

Możliwości automatyzacji detekcji uszkodzeń taśmy w odstawie przenośnikami taśmowymi

R. Błażej
Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej

L. Jurdziak
Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej

STRESZCZENIE: W pracy zwrócono uwagę na konieczność zastosowania urządzeń diagnostycznych w celu eliminacji subiektywnych ocen stanu taśm oraz obniżenia kosztów transportu poprzez automatyzację detekcji ich uszkodzeń i uniknięcie strat spowodowanych postojami awaryjnymi - prowadzenie efektywnej ekonomicznie polityki wymian w oparciu o stan taśm i złączy. Omówiono dotychczasowe procedury związane z wizualną oceną stanu taśmy w tym wprowadzoną w kopalniach węgla brunatnego jednolitą klasyfikacją uszkodzeń taśm i ich intensywności oraz możliwość jej adaptacji do warunków kopalń rud miedzi. Wskazano na możliwość zastąpienia subiektywnych i nieprecyzyjnych opisów słownych stanu taśm wynikami analiz cyfrowych obrazów powierzchni taśmy. Przedstawiono dotychczas zrealizowane rozwiązania oraz omówiono plany opracowania własnego w ramach rządowego grantu badawczego. Wskazano korzyści użytkowników ze wspierania własnych rozwiązań i ograniczenia z wykorzystania rozwiązań importowanych.

SŁOWA KLUCZOWE: wymiany w oparciu o stan, taśma przenośnikowa, przenośnik taśmowy, diagnostyka taśm, analiza obrazu

1. KONIECZNOŚĆ ZASTOSOWANIA AUTOMATYCZNEJ DIAGNOSTYKI TAŚM

1.1. *Diagnostyka taśm wyrazem uświadomienia ich znaczenia dla poziomu kosztów transportu*

Taśma przenośnikowa jest ważnym elementem systemu transportowego. Wynika to nie tylko z pełnionej przez nią funkcji w systemie transportu ciągłego: nośnika podtrzymującego urobek w trakcie transportu i medium przenoszącego siłę napędową, lecz również z uwagi na wysoką cenę oraz jej wpływ na niezawodność szeregowego układu ciągu przenośników. Zagrożenie stratami przestojowymi związanymi z usuwaniem skutków awarii taśm i złączy [4] oraz wysokie koszty zakupu i wymiany taśm powodują, że użytkownicy transportu przenośnikowego poświęcają taśmom coraz większą uwagę. Objawia się to nie tylko poprzez wzrost świadomości i niezbędnej wiedzy o prawidłowej eksploatacji taśm nabywanej poprzez różnorodne szkolenia i uczestnictwo w regularnych konferencjach poświęconych tej tematyce, lecz również poprzez odpowiednie zmiany organizacyjne (np. wydzielenie specjalnych oddziałów ds. taśm) oraz zintegrowane zarządzanie eksploatacją przenośników (wdrożenie komputerowo wspomaganą gospodarką taśmami [9, 10, 16]). Jednym z objawów uświadomienia znaczenia prawidłowej eksploatacji taśm dla obniżenia poziomu kosztów transportu w kopalni [5, 11] (osiągającego poziom nawet do 30% kosztów wydobycia w kopalniach rud miedzi [20]) jest coraz powszechniejsze sięganie po różne metody diagnostyki.

1.2. Strategie wymian prewencyjnych taśm w oparciu o ich stan

Generalnie można wyróżnić trzy strategie utrzymania maszyn (obiektów lub urządzeń technicznych) [2]:

- eksploatację do awarii,
- eksploatację planowo zapobiegawczą,
- eksploatację zależną od stanu technicznego.

Dwie pierwsze strategie określane są jako tradycyjne metody eksploatacji, a trzeci - eksploatacja zależna od stanu maszyny – możliwa dzięki zastosowaniu technik diagnostyki technicznej i monitorowania stanu.

W odniesieniu do taśm przenośnikowych, które są elementami przenośnika w pracy [8] wyróżniono trzy zasadnicze polityki wymian taśm stosowane w polskich kopalniach:

1. Eksploatacja taśmy do całkowitego zużycia w celu maksymalizacji czasu pracy taśmy.
2. Stosowanie wymian prewencyjnych w celu uniknięcia strat spowodowanych przestojami.
3. Stosowanie wymian prewencyjnych w celu zapewnienia opłacalnej regeneracji taśm.

