

Received: 21.07.2014, accepted: 3.08.2014

*taśma przenośnikowa, diagnostyka, zarządzanie,
system wspomagania podejmowania decyzji*

Radosław ZIMROZ^{1*}, Ryszard BŁAŻEJ¹, Paweł STEFANIAK¹,
Agnieszka WYŁOMAŃSKA², Jakub OBUCHOWSKI¹, Monika HARDYGÓRA³

INTELIĞENTNY SYSTEM DIAGNOSTYKI TAŚM PRZENOŚNIKOWYCH – KONCEPCJA

W pracy przedstawiono koncepcję inteligentnego systemu do diagnostyki taśm i komputerowego wspomagania zarządzania taśmami przenośnikowymi z wykorzystaniem podejścia „utrzymanie maszyn zależne od stanu” (ang. Condition Based Maintenance). Omówiono strukturę systemu oraz wybrane kluczowe elementy. Niektóre z modułów zostały już zrealizowane, inne są w trakcie realizacji. Stąd też artykuł traktuje raczej o koncepcji niż o gotowym produkcie. Systemowe ujęcie problemu jest niezbędne ze względu na docelowo szerszy kontekst zarządzania systemem przenośników a nie tylko taśm, układów napędowych czy innych elementów. Kluczowym elementem artykułu jest wykorzystanie elementów uczenia maszynowego do wspomagania zarządzania. Dotyczą one walidacji danych, wyznaczania progów decyzyjnych, decyzji o dopuszczeniu do eksploatacji/wymianie taśmy, czy elementów prognozy czasu życia odcinka taśmy czy połączenia. Zastosowanie sztucznej inteligencji wydaje się konieczne ze względu na konieczność budowania obiektywnej wiedzy w sformalizowanej postaci w zakresie eksploatacji taśm przenośnikowych.

1. WPROWADZENIE

Potrzeba opracowania inteligentnego systemu do diagnostyki taśm jest efektem wieloletnich badań laboratoryjnych oraz w warunkach in situ dotyczących możliwości wykrywania uszkodzeń w taśmach przenośnikowych. W ogólności, systemy komputerowe-

¹ Politechnika Wroclawska: Zakład Systemów Maszynowych, ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław

² Centrum im. Hugona Steinhausa, Instytut Matematyki i Informatyki

³ KGHM CUPRUM sp. z o.o. CBR, ul. Gen. Wł. Sikorskiego 2-8, 53-659 Wrocław

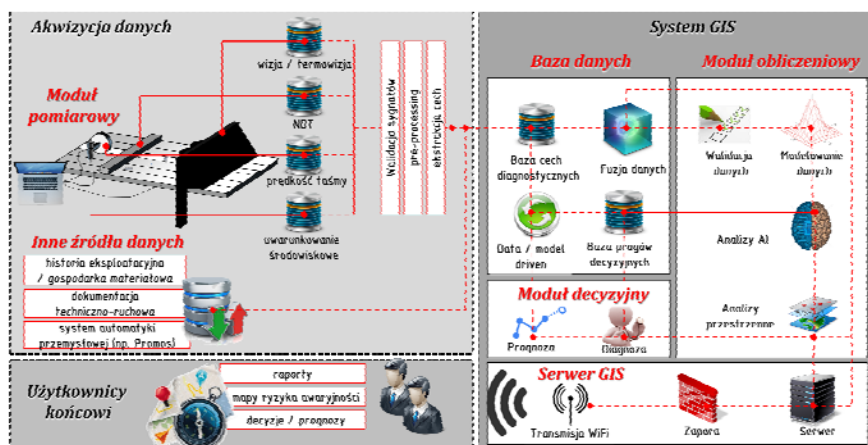
* Corresponding autor: radoslaw.zimroz@pwr.edu.pl

