

Received: 04.07.2014, accepted: 29.07.2014

*conveyor belt, NDT method non-destructive testing,
diagnosis, belt damages,
magnetic method automatic detection*

R. BŁAŻEJ^{1*}, L. JURDZIAK¹, M. HARDYGÓRA^{1,2}, R. ZIMROZ^{1,2},
C. BUJAK³, R. SALATA³, A. DOMAŃSKI³, Ł. KURP⁴

DIAGNOSTYKA TAŚM PRZENOŚNIKOWYCH Z LINKAMI STALOWYMI – SYSTEM HRDS I JEGO WDROŻENIE

W pracy przedstawiono opis mobilnego systemu do bezinwazyjnej diagnostyki rdzenia taśm przenośnikowych z linkami stalowymi. System został opracowany przez pracowników Instytutu Górnictwa PWr, przy współpracy kopalni węgla brunatnego KWB Turów oraz firmy T&M Solutions. W oparciu o 4 kanałową głowicę magnetyczną systemu EyeQ, będącego w posiadaniu kopalni. Restrukturyzacja kopalni oraz starzejący się, mało wydajny system EyeQ wymusiły działania zmierzające do poprawy rozdzielczości oraz skuteczności jego działania. Głównym celem modernizacji systemu było opracowanie nowego oprogramowania umożliwiającego automatyzację procesu analizy danych oraz zmiana platformy sprzętowej zwiększającej 6-krotnie rozdzielczość systemu. Opisany w pracy system został pomyślnie przetestowany w warunkach kopalnianych i jest obecnie wykorzystywany do oceny stanu technicznego taśm pracujących w systemie transportowym kopalni (rys. 1).

1. WSTĘP

Transport przenośnikami taśmowymi wyposażonymi w taśmy z linkami stalowymi w kopalniach odkrywkowych stanowi główny system odstawy urobku do elektrowni

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław, Poland

² KGHM CUPRUM Ltd CBR Sikorskiego 2-8, 53-659 Wrocław

³ PGE GiEK S.A. Oddział Kopalnia Węgla Brunatnego Turów

⁴ TEST & MEASUREMENT SOLUTIONS SP. z o.o. ul. Skarbowców 23a, 53-025 Wrocław

* Corresponding autor: ryszard.blazej@pwr.edu.pl

oraz nadkładu na zwałowiska. Sprawność i niezawodność całego ciągu transportowego zależna jest w dużej mierze od stanu technicznego składników systemu, którego głównym elementem jest taśma przenośnikowa (Błażej i in., 2011). Powierzchnia taśmy oraz jej rdzeń narażone są na ciągłe uszkodzenia. Drobne uszkodzenia okładek nośnych i obrzeży nie stanowią bezpośredniego zagrożenia postojami, są wręcz naturalnym procesem zużywania się taśmy. Uszkodzenia punktowe okładek i rdzenia taśmy oraz uszkodzenia liniowe (przecięcia wzdłużne i rozcięcia) mają zaś decydujący wpływ na trwałość taśmy i jej zdolność do przenoszenia obciążeń wzdłużnych i poprzecznych (Żur, Hardygóra, 1996). Szczegółowa informacja o ilości i jakości uszkodzeń rdzenia taśmy, na podstawie danych pochodzących z systemu diagnostycznego, pozwala użytkownikom na rzetelną ocenę jej stanu technicznego i podjęcie trafnej decyzji o dalszym jej losie.

Modernizacja systemu EyeQ przebiegała w dwóch etapach. W pierwszym skoncentrowano się na wymianie elementów układu pomiarowo-analizującego, w drugim opracowano algorytm automatycznej analizy danych pozyskanych z pomiarów (Błażej, Jurdziak, 2011).



Rys. 1. System podczas pomiarów w kopalni odkrywkowej
Fig. 1. System during measurements in opencast mine.