Polityki te są stosowane przez poszczególnych użytkowników intuicyjnie (tzn. bez formalnie przeprowadzonej optymalizacji decyzji o wymianach) w oparciu o wypracowane na przestrzeni lat procedury postępowania.

Pierwsza polityka wymian w pełni jest zgodna z pierwszym, tradycyjnym sposobem eksploatacji. Obecnie taki sposób prowadzenia wymian praktycznie nie występuje z uwagi na wysokie koszty przestojów awaryjnych. Pozostałe polityki wymian taśm odpowiadają trzeciemu sposobowi eksploatacji. Wymiany prowadzi się w nich po osiągnięciu przez taśmy stanu granicznego przekroczenie, którego zwiększa niebezpieczeństwo awarii (2 – strategia stosowana w kopalniach podziemnych) lub uniemożliwia przeprowadzenie opłacalnej regeneracji taśmy (3 – strategia wymian stosowana w kopalniach węgla brunatnego). W obu politykach konieczne jest dokonywanie regularnych przeglądów stanu taśm, gdyż decyzję o jej wymianie podejmuje się na ich podstawie.

1.3. Eliminacja subiektywizmu ocen i koszty płac przemawiają za automatyzacją diagnostyki taśm

Omówione polityki wymian (zwłaszcza prewencyjne typu 2 i 3 [12]) zostały wypracowane w praktyce w celu obniżenia kosztów eksploatacji transportu taśmowego przez różnych użytkowników i dla odmiennych warunków [3]. Opłacalność danej polityki wymian w dużej mierze zależy od właściwego określenia momentu demontażu taśmy. Obecnie decyzję o wymianie podejmuje się jedynie w oparciu o wizualną ocenę stanu taśmy w trakcie rutynowych kontroli przenośników. Ocena taka dotyczy tylko zewnętrznych cech taśmy i nie uwzględnia degradacji jej rdzenia (w tym zachodzących w taśmie zmian zmęczeniowych). Brak jasno i dokładnie sprecyzowanych kryteriów demontażu taśmy wpływa na znaczną subiektywność i nieprecyzyjność wyboru momentu wymiany. Podjęcie decyzji optymalnej ekonomicznie jedynie w oparciu o intuicję i doświadczenie jest mało prawdopodobne. Konieczne staje się zastosowanie kompleksowej oceny stanu taśmy z wykorzystaniem systemu do klasyfikacji uszkodzeń i oceny stopnia jej zużycia [9, 10, 13] oraz zautomatyzowanie procesu diagnozowania, gdyż płace pracowników w kopalniach podziemnych stanowią już ponad połowę kosztów wydobywania i tam gdzie urządzenie techniczne może zastąpić pracę człowieka, zwłaszcza, gdy eliminuje subiektywność decyzji, to warto to zrobić.

2. MOŻLIWOŚCI WIZUALNEJ I CYFROWEJ KLASYFIKACJI USZKODZEŃ TAŚM

2.1. Adaptacja wizualnej, jednolitej klasyfikacji uszkodzeń (JKU) do potrzeb kopalń rud miedzi

Zaproponowana w pracy [14] i wdrożona w KWB „Turów” jednolita klasyfikacja uszkodzeń (JKU) taśm przenośnikowych [6, 15] dokonywana przez pracowników podczas rutynowych

ogłędzin stanu taśm na przenośnikach oraz opracowany na jej bazie indeks zużycia taśmy [13] zostały opracowane pod kątem wymagań trzeciej polityki wymian nastawionej na zapewnienie opłacalnej regeneracji taśm przenośnikowej w kopalniach węgla brunatnego. W kopalniach podziemnych regeneracji taśm jeszcze nie prowadzi się na dużą skalę, gdyż w niewielkim stopniu wykorzystuje się w nich taśmy z linkami stalowymi, a regeneracja taśm przekładkowych użytkowanych w trudnych warunkach dołowych przy dużej wilgotności i agresywnym środowisku oraz znacznych uszkodzeniach rdzenia w wyniku licznych przebiegów nie jest opłacalna.

