

Ryszard Błażej, Leszek Jurdziak*, Radosław Zimroz**

POTRZEBA OPRACOWANIA WŁASNYCH URZĄDZEŃ DIAGNOSTYCZNYCH DO AUTOMATYCZNEJ OCENY STANU TAŚM PRZENOŚNIKOWYCH W KOPALNIACH ODKRYWKOWYCH**

1. Ocena dostępnych na rynku urządzeń NDT do badania stanu taśmy i jej rdzenia

Na świecie jest zaledwie kilku liczących się na rynku dostawców urządzeń do magnetycznego badania stanu rdzenia taśm z linkami stalowymi. Lista tego typu firm obejmuje m.in. Beltscan Pty Ltd (Australia), CBM Conveyor Belt Monitoring (Australia), CBT Conveyor Belt Technology (USA), Conveyor Technologies CT (Australia i USA), Intron (Rosja), rEscan International (Australia i USA), TCK (Chiny) i Veyance Technologies (USA). Większość z nich nastawiona jest na sprzedaż urządzeń w połączeniu ze świadczeniem usług skanowania z oddali (swojej siedziby) przy użyciu Internetu. Dotyczy to zwłaszcza firm wyspecjalizowanych w tej dziedzinie (Beltscan, CBM, CBT, CT). Firmy, dla których głównym obszarem działalności jest badanie stanu lin konstrukcyjnych np. w mostach, lin wyciągowych w kopalniach lub kolejkach górskich (Intron i TCK) chętnie sprzedają same urządzenia, bo badanie taśm stanowi dla nich jedynie margines działalności i brak w ich ofercie usług zdalnego skanowania.

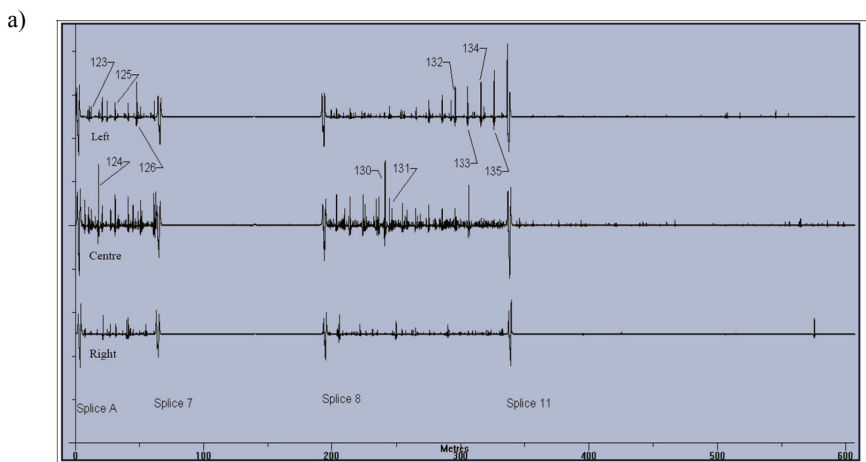
Firmy związane z producentami taśm (rEscan z Fenner Dunlop i Veyance Technologies z GoodYear) mają wprowadzić w swej ofercie takie usługi, jednak jak można się domyśleć oferowane urządzenia i usługi są wykorzystywane do wspomagania sprzedaży taśm. Oczywiście nie ma w tym nic złego, gdy firmy mają kompleksową ofertę taśm i urządzeń do ich

* Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska, Wrocław

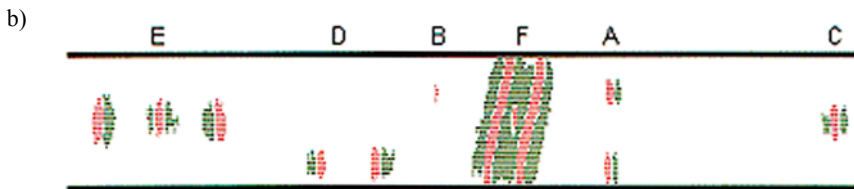
** Publikacja finansowana ze środków na naukę w latach 2009–2012 jako projekt badawczy MNiSW, nr N N504 348036 pt. „Kompleksowa metoda oceny zużycia taśm przenośnikowych i jej wykorzystanie do opracowania racjonalnej strategii wymian”.

badania. Trzeba jednak wiedzieć, że może to mieć wpływ na sposób wyceny, działania marketingowe i przepływ informacji o klientach.