2. NOWA PLATFORMA SPRZĘTOWA

Zasada działania systemu opiera się na pomiarze zmian pola magnetycznego w obszarze uszkodzonych linii rdzenia taśmy przenośnikowej. Amplituda tych zmian uzależniona jest od wielkości i rodzaju uszkodzenia. System EyeQ oferował 4 kanały

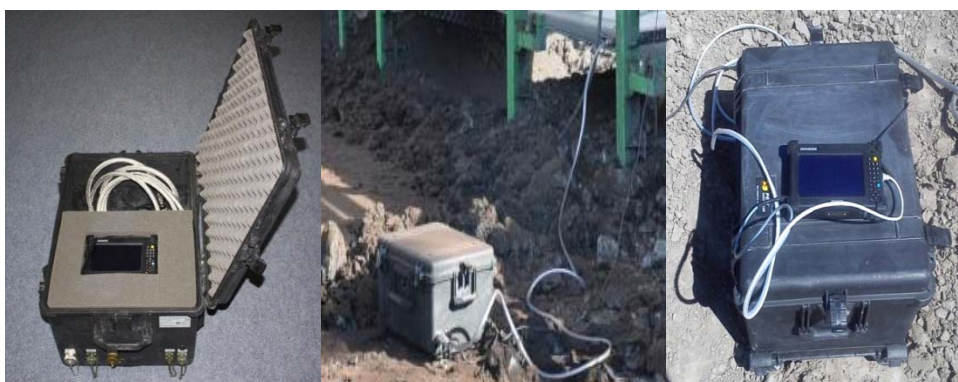
pomiarowe przez co dostarczał użytkownikowi informacji z odcinka taśmy o szerokości 60 cm przypadającej na 1 kanał.

Podstawową zmianą jakiej dokonano jest 6-krotny wzrost rozdzielczości systemu z 4 do 24 kanałów, co wymusiło zastosowanie nowego wielokanałowego rejestratora danych. Jego funkcję w proponowanym systemie przejęła 8-slotowa kasetka Compact-DAQ (rys. 2) z modułami NI WLS 9215. W razie uszkodzenia jednego z kanałów wymiana zunifikowanej czterokanałowej karty nie stanowi dużego kosztu i jest możliwa do zrealizowania stosunkowo szybko (Błażej i In., 2010). Wymiana modułu może zostać wykonana samodzielnie bez potrzeby wzywania serwisu.



Rys. 2. Kasetka Compact DAQ z modułami NI WLS 9215
Fig. 2. Compact DAQ chassis with NI WLS 9215 modules.

Wszystkie urządzenia wchodzące w skład systemu pomiarowego zostały umieszczone w odpornej na działanie szkodliwych i agresywnych czynników skrzyni typu „Peli” (rys. 3). Skrzynia ułatwia transport i zabezpiecza elementy systemu przed uszkodzeniem w trakcie transportu jak i pomiarów. Skrzynia została wyposażona w interfejsy zewnętrzne umożliwiające szybki i bezpieczny montaż urządzeń systemu pomiarowego.



Rys.3. Widok skrzynki pomiarowej systemu z widocznym tabletem i okablowaniem oraz podczas pracy jej przy przenośniku

Fig. 3. View of open measuring system box with visible tablet and wiring and during its operation at belt conveyor.