Przyjęty w JKU opis uszkodzeń nie zależy jednak od polityki wymian i może z powodzeniem być stosowany również w kopalniach podziemnych. Dlatego w pracy [20] podjęto się jego adaptacji do potrzeb kopalń rud miedzi. W klasyfikacji tej wyróżniono następujące rodzaje uszkodzeń: wytarcia obrzeży, wytarcia okładki, wyrwania obrzeży (krawędzi), wyżłobienia, wyrwania okładki, rozcięcia wzdłużne, przebiecia, rozwarstwienia (pęcherze), zbutwienia i przebiecia, wyciągnięcia, uszkodzenia złączy. Zgodnie z pierwotną ideą zaproponowano wprowadzenie 4 stopni (A, ..., D) zakresu intensywności ich uszkodzeń (nieznaczne, średnie, poważne i bardzo poważne) z opisem ułatwiającym ich klasyfikację. Jedyną modyfikacją w stosunku do pierwowzoru uwzględniającą specyfikę strategii wymian w kopalni rud miedzi było wprowadzenie czterech klas zagrożeń dla ciągłości pracy systemu transportowego: od nieznacznego (I), poprzez średnie (II) i duże (III), po krytyczne (IV) nie pozwalające na dalszą eksploatację przenośnika. Z każdą klasą powiązano potrzebne działania naprawcze i czas reakcji służb obsługujących taśmy i przenośniki (naprawa natychmiastowa, na pierwszym postoju, na najbliższym zaplanowanym postoju, obserwacja). Klasy te zasadniczo nie pokrywały się z intensywnością uszkodzeń, gdyż cel ich wprowadzenia był inny. Wprowadzenie JKU miało na celu ujednoczenie pojęć, wymuszenie obiektywizacji oceny stanu zużycia taśmy przenośnikowej dokonywanej przez różne osoby, a tym samym zapewnienie ich porównywalności. Do przetwarzania takiego opisu przy wyznaczaniu indeksu zużycia taśmy zaproponowano dlatego wprowadzenie zmiennych lingwistycznych i rachunek zbiorów rozmytych [9, 13].

Dzięki zastąpieniu dokonywania ocen stanu taśmy lub wprowadzenie ich wspomaganie poprzez zastosowanie urządzeń technicznych (np. cyfrowych kamer) zakres obiektywności ocen mógłby zostać istotnie zwiększony. Pozwoliłoby to na w pełni mierzalną ocenę stanu taśmy i umożliwiło optymalizację ekonomiczną momentu jej wymiany poprzez wskazanie najlepszego czasu jej dokonania. Jest to istotne zwłaszcza dla taśm przekładkowych, gdyż dla nich wizualna ocena stanu okładek jest jak dotąd praktycznie jedynym sposobem nieniszczącego określenia jej stanu. W przypadku taśm z linkami stalowymi już wiele lat temu [7] wypracowano techniki oceny stanu rdzenia na podstawie zmian pola magnetycznego wokół uszkodzonych linek. W dalszym ciągu nie rozwiązano jednak problemu z automatyczną interpretacją wyników takich pomiarów. Decyzję o wymianie taśmy i skierowaniu jej do regeneracji lub „na złom” nadal musi podejmować operator obserwujący wynik cyklicznego lub ciągłego pomiaru bezpośrednio przy urządzeniu lub przed ekranem monitora w biurze wyspecjalizowanej w takich usługach firmy.

2.2. Dotychczasowe próby cyfrowej rejestracji obrazu uszkodzeń taśmy

Na podstawie analizy literatury światowej oraz badań zasobów danych opublikowanych w Internecie zidentyfikowano kilka urządzeń do rejestracji uszkodzeń taśmy przy pomocy kamer video i ich interpretacji z wykorzystaniem automatycznych algorytmów korzystających m.in. z sieci neuronowych. Są to:

- THRIP BeltQC[®] oferowana przez CheckIT Industrial Systems Pty Ltd. [1],
- PHOENOGUARD[®] Conveyor Belt Damage Detection firmy PHOENIX AG [18].
- Mining Conveyor Belt Inspection – trzyletni grant badawczy Department of Energy (DOE) National Energy Technology Laboratory i firmy CONSOL realizowany przez National Robotics Engineering Consortium z Carnegie Mellon University w USA [19]

Choć dostępne materiały pochodzą od twórców i producentów tych urządzeń i brak jest relacji ich użytkowników, to jednak opublikowane materiały potwierdzają możliwości automatyzacji rejestracji uszkodzeń taśm tą techniką oraz istnienie zapotrzebowania na tego typu urządzenia.