Przeprowadzone badania pokazały również, że wbrew przypuszczeniom rynek badań taśm metodami magnetycznymi nie jest zbyt duży w stosunku do rynku taśm z linkami stalowymi. Pomimo bezpośredniego wpływu zapewnienia właściwych usług taśm na poziom kosztów transportu [6, 7] oraz możliwość prowadzenie efektywnej ekonomicznie regeneracji i zwiększanie trwałości taśm [6], a także ponad 30-letniej obecności tej technologii na rynku [5] liczba firm świadczących usługi i sprzedających urządzenia jest niewielka, a skala działalności niezbyt duża. Firma Conveyor Technologies na swojej stronie internetowej podaje, że wykonuje zaledwie kilkadziesiąt zdalnych scanów rocznie. Zastanawiający jest też niewielki postęp w technologii. Większość firm bazuje na tradycyjnej metodzie znanej od 30. lat (1. generacja). Tylko kilka firm wprowadziła obraz dwuwymiarowy uszkodzeń do prezentacji stanu taśmy (2. generacja), co jest konsekwencją zwiększonej rozdzielczości skanowania w poprzek taśmy (Beltscan, Conveyor Belt Technologies, Veyance Technologies). Dopiero od niedawna podjęto prace nad nowymi urządzeniami do oceny stanu taśm z wykorzystaniem cyfrowych kamer i laserów (3. generacja).



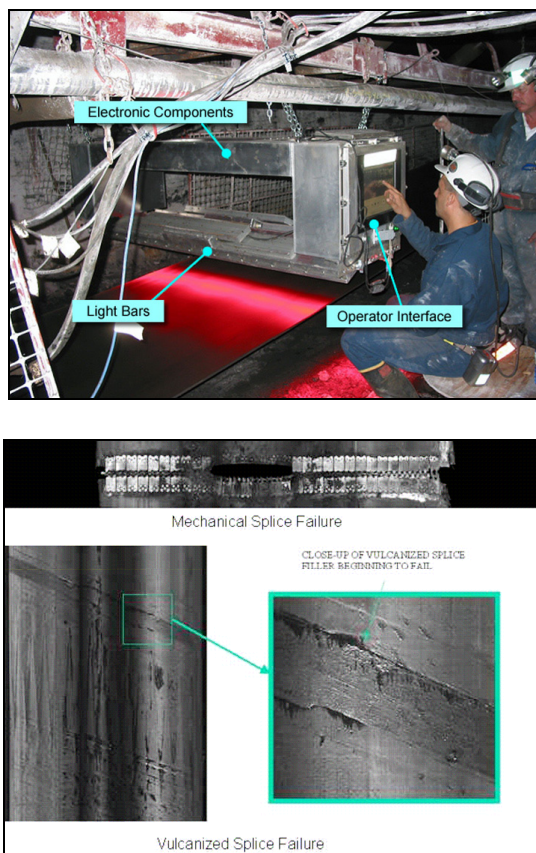
Page 26 of CBM Sample Report



Rys. 1. Tradycyjny graficzny obraz stanu rdzenia taśm typu St z systemu CBM (a) oraz dwuwymiarowy obraz uszkodzeń w systemie BELT C.A.T.™ (b)

Na taki stan rzeczy złożyło się kilka przyczyn: ochrona patentowa wykluczająca konkurencję, chęć kontroli technologii i klientów, ograniczony geograficznie obszar świadczenia usług w początkowym okresie oraz trudności w interpretacji wyników (rys. 1a), co utrudniało właściwe wykorzystanie urządzeń przez użytkowników i skłaniało ich do korzystania z usług zewnętrznych. Dawało to większą kontrolę nad technologią i jej użytkownikami (renta monopolowa). W efekcie skoncentrowały się one nad możliwością zdalnego świadczenia swoich usług nie zmieniając zasadniczo nic w podstawowej technologii.