3. OPIS OPROGRAMOWANIA I FUNKCJI SYSTEMU

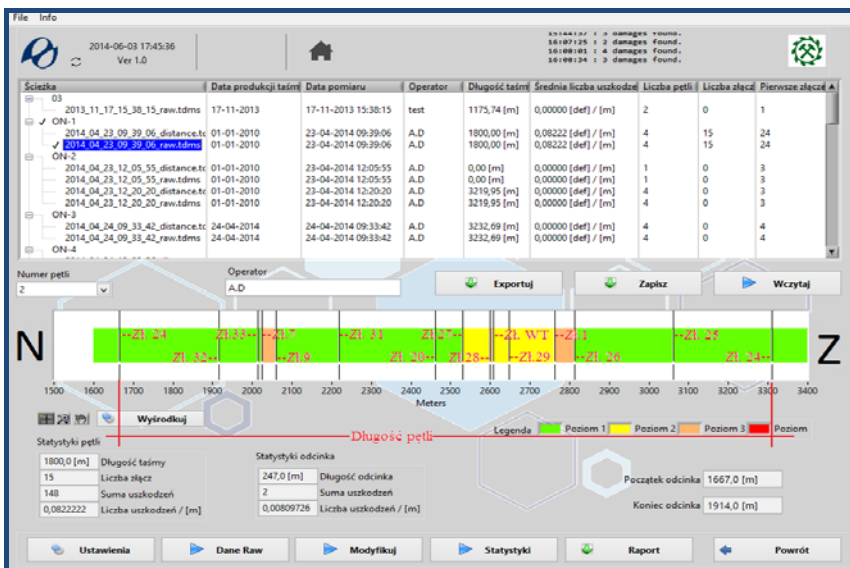
Złożoność oprogramowania do akwizycji danych, praca modułu analiz sygnałów w trybie czasu rzeczywistego oraz ogromna ilość danych gromadzona w trakcie pomiaru wymusiła na autorach opracowane 2 wersje oprogramowania. Pierwsza z nich zainstalowana została na tablecie pomiarowym i służy do wprowadzenia podstawowych informacji o przerośniku, przeprowadzenia diagnostyki głowicy magnetycznej oraz akwizycji danych. Druga, opisana poniżej, przeznaczona jest na komputer stacjonarny i służy analizie sygnałów po pomiarze, zawiera też wiele zaawansowanych modułów obliczeniowych oraz wizualizacji wyników tych analiz.

Główne okno programu (rys. 4) zostało zaprojektowane z myślą o jak największej prostocie i przejrzystości prezentowanych informacji.

W górnej jego części umieszczono dane o wykonanych pomiarach przedstawiające je w kolejności alfabetycznej w taki sposób, aby uwidocznili wszystkie ważne informacje dotyczące pomiaru na konkretnym przerośniku. Dane można zapisywać, wczytywać oraz eksportować.

Środkowa część okna to wizualizacja pętli taśmy z zaznaczonymi pionowymi liniami obrazującymi kolejne odcinki taśmy między połączeniami. System wyróżnia 4 progi alarmowe, których wartości graniczne użytkownik ustala na podstawie własnych doświadczeń oraz specyfikacji pracy danego przerośnika.

Paleta kolorów od zielonego poprzez żółty, pomarańczowy i czerwony informuje o intensywności uszkodzeń przypadających na 1 m bieżącej taśmy.



Rys. 4. Okno główne programu z wizualizacją wyników po wykonanej analizie sygnałów
Fig. 4. Main program window with visualization of results after signal analysis

W dolnej części okna znajdują się zebrane krótkie informacje statystyczne na temat ilości uszkodzeń występujących na całej taśmie oraz na wybranym jej odcinku. Prezentowane są również dane dotyczące długości badanej taśmy (pętli) i odcinka taśmy oraz ilości wykrytych połączeń.

3.1. MODUŁ ANALIZY SYGNAŁÓW

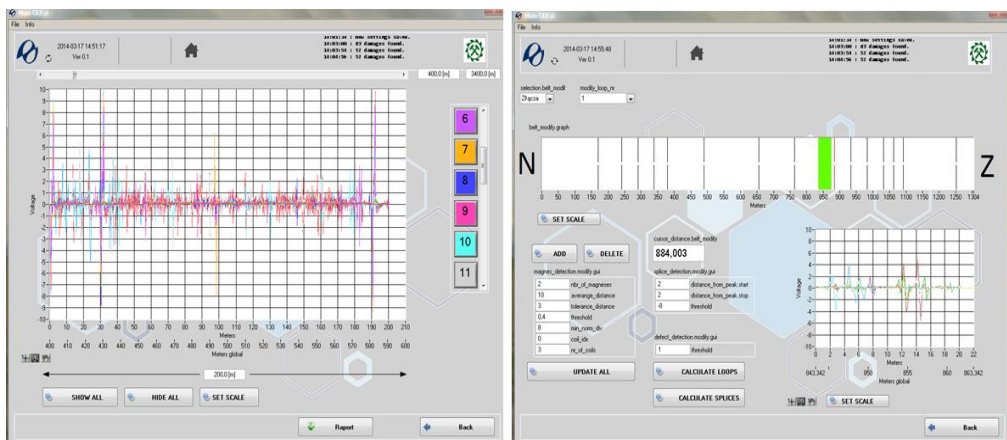
Moduł analizy sygnałów wykorzystywany jest w trakcie przeprowadzanych pomiarów w dwóch etapach (Zimroz i in., 2011; Błażej i in., 2013):

1. podczas akwizycji sygnałów, w czasie rzeczywistym realizowana jest procedura wykrywania obecności magnesów, której zadaniem jest automatyczne określenie początku oraz końca taśmy,

2. w czasie rzeczywistym określa się ilość wykonanych pełnych pętli pomiarowych zgodnie z ich wcześniej zadaną przez diagnostę liczbą (rys. 5).

