

MONITOROWANIE STANU POŁĄCZEŃ KLEJONYCH TAŚM PRZENOŚNIKOWYCH W WARUNKACH RZECZYWISTYCH

MONITORING THE CONDITION OF ADHESIVE-SEALED BELT CONVEYORS IN OPERATION

Typowe układy transportu wewnątrzzakładowego, do jakich zaliczamy przenośniki taśmowe – charakteryzują się znaczną awaryjnością wynikającą w większości przypadków z nieprzewidywalności wystąpienia czynników powodujących np. zerwanie taśm. Nie istnieją systemy monitorujące pracę tego typu urządzeń, ani też systemy zapobiegające pojawieniu się stanów krytycznych poprzez odpowiednie sterowanie parametrami ich pracy. Ponadto układy takie, jako potencjalne obiekty sterowania charakteryzują się wielowymiarowością. Oznacza to skomplikowany charakter zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami pracy przy obecności wielu sprzężeń. Analiza opracowań o charakterze teoretycznym pozwala wnioskować, że rozwiązanie tego problemu można znaleźć stosując do monitorowania parametrów pracy systemy inteligentne, w tym oparte na sztucznych sieciach neuronowych. System taki powinien zapewnić właściwe monitorowanie pracy układów transportowych oraz inteligentne sterowanie opierające się na analizie parametrów charakterystycznych dla danego obiektu, a mogących wpłynąć na wystąpienie stanów krytycznych.

Słowa kluczowe: złącza klejone, przenośnik taśmowy, monitorowanie

Standard intra-factory transportation systems, where belt conveyors are used, have high failure rate, which in most cases results from the unpredictability of factors e.g. the breaking-up belts. At the present, there are no existing systems, which can monitor the operation of these devices; neither are there systems for preventing occurrence at a critical stage through appropriate every day use. Moreover, such systems as potential objects of control are characterised with multi dimensions. This shows the complicated nature of dependences between individual operation parameters, with the presence of many couplings. An analysis of theoretical works, allow for the conclusion that the problem can be solved with the use of intelligent systems, including those based on artificial neuron networks. Such a system should ensure appropriate monitoring of the transportation systems and intelligent controlling based on the analysis of the parameter characteristic for the given plant that can influence the incident at critical stages.

Keywords: bonded joints, belt conveyor, monitoring

1. Wprowadzenie

Współczesne zagadnienia transportu wewnątrz-zakładowego i składowania materiałów dotyczą nie tylko właściwego dobrania środków transportu do stawianych wymagań, jak np. transport bezpyłowy, bezpieczny, szybki itp., ale także obejmują problematykę doboru odpowiednich elementów i układów ich monitoringu i sterowania pracą w czasie rzeczywistym. Zastosowanie takich układów powinno między innymi przyczyniać do ograniczenia czynności obsługi, czy też stworzenia warunków do możliwie pełnej automatyzacji systemu transportu. Bardzo rzadko w takich przypadkach zwraca się również uwagę na potrzebę zmniejszenia awaryjności. Zwłaszcza poprzez moni-

1. Introduction

Contemporary issues of intra-factory transportation and the storing of materials, concern not only selective means of transport appropriate to the specific requirements (e.g. dust-free, safe or fast transport, etc.), but also problems of choosing appropriate elements and their real-time monitoring and operation controlling systems. Using such systems, should among others, contribute to limitation of the service staff's actions and the transport system's automation to the largest extent possible. In such cases, hardly any attention is paid to the necessity of reducing the system's failure rate, which could be achieved through real-time monitoring of those operation parameters that can signi-

torowanie na bieżąco w czasie rzeczywistym takich parametrów pracy, które w istotny sposób mogą przyczynić się do wystąpienia stanów krytycznych. Podobnie jest również w przypadku diagnozowania stanu maszyn i urządzeń oraz podejmowania na tej podstawie decyzji sterujących w celu wyeliminowania wspomnianych sytuacji i stanów krytycznych lub przeciwdziałania ich skutkom. Wynika to z faktu, że zagadnienie takie jest z wielu względów bardzo trudne do praktycznej realizacji. W większości przypadków rejestrowane dane musiałyby być bowiem na bieżąco mierzone przez odpowiedni układ czujników oraz analizowane przez personel, mający umiejętność wyciągania właściwych wniosków z prowadzonych obserwacji i podejmowania decyzji o zmianie parametrów pracy zagrażających bezpiecznej i bezawaryjnej pracy urządzenia.