System THRIIP BeltQC[®] opracowany przez Applied Physics Group na Uniwersytecie w Durbanie w Południowej Afryce przeznaczony był dla terminalu węglowego Richard Bay Coal Terminal, który dysponuje siecią przenośników o długości 65 km i rocznym budżetem na zakup taśm w wysokości \$1.2 mln. Wysokie kary za nieterminowy załadunek statków węglem z powodu przestoju awaryjnych spowodowanych uszkodzeniami taśm i złącza zachęciły tą firmę do poszukiwania rozwiązania tego problemu. Wdrożenie opracowanego przez prof. Alporta rozwiązania przez firmę CheckIt Industrial System, której przekazano licencję na jego rozpowszechnianie, wskazywane jest jako modelowy sukces firm typu „spin off” w RPA [17]. Rozwiązanie to nie nadaje się do bezpośredniego zastosowania w kopalniach rud miedzi, gdyż taśma filmowana jest w świetle dziennym, a określenie stanu taśmy ma głównie chronić przed nagłymi awariami. Zastosowana technika video jest też już obecnie przestarzała.

Firma PHOENIX AG została przejęta w 2004 r. przez firmę Continental i połączona z firmą ContiTech. System PHOENOGUARD[®] jest wprawdzie ciągle widoczny w Internecie na jej stronie, ale brak jest bliższych danych o jego wykorzystaniu. Zasada jego działania jest podobna do poprzedniego rozwiązania z tą różnicą, że stosuje się w nim specjalne oświetlenie filmowanej powierzchni taśmy. Firma chroni opracowane procedury przetwarzania obrazu i nigdzie ich nie ujawnia. Wiadomo tylko, że istnieje możliwość porównywania stanu taśmy z kolejnych przewinięć, co pozwala na wyłapanie rozwijających się uszkodzeń. Użytkownicy mogą dopasować czułość urządzenia do własnych potrzeb, tak by w porę generować sygnały alarmowe o zbliżającej się awarii. W bardzo skrótowym opisie nie ma żadnych informacji o możliwości klasyfikacji uszkodzeń taśm poza stanami alarmowymi spowodowanym ich uszkodzeniem (najprawdopodobniej rozcięciem) i ich zbieganiem na bębnie zwrotnym. W obu urządzeniach filmowane są bowiem bębny zwrotne.

Szczególnie interesujące są informacje o trzyletnim granicie sponsorowanym przez DOE i kompanię górniczo-energetyczną CONSOL Energy. Budżet tego przedsięwzięcia rozpoczętego w 2004 roku wynosił \$ 2 mln (po ok. \$ 1 mln od każdego sponsora), co potwierdza potrzebę opracowania takiego urządzenia. Firma CONSOL ma zamiar wykorzystywać opracowane urządzenie w swoich podziemnych kopalniach węgla kamiennego.

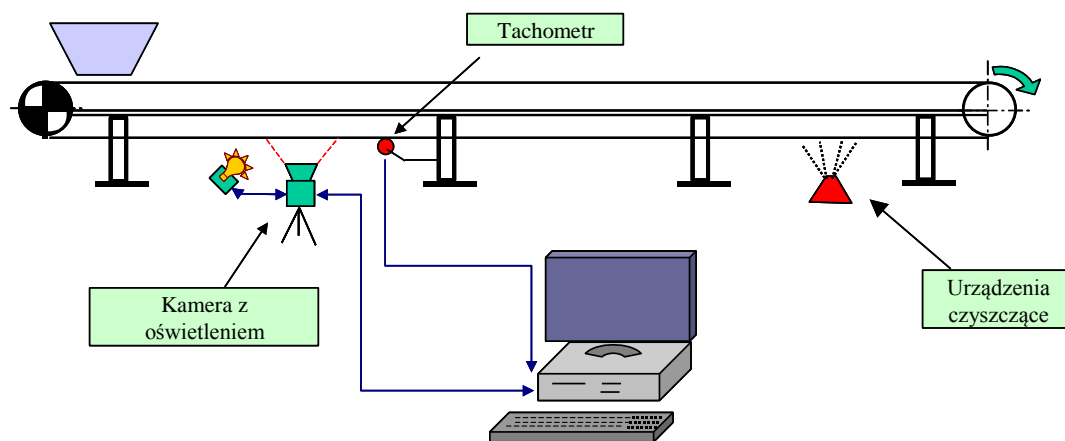
Na marginesie budżet tej firmy na badania i rozwój (R&D) w celu stworzenia nowych urządzeń i usług wynosił w 2004 r. \$ 5.2 mln, co stanowiło 0.20% przychodu tej firmy (\$2,689.24mln) i 4.51% zysku netto po opodatkowaniu (\$ 115.21 mln). Oznacza to, że prawie 20% swojego budżetu na R&D przeznaczono w całości na to jedno urządzenie. Dla porównania, w tym czasie wydatki KGHM „Polska Miedź” na R&D wyniosły 9.169 mln zł, co stanowiło 0.15% przychodu (6 158 mln zł) i 0.33% zysku netto po opodatkowaniu (1 397 mln zł). Nie wiadomo jaka część tej kwoty wydatkowana była i jest na poprawę efektywności transportu taśmowego, który stanowi istotny składnik kosztów wydobycia [20]. Widać, że firmie CONSOL bardzo zależało na poprawie efektywności transportu, gdyż wydała wtedy prawie 1% swego zysku netto tylko na ten cel. Rok 2004 był pod tym względem rekordowy. Później budżet R&D tej firmy nie osiągnął już tego poziomu, choć zyski wzrosły nawet pięciokrotnie.