Po zakończonym pomiarze (oprogramowanie na tablet) przeprowadzana jest procedura post-processingu polegająca na automatycznym wykrywaniu złączeń oraz detekcji uszkodzeń kolejnych pętli pomiarowych (oprogramowanie na komputer stacjonarny).

Dzięki takiej strukturze programu diagnosta ma możliwość w każdej chwili porównania wyników automatycznej detekcji połączeń z danymi surowymi (typu RAW Data) przechowywanymi w stanie nienaruszonym w pamięci komputera. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowej detekcji połączenia istnieje możliwość jego dodania lub usunięcia zgodnie z informacjami wskazanymi w oknie z danymi typu RAW.



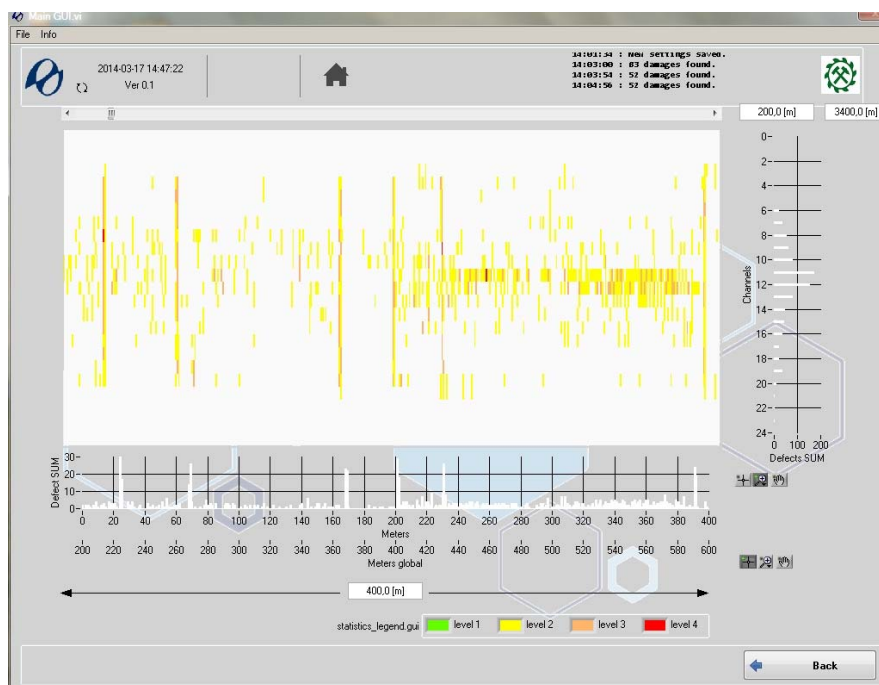
Rys.5. Okno danych typu RAW oraz wykrywania pętli i połączeń jako elementy modułu analizy sygnałów

Fig. 5. RAW data analysis and loop and splice detection windows

3.2. MODUŁ ANALIZ STATYSTYCZNYCH

Prezentacja uszkodzeń dla 24 torów pomiarów (wzdłuż przekroju) odbywa się w 2 wariantach: liczby uszkodzeń (sumaryczna liczba uszkodzeń dla danego kanału dla całej pętli, wybranego odcinka lub jego fragmentu), częstości uszkodzeń (liczby uszkodzeń dla danego kanału podzielonej przez łączną liczbę uszkodzeń wyrażoną w procentach).