W wielu przypadkach występują istotne ograniczenia możliwości wykonania dostatecznie prostego układu monitorująco-sterującego bez udziału czynnika ludzkiego. Pojawiające się w ostatnich paru dziesięcioleciach modele systemów inteligentnych opierające się chociażby na sztucznych sieciach neuronowych, pozwalające między innymi na realizację tzw. sterowania predykcyjnego, czy też tzw. „myślenia maszynowego” mogą być również zastosowane w przypadku monitoringu i sterowania maszyn roboczych, w tym także przenośników taśmowych. Dlatego też dużym wyzwaniem naukowym oraz fascynującym zagadnieniem badawczym jest rozwiązanie jednego z problemów efektywnego monitoringu pracy typowych urządzeń transportu wewnątrzzakładowego, jakimi są przenośniki taśmowe poprzez zastosowanie odpowiedniego układu pomiarowego opierającego się na dobranym systemie inteligentnym, w celu przeciwdziałania stanom krytycznym mającym wpływ na zerwanie taśmy.

2. Górnicze przenośniki taśmowe z połączeniami klejonymi

Przenośniki taśmowe (rys. 1) to podstawowe urządzenia transportu wewnątrzzakładowego w przemyśle wydobywczym. Transport taśmowy ze względu na szereg zalet stosowany jest również w szeregu innych gałęziach przemysłu, np. w zakładach przeróbki surowców mineralnych, w przemyśle hutniczym, cementowo-wapienniczym, papierniczym, w portach morskich i śródlądowych, w budownictwie, rolnictwie i cukrowniach. Za pomocą przenośników taśmowych możliwa jest odstawa materiałów sypkich o różnych właściwościach fizyko – mechanicznych, przy niskim stopniu ich degradacji w czasie odstawy [1, 6].

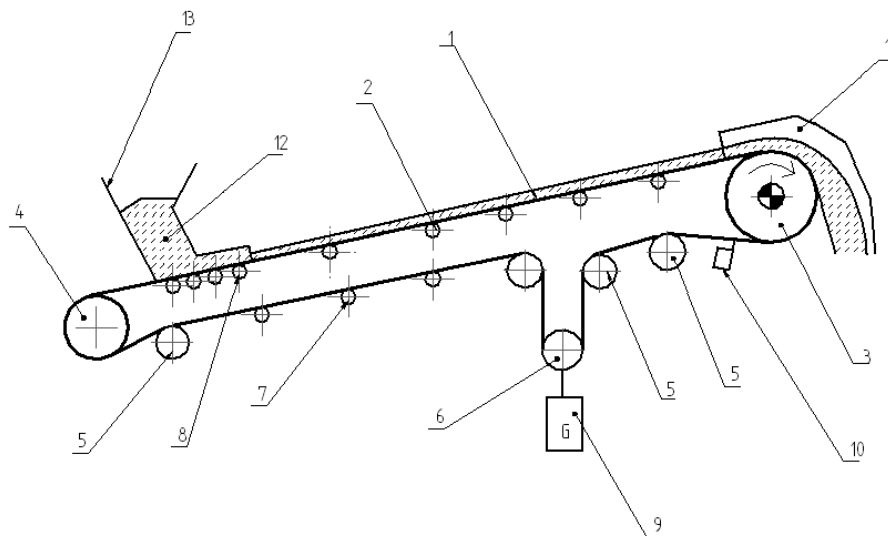
Istotą transportu w przemyśle wydobywczym jest ciągłe przenoszenie urabianych mas, odbywa-

ficznie przyczynić się do wystąpienia stanów krytycznych. Podobnie jest również w przypadku diagnozowania stanu maszyn i urządzeń oraz podejmowania na tej podstawie decyzji sterujących w celu wyeliminowania wspomnianych sytuacji i stanów krytycznych lub przeciwdziałania ich skutkom. Wynika to z faktu, że zagadnienie takie jest z wielu względów bardzo trudne do praktycznej realizacji. W większości przypadków rejestrowane dane musiałyby być bowiem na bieżąco mierzone przez odpowiedni układ czujników oraz analizowane przez personel, mający umiejętność wyciągania właściwych wniosków z prowadzonych obserwacji i podejmowania decyzji o zmianie parametrów pracy zagrażających bezpiecznej i bezawaryjnej pracy urządzenia.