Według obliczeń tej firmy praca jednej ściany w jej podziemnej kopalni węgla generuje ok. \$1 000 przychodu na minutę. Dlatego czterogodzinny postój awaryjny związany z usunięciem uszkodzenia taśmy lub złącza powoduje stratę przychodu w wysokości \$240 000. W świetle tych wyliczeń inwestycja tej firmy w opracowanie nowego urządzenia, to zaledwie koszt 4 takich postojów [21].

3. PROPOZYCJA OPRACOWANIA WŁASNEGO ROZWIĄZANIA DO AUTOMATYCZNEJ DETEKCJI USZKODZEŃ WYKORZYSTUJĄCA ANALIZĘ OBRAZU

Do tej pory w Polsce nie podjęto żadnych prób automatycznej detekcji uszkodzeń taśm przy użyciu cyfrowych kamer video. O potrzebie i możliwości wykorzystania tej techniki wspomniano przy omawianiu gospodarki taśmami w kopalniach [10] oraz sugerowano rozpoczęcie prac badawczych w kontaktach z kopalniami. Jak dotąd żadna z kopalń nie zdecydowała się na taki krok jak firma CONSOL.

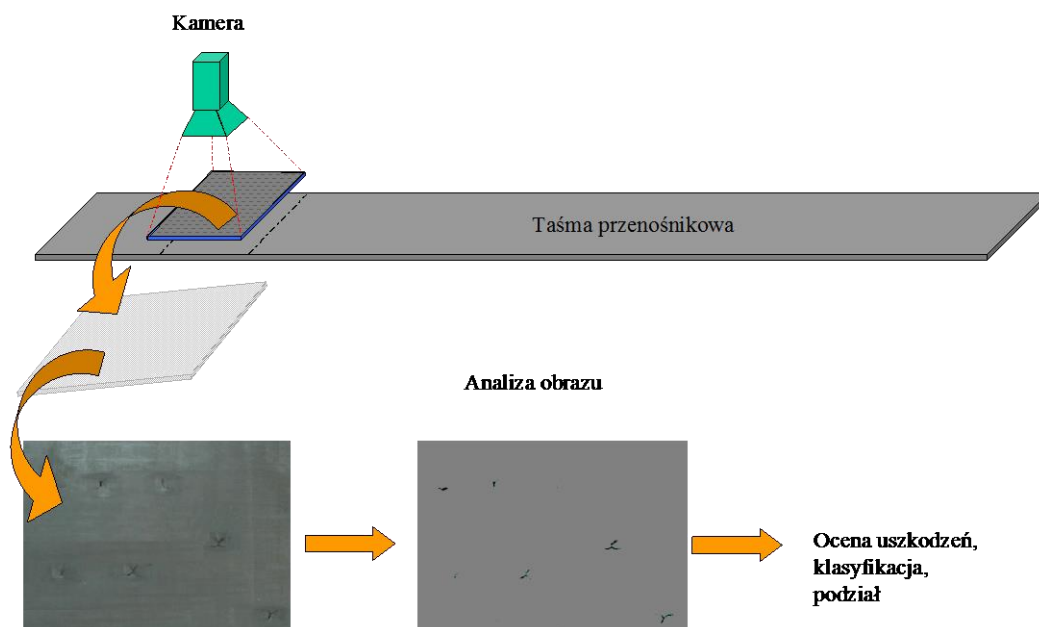
Elementem automatyzacji, ale słownych ocen stanu taśmy, był opracowany algorytm obliczeń zintegrowanego indeksu zużycia taśmy [9, 10, 13] wykorzystujący zbiory rozmyte i zmienne lingwistyczne. Jego wykorzystanie wymaga jednak wprowadzenia do komputera wielu tysięcy opisów stanu poszczególnych odcinków taśmy sporządzonych wg JKU. Jest to możliwe po wprowadzeniu komputerów polowych ze specjalnym oprogramowaniem ułatwiającym wprowadzanie danych bezpośrednio przy przenośniku w trakcie oględzin. Rozwiązanie takie zaczęto wprowadzać w PGE KWB 'Turów' S.A. Dla kopalń podziemnych rozwiązanie to jest nieodpowiednie, gdyż panujące tam warunki uniemożliwiają rzetelną ocenę stanu taśmy. Jest to jednak możliwe po odpowiednim oświetleniu oczyszczonej taśmy i zrobieniu jej zdjęcia (rys.1). W bieżącym roku, po wieloletnich staraniach, udało się w końcu uzyskać środki z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego na badania własne prowadzące do przetestowania tej metody (grant badawczy własny nr N N504 348036 pt „Kompleksowa metoda oceny zużycia taśm przenośnikowych i jej wykorzystanie do opracowania racjonalnej strategii wymian” pod kier. dr inż. Ryszarda Błażeja).