Po upływie okresu ochrony patentowej pojawiły się inne firmy poza Australią w tym z technologii tej zaczęli korzystać niektórzy producenci taśm (np. urządzenia EyeQ, a potem EagleEye z firmy Fenner-Dunlop). Nie wpłynęło to jednak zasadniczo na jej rozpowszechnienie. Urządzenia nadal były bardzo drogie, a interpretacja sygnałów trudna i czasochłonna. Po koniec lat 90. ubiegłego wieku pojawił się nowy system Belt C.A.T. MDR [2], który istotnie ułatwił interpretację stanu taśmy (rys. 1b), jednak nie zmienił jej czasochłonności.



Rys. 2. System wizyjnej inspekcji taśm w trakcie działania. Przykłady rejestrowanych obrazów złączy mechanicznych i wulkanizowanych z oznakami uszkodzeń

Analiza możliwości urządzeń, wielkości firm oraz skali i sposobu działania prowadzi do wniosku, że gotowe rozwiązania nie gwarantują sukcesu w ich wykorzystaniu w Polsce. Rozwiązania są zamknięte, oparte na tradycyjnej technologii, a sposób działania (np. samodzielne wykonywanie usług z oddali) niedostosowany do oczekiwań. Stosunkowym nowym rozwiązaniem jest system CordGuardTM z firmy Veyance Technology. Jego możliwości (obraz 2D uszkodzeń rdzenia i wysoka rozdzielczość) jak i cena są atrakcyjne, jednak system jest zamknięty i przeznaczony do samodzielnego wykorzystania bez możliwości integracji z innymi lokalnymi rozwiązaniami. Bardziej otwarty jest system BeltGuardTM z firmy Beltscan, jednak jest on dopiero w fazie przedkomercyjnej.

2. Pozytywny przykład transferu technologii

Dobrym przykładem pozytywnie rozwijającej się współpracy nauki z przemysłem w zakresie oceny stanu taśm przenośnikowych jest urządzenie „Conveyor Belt Inspection System” opracowane przez National Robotics Engineering Center (NREC) z Carnegie Mellon University we współpracy z Consol Energy, Inc.

W 2004 roku w ramach grantu o wartości \$ 2 mln (po \$ 1 mln z Departament of Energy US i Consol Energy Inc.) w ciągu 2 lat opracowany został prototyp urządzenia do identyfikacji uszkodzeń taśm, którego celem było m.in. monitorowanie stanu mechanicznych złączy, których awarie powodowały liczne, nieplanowane i kosztowne przestoje [1]. Do konsorcjum dołączyła firma Beitzel Corp., która rozpoczęła produkcję urządzenia i jego wprowadzenie na rynek. Obecnie w 7 kopalniach w pracuje już ponad 16 takich prototypów. Sukces tego konsorcjum pokazuje, że można innowacyjne rozwiązanie skomercjalizować i wdrożyć do praktyki z sukcesem.

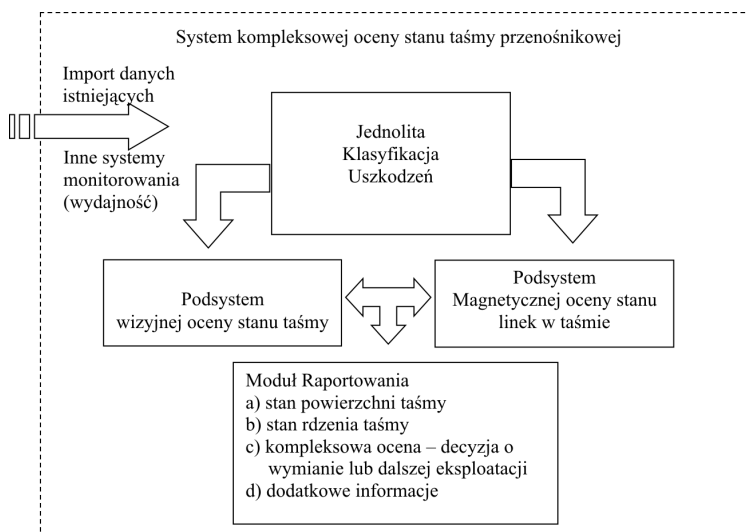
3. Potrzeba opracowania własnych urządzeń diagnostycznych do automatycznej oceny stanu taśm