W wielu przypadkach występują istotne ograniczenia możliwości wykonania dostatecznie prostego układu monitorująco-sterującego bez udziału czynnika ludzkiego. Pojawiające się w ostatnich paru dziesięcioleciach modele systemów inteligentnych opierające się chociażby na sztucznych sieciach neuronowych, pozwalające między innymi na realizację tzw. sterowania predykcyjnego, czy też tzw. „myślenia maszynowego” mogą być również zastosowane w przypadku monitoringu i sterowania maszyn roboczych, w tym także przenośników taśmowych. Dlatego też dużym wyzwaniem naukowym oraz fascynującym zagadnieniem badawczym jest rozwiązanie jednego z problemów efektywnego monitoringu pracy typowych urządzeń transportu wewnątrzzakładowego, jakimi są przenośniki taśmowe poprzez zastosowanie odpowiedniego układu pomiarowego opierającego się na dobranym systemie inteligentnym, w celu przeciwdziałania stanom krytycznym mającym wpływ na zerwanie taśmy.

2. Mining belt conveyors with bonded joints

Belt conveyors (Fig. 1) are basic devices of the intra-factory transport for the mining industry. Having a lot of good points, the belt transportation system is also used in many other industries, e.g. in mineral raw material treatment plants, the smelting industry, the cement industry, the paper-making industry, sea- and river ports, the building industry, agriculture and sugar factories. The belt conveyors allow for haulage of loose materials of different physical and mechanical characteristics, at a low level of the materials' degradation [1, 6].



Rys. 1. Schemat typowego przenośnika taśmowego [1]: 1 – taśma; 2 – krążnik górny; 3 – bęben napędowy (zrzutowy); 4 – bęben zwrotny; 5 – bęben odchylający; 6 – bęben napinający; 7 – krążnik dolny (powrotny); 8 – krążnik nadawowy; 9 – obciążnik; 10 – urządzenie czyszczące (zagarniak, skrobak) 11,13 – przesypy; 12 – transportowane nosiwo
 Fig. 1. A scheme of a typical belt conveyor [1]: 1 – upper runner; 2 – upper runner; 3 – motion wheel (dropping); 4 – return wheel; 5 – diverting wheel; 6 – stretching wheel; 7 – bottom runner (return); 8 – feeding runner; 9 – weight; 10 – cleaning device (firmer, scraper); 11,13 – boosters; 12 – material handled

jące się za pomocą różnych środków transportu. Cechą charakterystyczną transportu kopalnianego jest dążenie do ujednoczenia zastosowanego środka transportu. Jeżeli wydobycie odbywa się w sposób ciągły, a przypadek taki jest jak najbardziej pożądany, wówczas najczęściej stosuje się transport taśmowy, który umożliwia bezpośrednią odstawę wydobytego surowca. W warunkach takich wymaga się dużej niezawodności i trwałości urządzenia transportującego urobek, co jest szczególnie kłopotliwe w przemyśle wydobywczym, z racji trudnych warunków pracy.

Taśma przenośnikowa, będąca jednocześnie najdroższym elementem przenośnika, bardzo często podlega różnym rodzajom uszkodzeń. Można wyodrębnić następujące przyczyny typowych uszkodzeń taśmy [1, 6]:

- Uszkodzenia pochodzące od naprężeń, jakim poddawana jest taśma w czasie pracy.
- Uszkodzenia wynikające ze wzajemnej współpracy z elementami przenośnika, mającymi bezpośredni kontakt z taśmą (krążniki, bębny napędowe, urządzenia czyszczące).
- Uszkodzenia pochodzące od transportowanego urobku (ostre krawędzie nosiwa i jego ruch względem taśmy).

Zerwanie taśmy jest najbardziej krytycznym stanem prowadzącym do konieczności zatrzymania przenośnika na długi czas w celu przeprowadzenia skomplikowanych i czasochłonnych napraw. Zerwanie taśmy ma również poważne skutki ekonomiczne. Przyczyną zerwania taśmy jest koncentracja naprężeń,

The essence of the mining industry transportation system is a continuous conveyance of the mined masses, performed with the use of different means of transport. A characteristic feature of the mining transportation system is the trials to unify the means of transport. If extracting is done permanently, and this is the most desirable case, the most often used transport is the belt one, as it allows for direct haulage of the extracted material. In these conditions, high reliability and durability of the transportation device is demanded, which is particularly troublesome in the mining industry because of the hard working conditions.