go wspomaganie zarządzania eksploatacją (ang. computerised maintenance management systems) znane są w literaturze od lat i z powodzeniem stosowane w przemyśle nie tylko górniczym (Mather, 2002; Labib, 2004; O'Donoghue, Prendergast, 2004; Lodewijks, 2004; Kacprzak i in., 2011; Zimroz i in., 2011; Saharkhiz i in., 2012; Galar i in., 2012; Stefaniak i in., 2012; Stefaniak i in., 2012). Odpowiedzi na kluczowe pytania: „dlaczego system?” oraz „dlaczego inteligentny?” można odnaleźć w definicjach tych sformułowań: System (ze starogreckiego σύστημα systema – rzecz złożona) – obiekt fizyczny lub abstrakcyjny, w którym można wyodrębnić zespół lub zespoły elementów wzajemnie powiązanych w układy, realizujących jako całość funkcję nadrzędną lub zbiór takich funkcji (funkcjonalność). System inteligentny to system charakteryzujący się zdolnością do uczenia, adaptujący się do nowych warunków w celu poprawy efektywności/skuteczności jego działania. Inteligentny system diagnostyczny musi obejmować problem akwizycji danych pomiarowych, ich przetwarzania i analizy, wykrywania uszkodzeń i ich interpretowania w kontekście konieczności przeprowadzenia ewentualnej wymiany/naprawy uszkodzonego elementu (odcinka taśmy czy połączenia). Proponowany system docelowo musi zarządzać także zbiorem danych diagnostycznych zebranych dla całej sieci przenośników wraz z danymi historycznymi dla każdego z nich. W niniejszej pracy zaprezentowano koncepcję takiego systemu wykorzystującą strukturę warstwowo-modułową. Warstwa akwizycji danych obejmuje pozyskanie obrazów wizyjnych, danych z metod magnetycznych, prędkość taśmy, parametry konstrukcyjne taśmy, a także parametry dotyczące technologii wykonania połączeń. Warstwa druga to zbiór procedur do przetwarzania sygnałów (jedno- i wielowymiarowych, w tym obrazów). Warstwa trzecia dotyczy istoty diagnostyki technicznej, czyli wykrywania uszkodzeń. Wykrywanie uszkodzeń polega na porównaniu bieżącej wartości cechy diagnostycznej z poziomem progowym (ostrzegawczym, alarmowym...). Porównanie to może odbywać się dla pojedynczej cechy lub też dla wektora/macierzy cech. W dowolnym przypadku istotne jest określenie granicy klas. Zwykle w systemach diagnostycznych proces wyznaczania granic decyzyjnych wykorzystuje elementy tzw. uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji. Moduł uczący zaimplementowany w systemie nadaje mu charakter inteligentny. Jest oczywiste, że samo wykrycie uszkodzenia nie oznacza jego rozpoznania i określenia stopnia/stanu zagrożenia i wystąpienia zatrzymania awaryjnego ciągu przenośników taśmowych. Problem klasyfikacji danych powszechnie realizowany jest z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji. Ostatnią warstwą nadającą proponowanemu systemowi charakteru „inteligentnego” jest zaawansowany moduł prognostyczny z elementami fuzji danych. Problem prognozy jest w literaturze dobrze zdefiniowany (Jardine i in., 2006; Heng i in., 2009). W naszym przypadku taśm przenośnikowych, ze względu na wpływ czynników konstrukcyjnych, zmienności warunków eksploatacyjnych, specyfiki budowy i eksploatacji przenośnika taśmowego, moduł prognostyczny musi być wariantowy i wykorzystywać dane pomocnicze dotyczące przewidywanych obciążeń, wpływu czynników atmosferycznych, rodzaju urobku transportowanego na taśmie itd. W literaturze zagadnienie to określa się mianem fuzji

danych (Galar i in., 2012). Proponowany system musi być oparty na wspólnej platformie umożliwiającej przepływ informacji pomiędzy warstwami/modułami. Z racji, że sieć przenośników taśmowych jest usytuowana na rozległym terenie oraz – zwłaszcza w przypadku kopalni odkrywkowej, gdzie do opisu położenia przenośników wymagana jest trójwymiarowa przestrzeń, zastosowanie środowiska bazodanowego klasy GIS wydaje się uzasadnione. Dotychczasowe doświadczenia związane z zastosowaniem systemów klasy GIS (Diag Manager i DMII) do wspomaganie zarządzania układami napędowymi przenośnika taśmowego potwierdzają słuszność obranego kierunku (Zimroz i in., 2011; Stefaniak i in., 2012; Stefaniak i in., 2012).