Cała taśma lub jej fragment taki jak pętla, odcinek, fragment odcinka są prezentowane jako macierz uszkodzeń z 2 histogramami (pionowym i poziomym) obrazującymi ich rozkład po szerokości i długości taśmy. Oczka macierzy zawierają liczbę uszkodzeń przypadającą na jednostkowy obszar (1 kanał pomiarowy/1 mb taśmy) (rys. 6) oraz kolor obrazujący intensywność uszkodzeń.

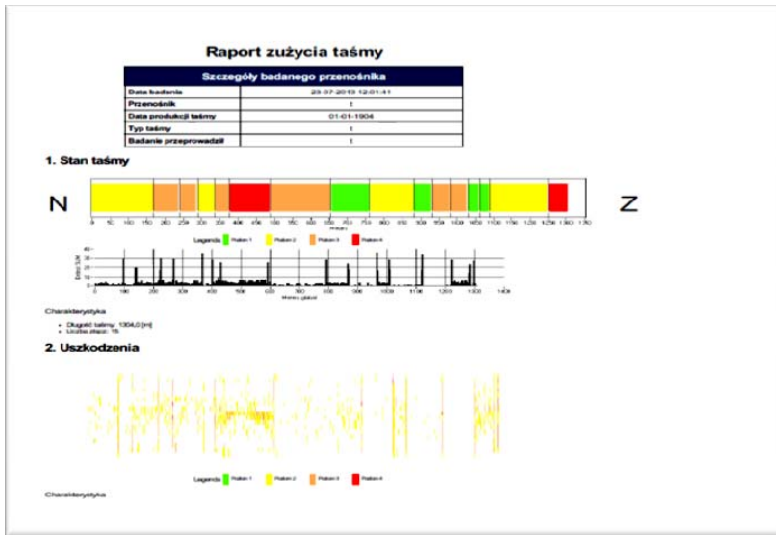


Rys. 6. Okno analiz statystycznych z macierzą uszkodzeń oraz histogramami pionowym i poziomym
Fig. 6. Statistical analysis window with damage matrix and vertical and horizontal histograms.

Użytkownik za pomocą okien wyboru długości i rozmiaru prezentowanego odcinka taśmy sam dokonuje wyboru wielkości analizowanego fragmentu taśmy. Ten sposób prezentacji wyników daje natychmiastową informację o wielkości uszkodzeń oraz ich rozmieszczeniu na całej pętli analizowanej taśmy.

3.3. MODUŁ RAPORTOWANIA

Użytkownik w szybki i łatwy sposób może wydrukować raport dotyczący badanej taśmy lub zapisać go w formacie pdf (rys. 7). Zawartość raportu była konsultowana z pracownikami oddziału taśmowego kopalni w celu uniknięcia podawania zbędnych informacji z jednej strony, a przedstawieniem najważniejszych danych pomocnych w opracowywaniu planów zakupów czy regeneracji i napraw taśm z drugiej.



Rys. 7. Raport przedstawiający wizualizację stanu technicznego taśmy oraz histogramy uszkodzeń
 Fig. 7. Report showing belt condition visualization and damage histograms