The conveyor belt, the most expensive element of the conveyor, is very often damaged. The following reasons for these damages can be enumerated [1, 6]:

- Damages resulting from stresses that affect the belt at its operation.
- Damages resulting from cooperation with the conveyor's elements that touch the belt directly (runners, motion wheels, cleaning devices).
- Damages caused by the transported materials (sharp edges of the material handled and its motion on the belt).

Breaking up the belt is the most critical state that leads to the stopping of the conveyor for a long period in order to make complicated and time-consuming repairs. Breaking up of the belt has also serious economic effects. The cause of the breaking up of the belt, is the concentration of stresses transferred by

które przenoszone są przez rdzeń taśmy. Taśma jest narażona na losowe, a więc trudne do wcześniejszego zaobserwowania przeciążenia transportowanym materiałem. Obciążenia te niejednokrotnie przekraczają obciążenia nominalne podane przez producenta taśmy. Efektem tego jest koncentracja naprężeń rozciągających w taśmie i jej zerwanie. Jest to sytuacja krytyczna, która powoduje trwałe unieruchomienie przenośnika. Zerwanie taśmy następuje najczęściej na złączu, które ma mniejszą nominalną wytrzymałość na zerwanie w porównaniu z samą taśmą.

Typowe złącza taśm, wykonywane np. metodą klejenia na zimno posiadają liczne wady i zalety. Technologie klejenia uznaje się za najbardziej właściwe metody wykonywania połączeń, ponieważ gwarantują one zachowanie ciągłości taśmy, mają duży wytrzymałość oraz trwałość, a ponadto dobrze współpracują z krażnikami i bębnami przenośnika. Do ich istotnych wad należy zaliczyć natomiast niską wytrzymałość na zrywanie w porównaniu z samą taśmą. Połączenia klejone są wprawdzie stosunkowo tanie, lecz odznaczają się znacznym rozrzutem wytrzymałości, co jest spowodowane różnymi warunkami temperaturowymi i wilgotnościowymi, które panują podczas ich wykonywania. W efekcie tego często dochodzi do zerwania złączy taśm przenośnikowych bez wystąpienia jakichkolwiek wcześniejszych symptomów mogących świadczyć o bliskim wystąpieniu uszkodzenia (analizowany obiekt diagnozowania jest układem dynamicznym) [2, 3, 5].

Nieprzewidziane zerwania taśmy mogą być również efektem jej mechanicznego zablokowania, bocznego schodzenia lub zanieczyszczenia bębnow [2], jednak sytuacje takie są możliwe do zaobserwowania przez obsługę urządzenia i w przypadku szybkiej reakcji można im zapobiec.

3. Możliwości diagnostyki i sterowania pracą przenośnika taśmowego w aspekcie możliwości przewidywania zbliżającego się zerwania taśmy

Zerwanie taśmy jest okolicznością powodującą długotrwałe unieruchomienie urządzenia oraz znaczne straty finansowe z tego właśnie powodu. Z racji charakteru i warunków pracy urządzenia oraz specyfiki sterowania, zachodzi potrzeba zastosowania do tego celu odpowiedniego inteligentnego układu monitoringu i automatycznego sterowania. Układ taki umożliwi przekształcenie urządzenia w „maszynę inteligentną” mającą możliwość „samodzielnego” reagowania na zmieniające się warunki pracy oraz eliminowania stanów powodujących zerwanie taśmy poprzez przewidywanie ewentualnych przyszłych parametrów pracy i konsekwencji ich wystąpienia [4].

the belt core. The belt is exposed to random (difficult to observe in advance) overloads with the transported material. These loads very often exceed the nominal ones, given by the belt's producer. As a result, the tensile stresses are concentrated in the belt and the belt breaks up. This critical situation causes durable immobilisation of the conveyor. The belt is usually broken up at the joint that has lower nominal tenacity than the belt.

Typical belt joints, made with e.g. the cold bonding method, have numerous advantages and disadvantages. The gluing technologies are believed to be the most proper ones for making connections because they guarantee the maintenance of the belt's continuity, have high resistance and durability, and, moreover, they properly cooperate with the conveyor's runners and wheels. However, one of their essential drawbacks is low tenacity, in comparison with the belt. On one hand, the bonded joints are comparatively cheap, but on the other, they have large dispersion of tenacity, which is caused by different temperature and moisture conditions at bonding. As a result, the conveyor's belts often break up without previous symptoms, suggesting the approaching damage (the analysed object of diagnosis is a dynamic system) [2, 3, 5].