2. KONCEPCJA STRUKTURY SYSTEMU

W niniejszej pracy zaprezentowano koncepcję takiego systemu wykorzystującą strukturę modułowo-warstwową. Poszczególne warstwy realizują kolejne etapy w procesie zarządzania eksploatacją. Moduły jako składowe warstw związane są ze specyfiką rejestrowanych i analizowanych danych. Taka struktura systemu umożliwia jego wariantową konfigurację, dalszą rozbudowę i integrację z istniejącymi lub planowanymi modułami. Ogólna struktura systemu została pokazana na rys. 1.

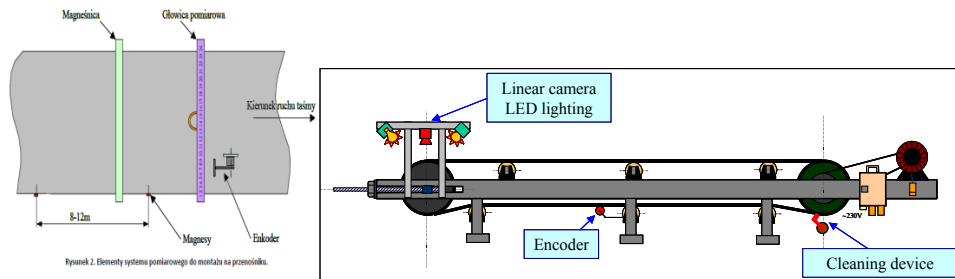


Rys.1. Schemat struktury systemu zarządzania taśmami
 Fig. 1. Scheme of belt maintenance system structure

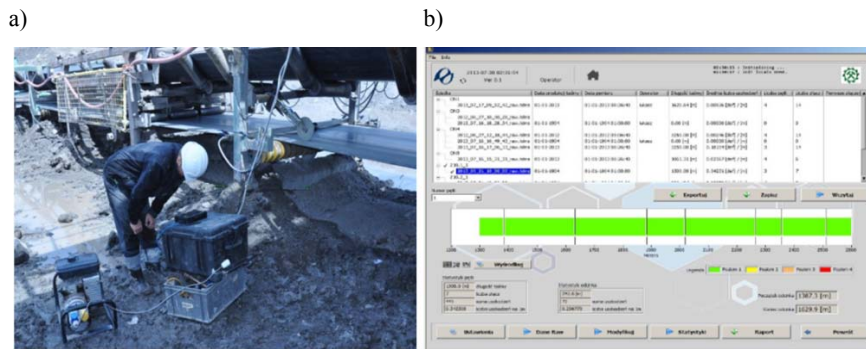
2.1. SYSTEM ZBIERANIA DANYCH

Warstwa akwizycji danych składa się z kilku opcjonalnych modułów i zawiera moduły niezbędne do przeprowadzenia procedury oceny stanu (system magnetyczny i/lub wizyjny), a także moduły rejestrujące dane pomocnicze (sygnał z enkodera do

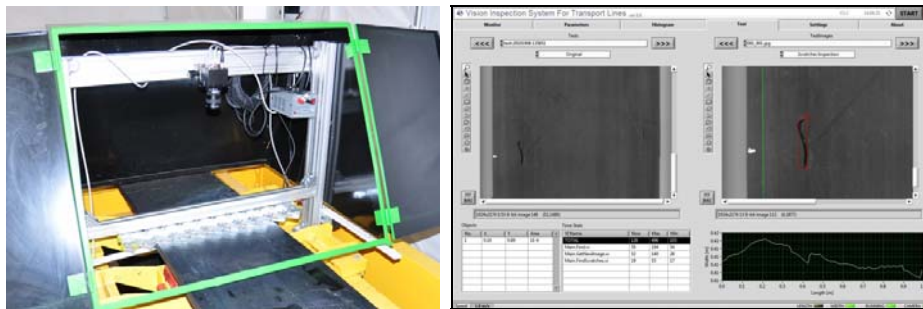
wyznaczania prędkości taśmy i lokalizacji miejsca ewentualnego uszkodzenia, strugę urobku, warunki atmosferyczne). Dane diagnostyczne zapisywane są na dysku w postaci sygnałów (system magnetyczny: do 24 kanałów plus prędkość taśmy; system wizyjny – macierze zawierające obrazy powierzchni taśmy).