Przeprowadzona analiza skłoniła autorów do opracowania własnych rozwiązań w zakresie automatycznej oceny stanu taśmy [3]. Pomysły na opracowanie takich rozwiązań były generowane i rozważane od dawna. Już na początku lat 80-tych w systemie informatycznym Trwałość [13] analizowano statystyczne dane o przyczynach uszkodzeń taśm przenośnikowych. W opracowanym systemie Sufler wspomagającym prowadzenie gospodarki taśmami opracowanym w KWB „Turów” analizy takie mogły być prowadzone na bieżąco [12]. Rejestrację bieżącego stanu taśmy z wizualnej ich oceny w trakcie ich inspekcji zaproponowano przy okazji wprowadzenia jednolitej klasyfikacji uszkodzeń [JKU, 11]. Duża liczba danych i brak możliwości automatyzacji ich wprowadzania oraz dokonywania ocen utrudniał to zadanie. Ocenę stanu taśm według JKU w tej kopalni ograniczono, więc do taśm demontowanych [8, 9, 14]. Bez zastosowania komputerów polowych i prostego interfejsu wprowadzania ocen stanu taśm na miejscu w trakcie przeglądów nie było to możliwe. Miało to być

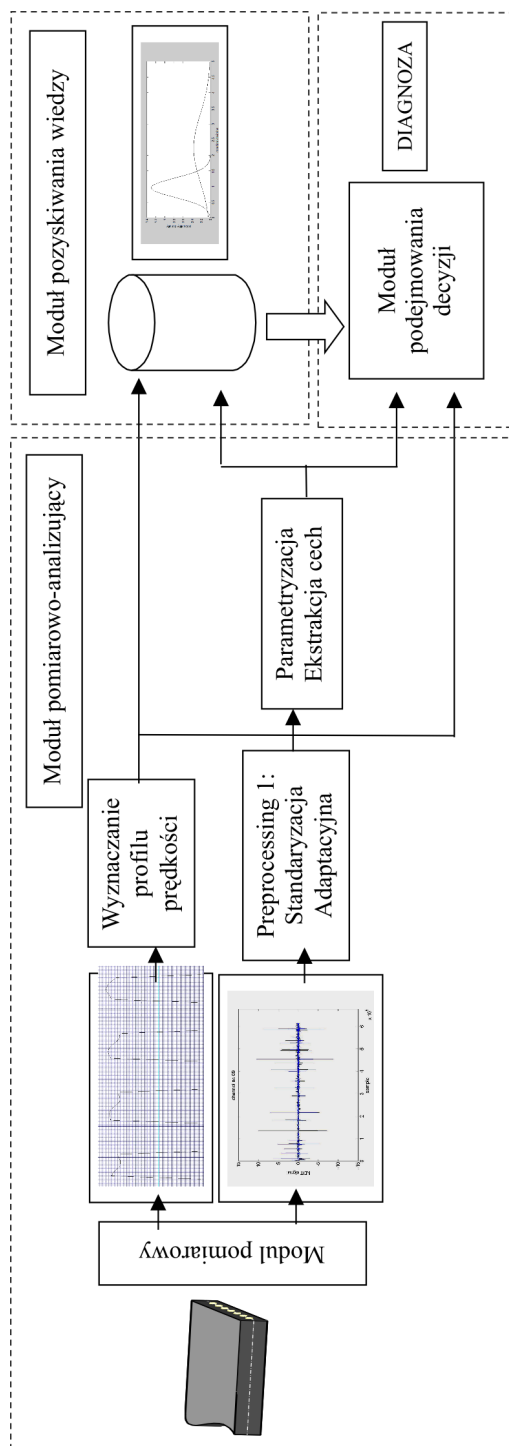
zaimplementowane w systemie Komputerowa Karta Taśmy. Wizualna ocena ma jednak swoje wady. Jest subiektywna i niedokładna. Można ją zastąpić oceną dokonywaną przez urządzenia NDT (np. wizyjne lub magnetyczne) po integracji z obecnie użytkowanymi w kopalniach systemami komputerowymi. Gotowe systemy dostępne na rynku nie w pełni można wykorzystać do tego celu. Konieczne jest więc opracowanie własnych rozwiązań by w trakcie podejmowania decyzji o losie taśmy wykorzystać wszystkie dostępne dane i informacje [15]. Dopiero pełna automatyzacja całego procesu od zebrania danych do podjęcia decyzji o losie taśmy pozwoli w pełni wykorzystać zalety tych urządzeń i pozwoli obsłużyć wiele przenośników niewielką ilością, bardzo drogich przecież urządzeń diagnostycznych. Przekazanie kontroli stanu taśm na zewnątrz do firm usługowych nie jest dobrym rozwiązaniem. Można wprawdzie skorzystać z urządzeń i rozwiązań firm obcych (np. poprzez wykorzystanie listwy pomiarowej systemu EyeQ, [3]), jednak przetwarzanie sygnałów diagnostycznych generowanych przez nie musi odbywać się na miejscu.