The unforeseen breaking-ups of the belt may also result from its mechanical blockage, side slipping-off or impurities on wheels [2]; however, these situations are easy to observe by the staff and they can be prevented.

3. The possibilities of diagnosing and controlling the belt conveyor's operation in the aspect of possibilities of foreseeing the approaching belt break-up.

The belt breaking-up, causes a long-lasting standstill of the device and significant financial losses. Because of the character and operation conditions of the device, as well as the controlling specificity, it is necessary to use an appropriately intelligent monitoring and automatic controlling system. Such a system shall allow for the device transformation into an "Intelligent machine" that is able to react to the changing operation conditions "on its own", as well as eliminate states causing the breaking-up of the belt, through foreseeing possible future operation parameters and the consequences of their appearance [4].

Realizacja takiego celu jest możliwa poprzez ciągły pomiar i analizę wydłużenia złączy klejonych w czasie ich pracy. Odpowiedni do tego układ będzie miał zatem za zadanie diagnozowanie stanu urządzenia w oparciu o pomiary prowadzone na bieżąco, których wyniki będą w tym samym czasie analizowane przez odpowiednio nauczony system inteligentny, mający za zadanie podejmowanie decyzji o zatrzymaniu urządzenia, zmianie parametrów jego pracy lub sygnalizujący konieczność wymiany lub wzmocnienia złącza taśm. Innymi słowy - automatycznie dobierane parametry pracy będą w tym przypadku jednocześnie stanowiły zabezpieczenie urządzenia przed wystąpieniem stanów krytycznych.

Mając na uwadze powszechność stosowania w przemyśle przenośników taśmowych oraz brak efektywnych systemów monitorująco-sterujących przeciwdziałających awariom tych urządzeń w wyniku zerwania połączenia taśm, można wnioskować, że wyniki realizacji podjętego tematu przyczynią się nie tylko do zwiększenia wiedzy i doświadczenia w zakresie przemysłowego wykorzystania systemów inteligentnych, ale też spowodują ograniczenie strat spowodowanych przestojami w wyniku nieprzewidzianych awarii.

Drugorzędnym celem realizacji omawianego zagadnienia jest ponadto przeprowadzenie analizy porównawczej różnych typów systemów inteligentnych, które mogą być stosowane do monitorowania i sterowania predykcyjnego w warunkach przemysłowych. Tematyka realizowanego zagadnienia łączy w sobie zatem problematykę:

- 1) budowy i eksploatacji maszyn roboczych transportu wewnątrzzakładowego,
- 2) monitoringu stanu urządzenia w oparciu o na bieżąco prowadzone pomiary,
- 3) oraz sterowania wykorzystującego analizę wyników diagnozowania przez odpowiednio przygotowane i nauczone systemy inteligentne.

Wszystkie te trzy zagadnienia łączą się z sobą nierozdzielnie w proponowanej koncepcji układu monitorująco-sterującego z wykorzystaniem systemów inteligentnych.

4. Projekt układu monitorującego stan złączy w czasie rzeczywistym

W obecnym okresie dąży się do tego, aby każdy proces transportu był coraz bardziej zmechanizowany i automatycznie sterowany. Stosowany w takim przypadku program sterowania powinien być odpowiednio połączony z systemem informacji. Podobnie, choć w bardzo ograniczonym zakresie, dzieje się w przypadku rozwoju konstrukcji przenośników taśmowych. Wynika to ze specyfiki konstrukcyjnej tych urządzeń

Realisation of this aim is possible through continuous measuring and analysing elongations of the bonded joints during operation. Appropriate system shall diagnose the device's condition, based on the ongoing measurements. Their results shall be simultaneously analysed by a properly trained intelligent system whose task shall be to take decisions on stopping the device or changing its operation parameters. It could also signal the necessity of replacing or strain hardening of the belts' joints. In other words, automatically selected parameters shall at the same time protect the device against the occurrence of critical states.