Rys. 2. Koncepcja systemów zbierania danych (magnetycznego – lewy rys., wizyjnego – prawy rys.)
 Fig. 2. The idea of NDT magnetic (left) and vision (right) subsystems for belt condition monitoring



Rys. 3. System diagnostyczny: a) pomiary w kopalni, b) widok okna głównego programu
 Fig. 3. Diagnostic system in operation: a) measurement in the mine, b) view on main window of software



Rys. 4. System pomiarowy do akwizycji obrazów i przykładowe wyniki detekcji uszkodzeń
 Fig. 4. Machine vision hardware and images of inspected belt with detected damages

2.2. PROCEDURY PRZETWARZANIA DANYCH

Dane zarejestrowane w systemach pomiarowych pracujących w warunkach przemysłowych, zwłaszcza w kopalni, narażone są na szereg czynników negatywnie wpływających na ich jakość (w sensie zawartości informacji możliwej do pozyskania).

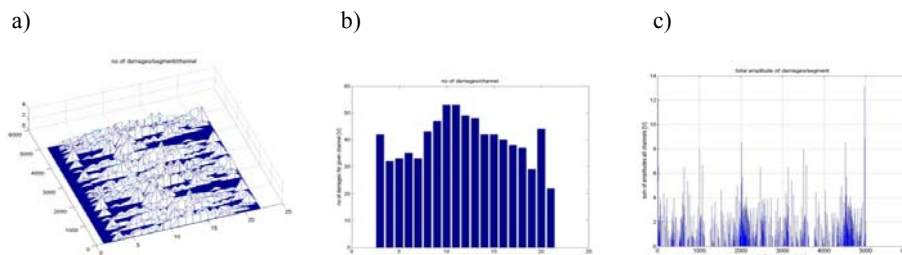


Fig. 5. Przykładowe wyniki analiz: a) mapa uszkodzeń 3D, b,c) histogramy liczby uszkodzeń względem szerokości i długości taśmy,

Fig. 5. Visualisation of diagnostic results: a) spatial distribution of detected damages, b) histogram no of damages per channel, c) distribution of damages vs. belt' length,

Jak wykazano we wcześniejszych pracach różnych autorów, kluczowe etapy przetwarzania danych to ich walidacja (ocena jakości) (Jablonski, Barszcz; Zimroz i in., 2014), przetwarzanie wstępne (segmentacja, uśrednianie, odszumianie, zmiana dziedziny reprezentacji itd.) i wreszcie ekstrakcja cech diagnostycznych (parametrów reprezentujących możliwie zwięzły opis matematyczny zachodzących zjawisk w sygnale). Specyfika danych zależna od typu wymusza zastosowanie różnych algorytmów. Dla danych z systemu magnetycznego algorytmy przetwarzania danych zostały opisane w pracach (Błażej i in., 2013; Błażej i in., 2013). Przetwarzanie dotyczy takich problemów jak: segmentacja sygnałów w celu wyodrębnienia cyklu związanego z pętlą taśmy, wykrywanie połączeń odcinków taśm i wreszcie wykrywanie związanych z uszkodzeniem impulsowych zmian w sygnale. Zbiór danych wyjściowych tworzą wektory $[D, X_1, \dots, X_{24}]$ (odległość od markera oznaczającego początek taśmy i 24 liczby opisujące stan taśmy dla danego miejsca, rys. 5). W przypadku danych z systemu wizyjnego, zadanie przetwarzania danych sprowadza się do segmentacji (wykrywanie obszaru taśmy), rotacji obrazu, a następnie wyodrębnienia obszarów obrazu związanego z uszkodzeniem (wykrycie ROI – Region Of Interest) (Rafajłowicz, Rafajłowicz, 2010). Zbiór danych wyjściowych tworzą wektory $[X, Y, Pow]$ (współrzędne początku uszkodzenia oraz jej powierzchnia). Przetwarzanie danych z czujnika obrotów ma za zadanie wyznaczenie odległości taśmy od markera oznaczającego początek taśmy, a także prędkości taśmy, która wpływa na energię sygnału (rejestrwane zmiany pola magnetycznego pochodzące od namagnesowanych linek zależą od prędkości przesuwanej się taśmy) (Domański) i wykorzystanie tej informacji w procesie wnioskowania.

