., Jurdziak L., Konieczka Z.: Porównanie zużycia energii elektrycznej przez przenośniki taśmowe w kopalniach węgla brunatnego. Cz. 3, Korekta prognozy jednostkowego zużycia energii o wpływ temperatury, *Górnictwo Odkrywkowe* nr 4, 2019, s. 11-23.
- [4] Błażej R.: Review of the Newest NDT Equipment for Conveyor Belt Diagnostics. *Diagnostyka – Applied Structural Health, Usage And Condition Monitoring*, 4(64), 2012, s. 21-24.

[5] Błażej R.: Monografia, Ocena stanu technicznego taśm przenośnikowych z linkami stalowymi, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2018, 160 s.

[6] Błażej R., Jurdziak L., Gładysiewicz L., Kozłowski T., Kirjanów A.: Patent. Polska, nr 228973. Urządzenie do pomiaru grubości oraz oceny zmian profilu poprzecznego i wzdłużnego taśmy przenośnikowej: Int. Cl. B65G43/02, G01B11/16, G01B11/06, B65G43/00. Zgłosz. nr 418454 z 24.08.2016. Opubl. 30.05.2018/Politechnika Wroclawska, Wrocław 2018, PL; http://pubserv.uprp.pl/PublicationServer/generuj_dokument.php?plik=PL_000000000228973_B1_PDF

[7] Błażej R., Jurdziak L., Kawalec W.: Condition monitoring of conveyor belts as a tool for proper selection of their replacement time. Conference: 4th International Conference on Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations (CMMNO) Location: Lyon, FRANCE Date: DEC 15-17, 2014, *Advances in condition monitoring of machinery in non-stationary operations* Springer: Applied Condition Monitoring, vol. 4, 2014, s. 483-494.

[8] Błażej R., Jurdziak L., Kirjanów A., Kozłowski T.: A device for measuring conveyor belt thickness and for evaluating the changes in belt transverse and longitudinal profile, *Diagnostyka* 18(4), 2017, s. 97-102.

[9] Conveyor Belt Monitoring Pty player: CBM – Cover Thickness Testing.

[10] Emmrich M.: Ultrasonic Thickness Testing of Reinforced Rubber Conveyor Belts, Published on August 30, 2019, <https://www.linkedin.com/pulse/ultrasonic-thickness-testing-reinforced-rubber-conveyor-maxi-emmrich/>

[11] Jurdziak L.: Gospodarka taśmami przenośnikowymi w kopalniach – stan obecny i perspektywy, *Górnictwo Odkrywkowe*, vol. 40, nr 5/6, 1998, s. 63-81

[12] Jurdziak L.: The conveyor belt wear index and its application in belts replacement policy. *Proceedings of the 9th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, Athens, 2000, 6-9 November, A.A.BALKEMA, s 589-594. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.682.2885>.

[13] Jurdziak L.: Economic Analysis of Steel Cord Conveyor Belts Replacement Strategy in Order to Undertake Profitable Refurbishment of Worn out Belts. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2017, Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. Available at: <http://dx.doi.org/10.5593/sgem2017/13/s03.036>.

[14] Jurdziak L., Błażej R.: Polityka wymian taśm przenośnikowych z uwzględnieniem ich regeneracji – korzyści z wykorzystania diagnostyki stanu taśm, *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze*, nr 2, 2016, s. 6.

[15] Jurdziak L., Błażej R., Bajda M.: Conveyor Belt 4.0. *Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance*, 2018, s. 645-654. Available at: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-97490-3_61.

[16] Jurdziak L., Błażej R., Bajda M.: Cyfrowa rewolucja w transporcie przenośnikowym – taśma przenośnikowa 4.0, *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze*, nr 2, 2018, s. 6-18.

[17] Jurdziak L., Hardygóra M.: Jednolita klasyfikacja uszkodzeń taśm przenośnikowych i ich intensywności, *Prace*

Naukowe Instytutu Górnictwa PWr, nr 80, Seria: Konferencje, nr 20, Oficyna Wydawnicza PWr, Wrocław 1996.

[18] Jurdziak L., Kawalec W.: System informatyczny wspomagający gospodarkę taśmami przenośnikowymi w KWB Turów, Górnictwo Odkrywkowe, R. 32, nr 2/3, 1990, s. 69-76.

[19] Jurdziak L., Stolarczyk R., Zawadzka B.: Nowe narzędzia do komputerowego wspomaganie zarządzania eksploatacją taśm, Transport Przemysłowy, nr 2, 2002, s. 10-14.

[20] Kirjanów-Błażej A.: Model rozwoju uszkodzeń rdzenia taśm przenośnikowych z linkami stalowymi, Rozprawa doktorska, Politechnika Wrocławska, 2019, 134 s.

[21] Kirjanów-Błażej A., Jurdziak L., Błażej R., Kozłowski T.: Identyfikacja rozwoju uszkodzeń rdzenia taśm przenośnikowych typu St w przestrzeni i czasie. Część 1 – rozkład uszkodzeń wzdłuż osi taśmy, Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze, nr 1(43)/2019, s. 2-12.