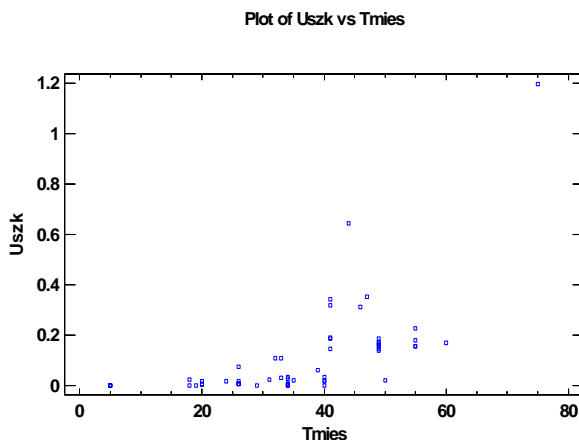
4. WYNIKI BADAŃ

Od połowy 2013 roku wykonywane są już pomiary diagnostyczne taśm pracujących w układzie transportowym kopalni Turów. Z kilkudziesięciu pomiarów udało się wyodrębnić pełne informacje o stanie rdzenia 3 taśm pracujących w okresie ostatnich 15 miesięcy. Ponieważ wszystkie przenośniki pracowały w jednym ciągu, można przyjąć, że przeniosły tą samą masę tego samego urobku, a uszkodzenia powstały w wyniku naturalnego zużycia odcinków taśm bez uszkodzeń katastroficznych i napraw. Dane mogły więc posłużyć do identyfikacji tempa przyrostu uszkodzeń w czasie oraz zbadania jak zróżnicowany czas pracy odcinków (w pętlach były zainstalowane odcinki o różnym dotychczasowym czasie pracy) wpływa na różnicowanie tempa przyrostu uszkodzeń. Można też było zbadać wpływ długości przenośnika na poziom

i narastanie uszkodzeń. Są to pierwsze badania tego typu, dlatego ich wyniki można uznać za pionierskie.

Dysponowanie skanerami stanu rdzenia pozwala na ocenę stopnia jego zużycia i wyrażenie go w zaproponowanej mierze, jaką jest ilość uszkodzeń przypadających na 1 mb (gęstością uszkodzeń) (rys. 8).

Badania przeprowadzono przy wykorzystaniu oprogramowania STATGRAPHICS Centurion XVI v.16.1.17.

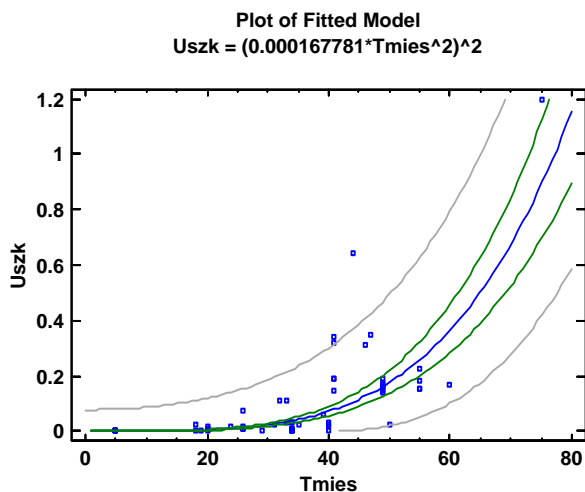


Rys. 8. Zmiany poziomu gęstości uszkodzeń (Uszk) odcinków taśm w zależności od ich dotychczasowego czasu pracy (Tmies)

Fig. 8. Changes in the density of defects (Fault) sections of the belts based on their previous working time (Tmies)

Jak widać na rysunku, wraz z wiekiem odcinka taśmy rośnie nieliniowo poziom gęstości uszkodzeń rdzenia. W celu dobrania postaci tej funkcji w kolejnych kroku przeprowadzono badanie regresji nieliniowej dla poziomów gęstości uszkodzeń. Przeprowadzone badania regresji nieliniowej pozwoliły wstępnie dobrać najlepszy model. Okazało się, że relację pomiędzy gęstością uszkodzeń (Uszk), a czasem pracy (Tmies) (rys.8) najlepiej oddaje funkcja kwadratowa, a zależność jest istotna statystycznie na 95% poziomie ufności.

$$Uszk = (0.000167781 * Tmies^2)^2 \quad (1)$$



Rys.9. Regresja nieliniowa gęstości uszkodzeń (Uszk) względem dotychczasowego czasu pracy odcinków (Tmies) dla dobranego modelu nieliniowego (funkcji dwukwadratowej): dobrany model (niebieski), 95% przedziały ufności (zielony) i granice predykcji (szare)

Fig. 9. Nonlinear Regression density of defects (Fault) to the current operating time (Tmies, in months) for selected non-linear model (double quadratic functions): selected model (blue), 95% confidence limits (green), prediction limits (grey)

5. PODSUMOWANIE

Opracowanie nowego automatycznego systemu diagnostycznego pozwoliło na automatyzację procesu pomiaru a także analizy sygnałów po pomiarze. Funkcje takie jak automatyczny start, wykrywanie ilości pełnych obiegów taśmy, automatyczny pomiar i automatyczna detekcja uszkodzeń były niedostępne dla poprzedniej wersji systemu pomiarowego.