2.3. WNIOSKOWANIE: MODUŁ DIAGNOSTYCZNO-PROGNOSTYCZNY

W ramach warstwy wspomaganie decyzji w zarządzaniu eksploatacją wspartą CBM można wyróżnić dwie główne kategorie (Jardine i in., 2006): i) **procedury diagnozowania** (obejmujące wykrywanie, lokalizację i identyfikację uszkodzeń) oraz ii) **procedury prognozowania** (polegające na przewidywaniu momentu awarii przed jej wystąpieniem).

Na obecnym etapie, opracowany moduł „diagnostyczny”, jest de facto modułem detekcji zmiany sygnału, która związana jest z uszkodzeniem; system nie zawiera algorytmów prognostycznych. Miarą uszkodzenia stosowaną na potrzeby detekcji jest amplituda sygnału (czym większa tym większe uszkodzenie). Dokładne relacje uszkodzenie-postać sygnału są ciągle przedmiotem badań. Prace Kwaśniewskiego, Machuli, Domańskiego, Błażeja i innych (Błażej i in., 2013; Błażej i in., 2013; Rafajłowicz, Rafajłowicz, 2010; Domański; Machula, 2011; Kwaśniewski, 2010) wykazały, że różna postać uszkodzenia rdzenia daje różne postacie sygnału, ale ich model/opis matematyczny będący podstawą automatycznego rozpoznania nie jest znany. Zastosowanie technik modelowania, rozpoznawania zaburzeń w szeregach czasowych, ich klasyfikacji, to zadania w których metody sztucznej inteligencji są powszechnie stosowane, np. w sygnałach ECG/EEG (Tak-Chung, 2011).

W przypadku prognozowania, zadanie sprowadza się do wyznaczenia czasu wystąpienia awarii (lub pośredniego stanu, np. ostrzegawczego). Zadanie to można uprościć definiując klasy stanów (na podstawie klasyfikacji cech diagnostycznych) i wyznaczając czasy przejścia pomiędzy klasami (np. – stan OK. \implies stan X). Z matematycznego punktu widzenia, prognoza to procedura estymacji wartości procesu X_{N+1} dla czasu t_{N+1} na podstawie próbek X_1, \dots, X_N . Zadanie prognozy może dotyczyć prawdopodobieństwa wystąpienia awarii (nawiązanie do krzywej wannowej), amplitudy zaburzenia pochodzącego od konkretnego uszkodzenia lub „obrazu” odcinka taśmy opisanego macierzą symptomów.

W zakresie zastosowań do diagnostyki taśm Machula (Machula, 2011) wskazuje trzy możliwe obszary zastosowania metod sztucznej inteligencji:

- Techniki oparte na logice rozmytej,
- Systemy ekspertowe,
- Sieci neuronowe.

Zagadnienia te są bardzo ogólne i mogą dotyczyć zarówno diagnozowania, prognozowania, złożonych reguł podejmowania decyzji itd. Analiza prac traktujących szerzej o problemie podejmowania decyzji, detekcji uszkodzenia, jego rozpoznawaniu czy prognozowaniu w różnych zastosowaniach (Jardine, 2002; Dragomir i in., 2009) pozwala zdefiniować następujące kierunki działania:

Diagnozowanie: (rozumiane jako wykrycie i przypisanie wielkości i postaci uszkodzenia do klasy stanu).

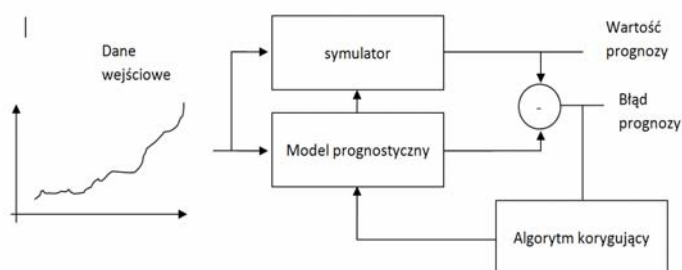
- Eksperymenty czynne na stanowisku badawczym (manualne tworzone uszkodzenia i analiza relacji diagnostycznych uszkodzenie–symptom diagnostyczny).
- Eksperymenty pasywne, polegające na okresowym pomiarze stanu taśmy w na przenośniku w warunkach rzeczywistych.
- Metody grupowania cech diagnostycznych dla odcinków taśm.
- Warto podkreślić jest znaczenie ustalania wartości progowych w procesie podejmowania decyzji (Cempel, 1990; Brooks i in., 2004; Jabłoński i in., 2013).