[22] Kirjanów-Błażej A., Jurdziak L., Błażej R., Kozłowski T.: Identyfikacja rozwoju uszkodzeń rdzenia taśm przenośnikowych typu St w przestrzeni i czasie. Część 2 – rozkład uszkodzeń w poprzek taśmy, Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze, nr 2(44)/2019, s. 2-10.

[23] Program LIDER, Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze, nr 1(47)/2020, s. 60-61, ISSN 1899-5489.

[24] Staden A.: Conveyor belt monitoring: new technologies for the protection of conveyor belting. Bulk Solids Handling Archive, in Bulk solids Handling, vol. 37 (2017), no. 2 (za Bulk Solids Archive, July 3, 2019. Marel Droettboom <https://news.bulk-online.com/bulk-solids-handling-archive/conveyor-belt-monitoring-new-technologies-for-the-protection-of-conveyor-belting.html>).

[25] Szafranski B.: Serwis taśm przenośnikowych. Inżynieria & Utrzymanie Ruchu, 6 listopada 2018, <https://www.utrzymanieruchu.pl/serwis-tasm-przenosnikowych/>

[26] Thickness tester. Materiały firmy Olympus.

[1] Webb C., Hodkiewicz M., Muller S., Wilson R.: Conveyor Belt Wear Life Modelling, CEED, 2013.

[27] Zhang, Y.: Conveyor Belt Bottom Cover Failure from Idlers and Pulleys, Proceedings of the International Materials Handling Conference (Beltcon) 18, 2015.

[28] NCBiR – Program Badań Stosowanych I konkurs, 178633: „Inteligentny system do automatycznego badania i ciągłej diagnozy stanu taśm przenośnikowych”, miejsce realizacji: Politechnika Wrocławska, Instytut Górnictwa, termin rozpoczęcia 01.10.2012, termin zakończenia 30.09.2015.

[29] Projekt rozwojowy N R09 0019 06: „Przenośnik taśmowy o zwiększonej efektywności ekonomicznej i energetycznej zbudowany i eksploatowany wg zasad zrównoważonego rozwoju”, miejsce realizacji: Politechnika Wrocławska, Instytut Górnictwa, ZSM; termin zakończenia 31.01.2012.

[30] Zlecenie z PGE CiEK SA O. Turów: „Opracowanie, wykonanie i uruchomienie wysokiej rozdzielczości systemu automatycznej diagnostyki taśm przenośnikowych z rdzeniem z linkami stalowymi w PGE GiEK S.A. Oddział KWB TURÓW w Bogatyni”, Politechnika Wrocławska, 2013.

[31] <http://www.beltscan.com>

[32] <http://www.beltscan.com/clients-list.html>

[33] <http://www.beltscan.com/products/portable-remaining-cover-thickness-measurement.html>

[34] <http://www.beltscan.com/products/remaining-cover-thickness-measurement.html>

[35] <https://news.bulk-online.com/bulk-solids-handling-archive/conveyor-belt-monitoring-new-technologies-for-the-protection-of-conveyor-belting.html>

[36] <https://uwksolutions.com.au/conveyor-belt-application/>

[37] <https://www.cbmi.com.au/page/attachment/48/cbm-flyer-cover-thickness-testing>

[38] <https://www.cbmi.com.au/services/thickness-testing.html>

[39] <https://www.continental-industry.com/en/Solutions/Conveyor-Belt-Systems/Conveyor-Services/Belt-Monitoring>

[40] <https://www.fennerdunlop.com.au/conveyor-products/conveyor-diagnostic/online-thickness-tester>

[41] <https://www.linkedin.com/pulse/ultrasonic-thickness-testing-reinforced-rubber-conveyor-maxi-emmrich/>

[42] <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/conveyor-monitoring-market-55899833.html>

[43] <https://www.merrid.com.pl/pl/oferta/systemy/system-wydobywczy>

[44] <https://www.merrid.com.pl/pl/portfolio/realizacja-3/>

[45] <https://www.olympus-ims.com/en/applications/thickness-testing-rubber-conveyor-belt/>

[46] <https://www.researchandmarkets.com/reports/4514522/conveyor-beltmarket-global-industry-trends>

[47] <https://www.seconveyors.com.au/services2>

[48] <https://www.utrzymanieruchu.pl/serwis-tasm-przenosnikowych/>

[49] <https://www.youtube.com/watch?v=vbNKUhsMaBI>

[50] <https://youtu.be/vltArsMybPY>

dr inż. Agata Kirjanów-Błażej

dr inż. Tomasz Kozłowski

Wydział Elektroniki

Politechnika Wrocławska

dr hab. inż. Leszek Jurdziak, prof. uczelni

dr hab. inż. Ryszard Błażej, prof. uczelni

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

Politechnika Wrocławska