4. Propozycja własnych, zintegrowanych i w pełni automatycznych rozwiązań

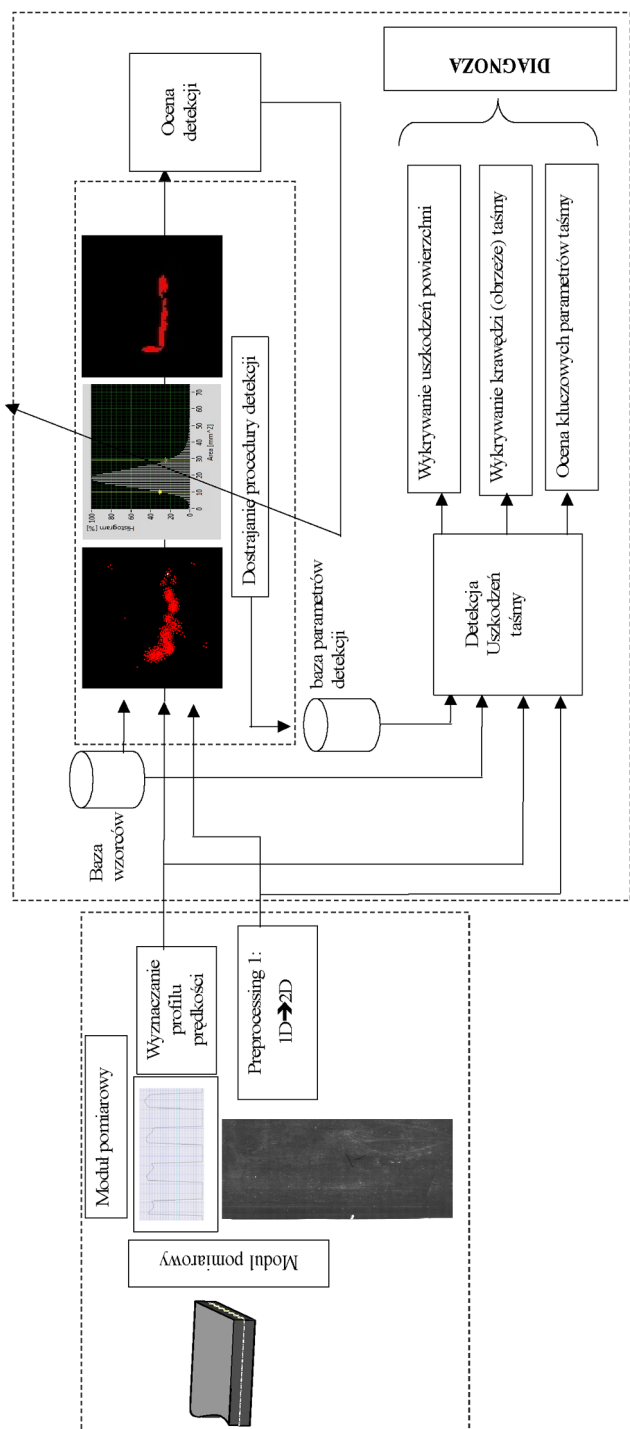
Cechą wyróżniającą proponowane rozwiązania jest modułowa budowa systemu i otwartość każdego z modułów (w sensie wymiany informacji i możliwości rozbudowy) umożliwiająca integrację z systemami istniejącymi w kopalni. W zależności od potrzeb i możliwości finansowych przedsiębiorstwa (środki przeznaczone na inwestycje) możliwe są różne warianty konfiguracyjne systemu (przenośny, stacjonarny, monitorowanie, pomiary okresowe itd.).