Prognozowanie:

- Podejście wykorzystujące model fizyczny zjawisk (procesy degradacji, proces korozji linki, procesy zmęczeniowe rdzenia czy całej struktury okładki-rdzeń) jest zadaniem bardzo trudnym.
- Podejście „data-driven” polegające na budowaniu modelu poprzez odkrywanie reguł, zależności itd., jest teoretycznie łatwiejsze, ale wymaga ogromnej staranności w zakresie przygotowania danych i odpowiedniej reprezentacji danych historycznych do procesu „uczenia”.

Proces budowania procedury prognozowania obejmuje następujące etapy (rys. 6):

- Wybór danych wejściowych,
- Techniki budowy modelu,
- Algorytm korygujący (proces uczenia),
- Kryteria oceny zgodności procesu estymowanego z rzeczywistością.



Rys. 6. Koncepcja procedury prognozowania

Fig. 6. The idea of prognosis procedure

2.4. ŚRODOWISKO GIS

Dane pochodzące z warstwy akwizycji i z zewnętrznych źródeł danych są następnie archiwizowane w strukturze bazodanowej systemu GIS. Zaletą tego typu baz jest przypisanie odniesienia w przestrzeni geograficznej danym jakościowym i ilościowym. Takie rozwiązanie w przypadku obiektów rozproszonych przestrzennie na sto-

sunkowo rozległym terytorialnie obszarze, ma szczególne znaczenie w funkcjonalności systemu wspomagającego zarządzanie eksploatacją. Środowisko GIS nie ogranicza się jedynie do funkcji bazodanowych. Stanowi je szczególny wachlarz narzędzi analitycznych, wizualizacji wyników analiz na mapach tematycznych, funkcji raportujących, transferowania czy udostępniania danych. Nawiasem mówiąc na środowisko GIS składa się wiele modułów funkcyjnych – poza warstwą akwizycji – zintegrowanych w jednolitej strukturze będących ze sobą w ścisłej interakcji. Na aparat obliczeniowy systemu składają się funkcje statystyczne pozwalające walidować dane, modelować zbiory danych, metody data-mining często inspirowane sztuczną inteligencją (ang. Artificial Intelligence – AI) oraz analizy przestrzenne typowe dla platformy GIS. Szczególnie istotny jest również moduł decyzyjny, na który składają się procedury bieżącej i prognozowanej oceny stanu technicznego taśm przENOŚNIKOWYCH. Algorytmy bieżącej diagnozy opierają się na ściśle określonych wartościach progowych cech zdefiniowanych i aktualizowanych na bieżąco za pośrednictwem systemu uczącego się. Z kolei funkcje predykcji korzystają z historycznych i bieżących baz danych diagnostycznych oraz – opcjonalnie – podejścia data/model driven. Analizy i wizualizacje przestrzenne oferowane przez system GIS pozwalają na przejrzyste przedstawienie informacji diagnostycznej, decyzji eksploatacyjnych i wynikających z nich następstw, analiz statystycznych czy ilościowych na mapie/modelu 3D analizowanej przestrzeni obiektów. Możliwości te są szczególnie istotne przy opracowaniu sprawozdań czy raportów. Taki globalny wymiar problemu zestawiony w postaci mapy znacznie upraszcza zarządzanie eksploatacją przENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH. Pozwala odnosić zdarzenia i decyzje do procesu eksploatacji całej sieci transportowej, doszukiwać się prawidłowości związanych z wystąpieniem awarii, prędkości zużywania się poszczególnych elementów na tle warunków i pracy oraz zapewnia skuteczne prowadzenie dziennika renowacji/wymian komponentów, przez co korzyści aplikacyjnych systemu nie należy upatrywać jedynie w aspekcie ekonomicznym. System ten ma charakter aplikacji internetowej pracującej na serwerze. Aplikacja ta komunikuje się z użytkownikiem końcowym z poziomu przeglądarki internetowej. Zapewnia ona użytkownikowi końcowemu zarówno interakcje, jak i generowanie dynamicznych raportów oraz przede wszystkim dostęp do informacji z dowolnego miejsca na dowolnym urządzeniu z dostępem do Internetu – komputer PC, notebook, tablet, smartfon etc. Rozwiązanie webowe nie wymaga od użytkownika instalacji, a jedynie praw dostępu do danych.