Rys. 1. System pomiarowy do oceny stopnia zużycia taśmy na podstawie obrazu z kamery cyfrowej.
Figure 1. Measurement system for evaluation of belt wear based on images from digital camera.

Wprawdzie uzyskane środki są dwudziestokrotnie mniejsze niż budżet omówionego wcześniej grantu amerykańskiego, zaś zakres testowania różnych metod oceny stanu taśmy i cel znacznie szerszy. Niemniej należy i z tego się cieszyć, bo dzięki temu prace zostały rozpoczęte, a autorzy mają nadzieję, że za przykładem firmy CONSOL, również polskie firmy zechcą sponsorować to badawczo-rozwojowe przedsięwzięcie. Potencjalne korzyści dla kopalń są podobnej skali, a koszty pracy polskich naukowców niższe niż amerykańskich. Z upływem czasu maleją też ceny komponentów wchodzących w skład urządzenia (rys.1) oraz rośnie moc komputerów i oprogramowania do przetwarzania obrazów. Każde następne urządzenie ma, więc szanse być lepsze od poprzednich.

Przykładowo w planach autorów jest opracowanie algorytmu przetwarzania obrazów pozwalającego na odtworzenie JKU, lecz nie na bazie niedokładnych i subiektywnych ocen ludzkich, lecz precyzyjnych obliczeń powierzchni uszkodzeń i długości uszkodzonych krawędzi rys i pęknięć okładek taśmy na jakie pozwala już współczesne oprogramowanie do analizy cyfrowych obrazów (rys.2).



Rys. 2. Etapy analizy obrazu taśmy z zastosowaniem specjalnie do tego celu opracowanego oprogramowania.
Figure 2. Stages of belt image processing with application of special software designed for this purpose.

4. WNIOSKI

Przedstawione możliwości automatyzacji detekcji uszkodzeń taśmy poprzez wykonywanie cyfrowych zdjęć powierzchni taśmy i przetwarzanie obrazu wydają się obiecujące. Potwierdzają to opisane próby zastosowania tej metody oraz wielkość przeznaczonych środków na opracowanie takiego urządzenia. Wdrożenie tej metody na placu węglowym w RPA przedstawia się w literaturze jako sukces firmy typu „spin off” specjalnie powołanej do wdrażania nowych metod w praktyce [17]. Trudno ocenić czy metoda ta nadal jest stosowana w praktyce, ale niezależnie od tego uzyskane doświadczenia i metody przetwarzania obrazu z wykorzystaniem sieci neuronowych udokumentowane w specjalistycznej literaturze mogą być nadal rozwijane. Rozwiązań tych nie można bezpośrednio przenieść do warunków kopalń podziemnych, gdyż zdjęcia wykonywane na powierzchni w dziennym świetle. Postęp w zakresie: wykonywania zdjęć w sztucznym świetle, zwiększania ich rozdzielczości i rozwoju narzędzi do przetwarzania obrazu oraz obniżania kosztów tych urządzeń jest tak duży, że każde następne urządzenie powinno być tylko lepsze.