Rys. 3. Schemat systemu kompleksowej oceny stanu taśmy



Rys. 4. Schemat podsystemu do oceny stanu rdzenia taśm



Rys. 5. Podsystem do wizyjnej oceny stanu powierzchni taśmy

Ważniejsze funkcje systemu (rys. 3) w pełnej wersji obejmują integrację informacji z użytkowanych systemów monitorowania (np. pomiar wydajności), modułu jednolitej klasyfikacji uszkodzeń (obejmującej słowną klasyfikację uszkodzeń) oraz podsystemów oceny stanu powierzchni taśmy (metoda wizyjna) oraz rdzenia taśmy St (metoda magnetyczna). Kompleksowa ocena stanu taśmy obejmująca detekcję, rozpoznanie uszkodzenia, ocenę stanu taśmy i sformułowanie zaleceń z uwzględnieniem czynników ekonomicznych i ryzyka awarii możliwa jest tylko przy pełnej integracji modułów i wykorzystania informacji z podanych powyżej źródeł.

Podsystem do oceny stanu linek stalowych w taśmie przENOŚnikowej (rys. 4) również charakteryzuje się modułową budową, ponieważ kontynuuje się prace nad usprawnieniem procesu detekcji i klasyfikacji uszkodzeń linek i budowy modułów szacowania ryzyka eksploatacyjnego awarii, przewidywania optymalnego momentu demontażu taśmy czy oceny ekonomicznej opłacalności regeneracji taśm.

Moduł pomiarowo-analizujący w zakresie rejestracji sygnałów diagnostycznych jest w zasadzie podobny do innych istniejących systemów, jedyną cechą wyraźnie odróżniającą go od konkurencji jest wykorzystanie popularnych, uniwersalnych komponentów do budowy systemu akwizycji i stosunkowo duża liczba kanałów (max. 24) a co za tym idzie rozdzielczość (10 cm).

Innowacyjne podejścia zostały zastosowane w zakresie przetwarzania sygnałów diagnostycznych i wykrywania uszkodzeń (adaptacyjna standaryzacja, ekstrakcja cech, statystyczne rozpoznawanie uszkodzeń, proces uczenia/testowania, automatyzacja detekcji itd., [16]).

Moduł oceny wizyjnej stanu taśmy (rys. 5), w szczególności powierzchni i stanu obrzeży wykorzystuje techniki rejestracji, przetwarzania i analizy obrazów wizyjnych. Specjalizowana kamera liniowa skanuje/rejestruje obraz w postaci pojedynczej linii, dane te następnie formowane są w postaci obrazu o pełnej szerokości taśmy i długości N linii. Tak przygotowane obrazy poddawane są przetwarzaniu i analizie w celu wykrywania uszkodzeń i oceny innych kluczowych parametrów taśmy. Proces dostrojenia systemu do danego typu taśmy, uczenie wykrywania wzorców służących do detekcji znacznika początku taśmy realizowane są w górnej części schematu. Po ustaleniu parametrów detekcji, nauczaniu rozpoznawania wzorców początku taśmy, system wykorzystując wspomniany obraz z kamery liniowej oraz informację o prędkości przetwarza dane z kamery i wykrywa uszkodzenia powierzchni. Określa przy tym stan obrzeży taśmy oraz identyfikuje inne kluczowe dla pracy przENOŚnika parametry związane z taśmą, jak zmianę długości pętli taśmy oraz jej szerokości.

5. Wnioski

Analiza dostępnych na rynku urządzeń NDT do oceny stanu taśm jednoznacznie pokazuje, że w polskich warunkach najlepszym rozwiązaniem jest opracowanie własnych rozwiązań umożliwiających współpracę z lokalnymi systemami komputerowymi. Wysokie koszty skanowania taśm oraz duża ich ilość wymaga pełnej automatyzacji procesu począwszy od zebrania danych, poprzez ich interpretację, po podjęcie decyzji o losie taśm. Pozwoliłoby to

istotnie zredukować rosnące koszty pracy związane z inspekcją taśm oraz wybierać optymalny moment na ich naprawy i regenerację, co zwiększyłoby ich trwałość i istotnie zredukowało koszty. Urządzenia te mogłyby też być wykorzystane do weryfikacji jakości nowych i regenerowanych taśm, połączeń i napraw wykonanych przez firmy zewnętrzne.