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono koncepcję inteligentnego systemu do zarządzania eksploatacją taśm przENOŚNIKOWYCH w przedsiębiorstwie górnictwie z wykorzystaniem podejścia CBM. Ze względu na różne typy danych jakie mogą być stosowane, struktura

systemu jest modułowo-warstwowa. Moduły są opcjonalne (moduły magnetyczny, wizyjny, eksploatacyjne dane historyczne itd.), wykorzystanie wszystkich danych daje szanse zastosowania fuzji danych i może znacznie poprawić efektywność wykrywania uszkodzeń i prognozowania trwałości taśm. Zarządzanie eksploatacją taśm przenośnikowych ma swoją specyfikę. Dotychczasowe doświadczenia w zakresie zarządzania eksploatacją układów napędowych przenośników doprowadziły do przesłanki co do zastosowania systemu GIS jako platformy integrującej, zarządzającej i udostępniającej dane niezbędne w procesie zarządzania eksploatacją. Mnogość danych, w tym danych różnych typów, narzuca konieczność wspomagania procesów decyzyjnych metodami sztucznej inteligencji.

LITERATURA

- MATHER D., 2002, *CMMS: a time saving implementation process*. New York. USA: CRC Press.
- LABIB A.W., 2004, A decision analysis model for maintenance policy selection using a CMMS. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*; 10(3): 191-202.
- O'DONOGHUE C.D., PRENDERGAST J.G., 2004, *Implementation and benefits of introducing a computerised maintenance management system into a textile manufacturing company*. *Journal of Materials Processing Technology*; 153-154: 226-232.
- LODEWIJKS, G., 2004, *Strategies for Automated Maintenance of Belt Conveyor Systems*. *Bulk Solids Handling*; 24(1):16-22.
- KACPRZAK M., KULINOWSKI P., WĘDRYCHOWICZ D., 2011, *Computerized information system used for management of mining belt conveyors operation*. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*; 50(2):81-93.
- ZIMROZ R., KRÓL R., HARDYGÓRA M., GÓRNIAC-ZIMROZ J., BARTELMUS W., GŁADYSIEWICZ L., BIERNAT S., 2011, *A maintenance strategy for drive units used in belt conveyors network*, 22nd World Mining Congress & Expo, 11-16 September, Istanbul-2011. Vol. 1 / ed. ŞinasiEskikaya. Ankara: Aydoğdu Ofset, s. 433-440
- SAHARKHIZ E., BAGHERPOUR M., FEYLIZADEH M. R., AFSARI A., 2012, *Software performance evaluation of a computerized maintenance management system: a statistical based comparison*. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*; 14(1): 77-83.
- GALAR D, GUSTAFSON A, TORMOS B, BERGES L., 2012, *Maintenance Decision Making based on different types of data fusion*. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*; 14 (2): 135–144.
- STEFANIAK P. K, ZIMROZ R., KRÓL R., GÓRNIAC-ZIMROZ J., BARTELMUS W., HARDYGÓRA M., 2012, *Some remarks on using condition monitoring for spatially distributed mechanical system belt conveyor network in underground mine - a case study*. *Proceedings of the Second International Conference "Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations"*, CMMNO' 2012 / ed. TaharFakhfakh et al. Springer, pp. 497-507 http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-28768-8_51
- STEFANIAK P., SAWICKI M., KRÓL R., ZIMROZ R., 2012, *Perspektywy rozwoju systemu zarządzania parkiem maszynowym Diag MANAGER w oparciu o zebrane doświadczenia eksploatacyjne*. *Napędy i Sterowanie*; 7/8: 84-88.
- JARDINE A.K.S., LIN D., BANJEVIC D. A., 2006, *Review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance*. *Mechanical Systems and Signal Processing*; 20:1483–510.