Wielkość nakładów firmy CONSOL Energy oraz udział Departamentu Energetyki (DOE) w 50% współfinansowaniu projektu również potwierdzają wagę zagadnienia zarówno z punktu widzenia prywatnej firmy jak i rządu. Zmniejszenie zakupu nowych taśm to nie tylko obniżenie kosztów kopalni, lecz również zmniejszenie zużycia wielu komponentów i energii na ich produkcję, co zgodne jest trendem podnoszeniem efektywności wykorzystania energii i ochrony środowiska. Najtańsza jest bowiem energia, która nie została zużyta oraz taśma, której nie kupiono i nie wyprodukowano. Produkcja taśm to raczej tzw. „brudny przemysł” i każde wydłużenie czasu prac taśm w kopalniach przynosi wielowymiarowe korzyści nie tylko kopalni, lecz wszystkim.

Sponsorowanie przez firmę CONSOL opisanych prac badawczych powinno być zachęcające dla naszych firm (zwłaszcza dla KGHM „Polska miedź” S.A.) do podjęcia podobnych działań.

Oczywiście można rozważyć również import gotowego urządzenia. Należy jednak pamiętać, że przy budżecie \$2 mln na stworzenie prototypu nie będzie ono tanie. Dodatkowo import gotowego urządzenia nie zawsze spełnia oczekiwania użytkowników, gdyż jego twórcy nie udostępniają zbieranych sygnałów, czy obrazów do samodzielnego przetwarzania. Przykładem może być system EyeQ do badania stanu linek w rdzeniu taśmy użytkowany w jednej z kopalń odkrywkowych w Polsce. Koszt jego zakupu był spory (zbliżony do budżetu krajowych grantów badawczych), a jego użytkownicy nie uzyskali dostępu do sygnałów źródłowych by móc samodzielnie je przetwarzać i zautomatyzować analizę stanu rdzenia. Bez tego nie można wyeliminować pracy operatorów analizujących obrazy i sygnały. Firmy komercyjne uzależniają użytkowników swych urządzeń od siebie poprzez fachową interpretację sygnałów, dlatego trend rozwoju tego typu urządzeń zmierza bardziej w stronę kontroli i interpretacji danych z oddali (remote control) z wykorzystaniem Internetu, a nie w stronę automatyzacji i inteligentnej interpretacji danych na miejscu u klienta. Cena usług takich firm z czasem znacznie przewyższa koszty zakupu urządzeń, co wynika z dyskutowania pozycji monopolisty w dostępie do zakodowanych danych źródłowych pochodzących z urządzeń diagnostycznych.

LITERATURA

- [1] Alport, P. i inni 2001: Identification of Conveyor Belt Splices and Damages Using Neural Networks, bulk solids handling Vol.21 No.6 November/December.
- [2] Bartelmus W. 1999: Diagnostyka maszyn górniczych. Górnictwo Odkrywkowe. Śląsk Katowice.
- [3] Błażej R. 1996: Analiza sposobu zużycia taśm przenośnikowych w zależności od warunków eksploatacyjnych. Podstawowe problemy transportu kopalnianego. XI Szkoła Jesienna Kierunki Rozwoju i Modernizacji Urządzeń Transportu Taśmowego. Szklarska Poręba, 2-5 października, Oficyna Wydaw. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 80, Konferencje nr 20.
- [4] Błażej R., Hardygóra M., Komander H. 2002: Wpływ wybranych parametrów na trwałość zmęczeniową połączeń wieloprzekładowych taśm przenośnikowych. Transport Przemysłowy, Nr 3 s. 5-9.
- [5] Figiel A, Błażej R. 1996: Ocena uszkodzeń taśm eksploatowanych na przenośnikach długich. Bezpieczeństwo oraz degradacja maszyn. Drugie Konwersatorium BDM. Wrocław, Szklarska-Poręba, 17-20 listopada, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn P.Wroc. s. 51-58.
- [6] Hardygóra M., Błażej R. 1996: Analiza trwałości tekstylnych taśm przenośnikowych produkcji FTT Stomil Wolbrom w KWB Turów. Nowe kierunki i doświadczenia w zakresie budowy i eksploatacji taśm transportowych i urządzeń z nimi współpracujących. IV Międzynarodowe sympozjum. Fabryka Taśm Transportowych Stomil Wolbrom, Zakopane, 29-31.05. Gliwice: UKiP s. 63-69.
- [7] Harrison A. 1996: 15 Years of Conveyor Belt Nondestructive Evaluation, bulk solids handling, Vol.16 No.1 January/March.
- [8] Jurdziak L. 1996a: Metoda określenia rozkładu czasu pracy taśmy przenośnikowej i jego wykorzystania do prognozowania wymian taśm, praca doktorska (niepub.), Politechnika Wroclawska.
- [9] Jurdziak L. 1996b: Zastosowanie zmiennych lingwistycznych do określenia stopnia zużycia taśmy - metoda szeregowania taśm przenośnikowych do wymiany. XI Szkoła Jesienna Kierunki Rozwoju i Modernizacji Urządzeń Transportu Taśmowego. Szklarska Poręba, 2-5 października. Oficyna Wydaw. PWroc. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 80, Konferencje nr 20 s. 123-130.
- [10] Jurdziak L. 1998: Gospodarka taśmami przenośnikowymi w kopalniach - stan obecny i perspektywy. Górnictwo Odkrywkowe, R. 40, Nr 5/6, s. 63-81.
- [11] Jurdziak L. 1999: Wpływ zmian trwałości taśm na koszty eksploatacji przenośników. Wiadomości Górnicze, vol. 50, nr 10, s. 424-431.
- [12] Jurdziak L. 2000a: Prewencyjne strategie wymian taśm przenośnikowych. Podstawowe problemy transportu kopalnianego. XIII Szkoła Jesienna, Wrocław, 13-15 września. Oficyna Wydaw. PWroc., s. 123-143.
- [13] Jurdziak L. 2000b: The conveyor belt wear index and its application in belts replacement policy Proceedings of the International Symposium On Mine Planing and Equipment Selection, Ateny, Grecja, .Nov., Balkema.
- [14] Jurdziak L., Hardygóra M. 1996: Jednolita klasyfikacja uszkodzeń taśm przenośnikowych i ich intensywności. XI Szkoła Jesienna Kierunki Rozwoju i Modernizacji Urządzeń Transportu Taśmowego,