Połączenie prowadzenia oceny stanu taśm z systemami zabezpieczającymi taśmę przed zdarzeniami w postaci rozcięć wzdłużnych dodatkowo zmniejszałoby koszty postojów awaryjnych i strat z tym związanych. Wstępne analizy finansowe [10] pokazują, że można obniżyć jednostkowe koszty transportu zwiększając wydatki na urządzenia NDT.

Dotychczasowe osiągnięcia autorów przy opracowywaniu systemu wizyjnego oraz przetwarzania sygnałów diagnostycznych z systemu magnetycznego w połączeniu z bogatym doświadczeniem w obszarze badań taśm stanowią gwarancję wysokiej jakości rozwiązań i ich dopasowania do potrzeb firm górniczych w Polsce, oraz niższej ceny w porównaniu do istniejących rozwiązań komercyjnych.

LITERATURA

- [1] *Bancroft B., Fromme Ch., Pilarski T.*: Belt Vision System For Monitoring Mechanical Splices. Materiały konferencyjne Longwall USA International Exhibition and Conference, 2003
- [2] *Blum D.*: Scanning steel cord conveyor belts with the "Belt C.A.T." MDR system. Journal of Bulk Solids Handling. Volume: 16 Number: 3 Page: 437, 1996
- [3] *Błażej R., Jurdziak L.*: Możliwości automatyzacji detekcji uszkodzeń taśmy w odstawie przenośnikami taśmowymi. Międzynarodowy Kongres Górnictwa Rud Miedzi, Perspektywy i wyzwania, Tom 1, str. 257–264, 2009
- [4] *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 2010, nr 3, s. 24–28
- [5] *Harrison A.*: 15 Years of Conveyor Belt Nondestructive Evaluation, bulk solids handling, Vol.16 No.1 January/March, 1996
- [6] *Jurdziak L.*: Gospodarka taśmami przenośnikowymi w kopalniach — stan obecny i perspektywy. Górnictwo Odkrywkowe, R. 40, Nr 5/6, s. 63–81, 1998
- [7] *Jurdziak L.*: Wpływ zmian trwałości taśm na koszty eksploatacji przenośników. Wiadomości Górnicze, vol. 50, nr 10, s. 424–431, 1999
- [8] *Jurdziak L.*: Analiza uszkodzeń taśm z linkami stalowymi i taśm tkaninowych w KWB „Turów”. Transport Przemysłowy, Nr 1, s. 22–26, 2002
- [9] *Jurdziak L.*: Analiza intensywności uszkodzeń taśm z linkami stalowymi i tkaninowych w KWB „Turów”. Górnictwo Odkrywkowe. R. 47, nr 4/5, s. 38–46, 2005
- [10] *Jurdziak L., Błażej R.*: Szacowanie kosztów utrzymania taśm w kopalni stosującej różne strategie wymian taśm i metody wykrywania ich uszkodzeń. Cuprum. 2010, nr 4, s. 5–18, 2011
- [11] *Jurdziak L., Hardygóra M.*: Jednolita klasyfikacja uszkodzeń taśm przenośnikowych i ich intensywności. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Konferencje, Nr 20, seria gł.: nr 80. Oficyna Wydaw. PWroc., s. 131–143, 1996
- [12] *Jurdziak L., Kawalec W.*: System informatyczny wspomagający gospodarkę taśmami przenośnikowymi w KWB Turów. Górnictwo Odkrywkowe. 1990 R. 32, nr 2/3, s. 69–76, 1990
- [13] *Jurdziak L., Kawalec W., Wajda A.*: Ocena trwałości taśm przenośnikowych w KWB „BEŁCHATÓW”, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa P.Wr. Nr 45, Seria: Konferencje Nr 9, Podstawowe Problemy Transportu Kopalnianego, Wrocław, 1985
- [14] *Jurdziak L., Rebiger Ł.*: Analiza uszkodzeń taśm w KWB „Turów”. Transport Przemysłowy, Nr 2, s. 19–23, 2002
- [15] *Jurdziak L., Stolarczyk R., Zawadzka B.*: Nowe narzędzia do komputerowego wspomagania zarządzania eksploatacją taśm przenośnikowych. Transport Przemysłowy Nr 2, 2002
- [16] *Zimroz R., Makowski R., Błażej R.*: A method of damage detection in conveyor belts with steel cords by NDT signal processing. HAIS11 6th International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems, 2011 — artykuł w recenzji