- HENG A., ZHANG S., TAN A.C.C., MATHEW J., 2009, *Rotating machinery prognostics: State of the art, challenges and opportunities*, Mechanical Systems and Signal Processing 23/3, 724–739
- JABŁONSKI A., BARSZCZ T., *Validation of vibration measurements for heavy duty machinery diagnostics*, Mechanical Systems and Signal Processing 38/1, pp 248-263.
- ZIMROZ R., WODECKI J., KRÓL R., ANDRZEJEWSKI M., ŚLIWIŃSKI P., STEFANIAK P. K., 2014, *Self-propelled mining machine monitoring system - data validation, processing and analysis. Mine planning and equipment selection*, proceedings of the 22nd MPES Conference, Dresden, Germany, 14th-19th October 2013. Vol. 2 / Carsten Drebenstedt, Raj Singhal (eds.). Cham [i in.]: Springer, s. 1285-1294.
- BŁAŻEJ R., JURDZIAK L., HARDYGÓRA M., ZIMROZ R., 2013, *Propozycja metody przetwarzania wielowymiarowego sygnału NDT na potrzeby oceny stanu technicznego taśmy z linkami stalowymi*. Górnictwo Odkrywkowe, R. 54, nr 3/4, s. 93-98.
- BŁAŻEJ R., JURDZIAK L., ZIMROZ R., 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, pp. 978-985.
- RAFAJŁOWICZ E., RAFAJŁOWICZ W., 2010, *Wstęp do przetwarzania obrazów przemysłowych* [Dokument elektroniczny], Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 235 s. <http://www.dbc.wroc.pl/publication/13832>
- DOMAŃSKI A., Praca inżynierska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej
- MACHULA T., 2011, *Opracowanie metody ciągłej analizy stanu technicznego taśm przenośnikowych z linkami stalowymi*, praca doktorska Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Transportu Linowego Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków.
- KWAŚNIEWSKI J., 2010 *Sztuczna inteligencja w systemie monitorowania stanu technicznego taśm z linkami stalowymi*, Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze 3, 32–35
- TAK-CHUNG F., 2011, *A review on time series data mining*, Engineering Applications of Artificial Intelligence 24/1, 164–181, DOI: 10.1016/j.engappai.2010.09.007
- JARDINE A.K.S., 2002, *Optimizing condition based maintenance decisions*, in: Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 90–97.
- DRAGOMIR O. E., GOURIVEAU R., DRAGOMIR F., MINCA E., ZERHOUNI N., 2009, *Review of Prognostic Problem in Condition-Based Maintenance*, published in "European Control Conference, ECC'09.", Budapest: Hungary".
- CEMPEL C., 1990, *Limit value in practice of vibration diagnosis*, Mechanical Systems and Signal Processing 4/6.
- BROOKS R., THORPE R., WILSON J., 2004, *A new method for defining and man-aging process alarms and for correcting process operation when an alarm occurs*, Journal of Hazardous Materials 115.
- JABŁONSKI A., BARSZCZ T., BIELECKA M., BREUHAUS P., 2013, *Modeling of probability distribution functions for automatic threshold calculation in condition monitoring systems*, Measurement, Vol. 46/1, p. 727-738

INTELLIGENT DIAGNOSTIC SYSTEM FOR CONVEYOR BELT MAINTENANCE

The paper deals with the concept of an intelligent system for the damage detection, diagnosis and computer-aided maintenance management system for conveyor belts using the Condition Based Maintenance approach. The structure of the system and some key elements are described in the paper. Some modules of the system have been already completed, while others are under construction. Hence

the article deals with the concept rather than a finished product. Holistic view to the problem is necessary because ultimately the wider context of the conveyor system maintenance management system is expected. A Diag Manager, precursor of proposed intelligent system, has been developed several years ago for transmissions used in conveyor drives. Our intent is to exploit experience with Diag Manager and to extend this idea to belts and other components of the conveyor in future. A key element of this article is to use the elements of artificial intelligence (AI) and machine learning to support maintenance management. AI might relate to data validation, determining the decision thresholds, the decision regarding release to continue service or exchange the belt. Application of artificial intelligence seems to be necessary due to necessary development of objective knowledge in a formalized form regarding the operation of conveyor belts.