- Szklarska Poręba, 2-5 października. Oficyna Wydaw. PWroc., s. 131-143, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Konferencje, Nr 20, w serii gł.: nr 80.
- [15] Jurdzia L., Rebiger Ł. 2002: Analiza uszkodzeń taśm w KWB "Turów". Transport Przemysłowy, Nr 2, s. 19-23.
- [16] Jurdzia L., Stolarczyk R., Zawadzka B. 2002: Nowe narzędzia do komputerowego wspomagania zarządzania eksploatacją taśm. Transport Przemysłowy, Nr 2, s. 10-14.
- [17] Kruss G. 2005: Working Partnerships in Higher Education, Industry and Innovation, Financial Or Intellectual Imperatives, HSRC Press, Human Sciences Research Council, Cape Town, South Africa.
- [18] Materiały reklamowe firmy Phoenix: Conveyor Belts.
- [19] National Energy Technology Laboratory 2004: DOE Selects Eight Projects to Improve Energy Efficiency in Mining, TechNews From the National Energy Technology Laboratory, February 23.
- [20] Piątek P., 2002: Klasyfikacja uszkodzeń taśm przenośnikowych w wybranej kopalni miedzi, praca dyplomowa pod kier. dr inż. Leszka Jurdziaka, Wydział Górniczy Politechniki Wrocławskiej (niepublikowana).
- [21] U.S. Department of Energy 2004: Effective Conveyor Belt Inspection for Improving, materiały reklamowe grantu badawczego, October.

Publikacja była sponsorowana przez projekt badawczy własny MNiSW, nr N N504 348036 pt. „Kompleksowa metoda oceny zużycia taśm przenośnikowych i jej wykorzystanie do opracowania racjonalnej strategii wymian”.

POSSIBILITY OF AUTOMATIC DETECTION OF DAMAGES OF BELTS IN MINING TRANSPORTATION SYSTEM OF BELT CONVEYORS

Attention is focused on necessity of application of diagnostic devices in order to eliminate subjective evaluations of conveyor belt wear condition and to decrease conveying costs through automatic detection of damages and avoiding costly downtimes – carrying economically effective belts and joints condition based replacement policy. Procedures connected with visual evaluation of belt wear degree have been discussed including the uniform classification of conveyor belt failures and their intensity applied in lignite mines and possibility of its adaptation for copper ore mines. The possibility of replacement of subjective and imprecise linguistic descriptions of belt condition by results of digital image analysis of belt cover is depicted. The hitherto applied solutions were discussed together with planned own solution realized within governmental research grant. The advantages of developing own solution for potential users were discussed together with restrictions of usage of imported ones.

KEYWORDS: condition based replacements, conveyor belt, belt conveyor, belt diagnostic, image analysis