Otwartość systemu, głównie warstwy programowej, umożliwiło opracowanie automatycznych procedur do przetwarzania i analizy danych, raportowania, monitorowania w czasie rzeczywistym i analiz statystycznych.

Stworzone oprogramowanie już w trakcie pomiaru pozwala na analizę stanu taśmy na przenośniku oraz dokładną lokalizację, klasyfikację i ocenę ilościową uszkodzeń.

Nowa platforma sprzętowa pozwala na bezobsługowe użytkowanie systemu, a w razie jakiegokolwiek awarii szybkie jej usunięcie poprzez wymianę zunifikowanych modułów pomiarowych bez konieczności wzywania wyspecjalizowanego serwisu.

Analizy poziomu gęstości uszkodzeń od długości pętli i dotychczasowej pracy wykonanej przez odcinki taśm mierzonej kalendarzowym czasem pracy lub liczbą

wykonanych cykli pozwala na opracowanie modeli, które mogą być wykorzystane do predykcji optymalnego momentu wymiany odcinka taśmy w pętli.

Przedstawione wyniki analiz opierają się na pomiarach wykonanych na trzech przenośnikach nadkładowych. Dobór modeli tylko na podstawie poziomu R^2 nie jest jednak wystarczający. Konieczne jest zatem głębsze rozpoznanie fizycznej natury powstawania uszkodzeń oraz szersze badania taśmociągów w systemie transportowym Kopalni Turów.

LITERATURA

- BŁAŻEJ Ryszard, JURDZIAK Leszek, ZIMROZ Radosław, 2011, *Potrzeba opracowania własnych urządzeń diagnostycznych do automatycznej oceny stanu taśm przenośnikowych w kopalniach odkrywkowych*, *Górnictwo i Geoinżynieria*, R. 35, z. 3/1, s. 63-71
- ŻUR Tadeusz, HARDYGÓRA Monika, 1996, *Przenośniki taśmowe w górnictwie*.
- BŁAŻEJ Ryszard, JURDZIAK Leszek, 2011, *Integrated diagnostic device for automatic assessment of conveyor belts condition*. W: 22nd World Mining Congress & Expo, 11-16 September, Istanbul-2011. Vol. 3 / ed. Şinasi Eskikaya. Ankara : Aydoğdu Ofset, cop. 2011. s. 675-680
- BŁAŻEJ Ryszard, ZIMROZ Radosław, NOWAK Robert, GRZYB Krzysztof, KURP Łukasz, 2010, *Rozbudowa funkcjonalności systemu EyeQ do diagnostyki rdzenia taśm typu ST*. *Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze*, nr 3, s. 24-28.
- ZIMROZ Radosław, MAKOWSKI Ryszard, BŁAŻEJ Ryszard, 2011, *A method of damage detection in conveyor belts with steel cords by NDT signal processing*. Proceedings of The Eighth International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies, CM2011/MFPT2011 Cardiff, Wales, (20-22 June 2011), Coxmoor Publishing Company imroz Makowski.
- BŁAŻEJ Ryszard, JURDZIAK Leszek, ZIMROZ Radosław, 2013, *Novel approaches for processing of multi-channels NDT signals for damage detection in conveyor belts with steel cords*, *Key Engineering Materials*, vol. 569/570, s. 978-985

STEEL CORD CONVEYOR BELTS DIAGNOSTICS - SYSTEM HRDS AND ITS IMPLEMENTATION

This paper describes a mobile system for the noninvasive diagnosis of the core of conveyor belts with steel cords. The system is based on the 4-channel magnetic head of the EyeQ system which one of the Polish opencast mines bought at the beginning of the 21st century. Because of the restructuring of the mine and the aging of the EyeQ system, measures were taken to improve the latter's resolution and performance. The upgrading consisted mainly in developing a new software for data analysis automation and in replacing the old hardware platform with a new one increasing six-fold system resolution. The system has successfully passed tests in mine conditions and is currently used to assess the condition of belts working in the mine transport system.

Projekt realizowany w ramach Programu Badań Stosowanych w ścieżce A pt: „Inteligentny system do automatycznego badania i ciągłej diagnostyki stanu taśm przenośnikowych”