Taking into consideration the universal use of belt conveyors in the industry and the lack of effective monitoring and controlling systems, that could prevent the failure of these devices resulting from the belts' breaking-up. It can be supposed that the results of this issue realisation shall contribute not only to broadening knowledge and experience in the field of industrial use of intelligent systems, but also to limiting losses caused by standstills resulting from unforeseen failures.

Moreover, the secondary aim of the discussed issue realisation is making a comparative analysis of different types of intelligent systems that can be used for monitoring and predictive controlling in industrial conditions. Therefore, the scope of the realised issue includes the following:

- 1) construction and operation of intra-factory transport working machines,
- 2) monitoring the device's condition based on the systematic measurements,
- 3) and controlling that use the analysis of diagnosis results by properly designed and trained intelligent systems.

All of the three issues are inseparably connected in the proposed concept of the monitoring and controlling system that uses the intelligent systems.

4. The design of a real time joints' condition monitoring system

Nowadays, the aim is to mechanise and automatically control all transport processes as much as possible. The controlling program used in this case should be connected to a system of information. Similarly, although in a very limited scope, it is done in the development of the belt conveyors' construction. This results from the construction specificity of these devices and their operation conditions. As it has been

oraz warunków ich pracy. Jak wspomniano wyżej, bardzo istotną dla zapewnienia ciągłej i bezawaryjnej pracy przenośników taśmowych jest możliwość występowania losowych przeciążeń transportowanym materiałem, znacznie przewyższających obciążenia nominalne, co przeważnie wynika ze zmiennej wydajności. W konsekwencji często powoduje to zerwania taśmy (złącza taśmy) trwale unieruchamiające prowadzony transport.

Prowadzone obecnie typowe prace badawcze i wdrożeniowe nad połączeniami wieloprzekładkowych taśm przenośnikowych zmierzają w większości do podniesienia wytrzymałości i trwałości różnego rodzaju połączeń, czy też optymalizacji ich geometrii. Dotychczas brak jest jakichkolwiek rozwiązań, czy nawet prób podjęcia tematu monitorowania stanu złączy w warunkach przemysłowych w rzeczywistym czasie ich pracy. Wynika to głównie ze znacznego skomplikowania ewentualnego układu monitorującego, pracującego w tych samych warunkach, co przenośnik oraz braku stosownych rozwiązań konstrukcyjnych. Ponadto dość skomplikowane byłoby też opracowanie dokładnego modelu matematycznego tak diagnozowanego obiektu.

Typowe taśmy przenośnikowe o różnym przeznaczeniu mają zbliżone parametry. Szczególnie istotna jest wielkość minimalnego wydłużenia taśmy w chwili zerwania, która przyjmuje z reguły wartość 17%-18%. Jej znajomość ma istotny wpływ na minimalną dopuszczalną wartość wydłużenia złącza w chwili zerwania. Producenci taśm podają, że względna trwałość połączenia wykonanego metodą klejenia w stosunku do trwałości taśmy wynosi przeciętnie od 50 do 100%. Może ona być zatem zarówno wysoka jak i średnia, a zależy to głównie od niekorzystnych czynników zewnętrznych, między innymi od jakości wykonanego połączenia oraz trwałości zastosowanych materiałów łączących, efektywności technologii klejenia, jak i warunków pracy. Nie bez znaczenia są też zmienne warunki panujące w czasie wykonywania złączy (temperatura, wilgotność względna itp.)

Przeprowadzona wstępna analiza stanu wiedzy na temat wytrzymałości taśm przenośnikowych oraz trwałości złączy wykonywanych metodą klejenia pozwala na postawienie następującej tezy badawczej:

Wydłużenie złączy taśm przenośnikowych w chwili zerwania jest wielkością zależną od właściwości samej taśmy (w tym od minimalnego dopuszczalnego wydłużenia taśmy w chwili zerwania) oraz od jakości wykonanego połączenia klejonego. Istnieje zatem możliwość monitorowania wydłużenia złączy w czasie pracy przenośnika, przy jednoczesnym określeniu wartości krytycznej wydłużenia, kiedy przestaje ono mieć charakter wydłużenia dynamicznego, związanego ze

mentioned above, a crucial question for maintaining continuous and failure-free operation of the belt conveyors is the occurrence of random overloads with the transported material, significantly exceeding the nominal loads, which usually is the effect of changing output. Consequently, the belt (belt's joint) is often broken up, which durably standstills the conveyed transport.

The currently conducted, typical research and implementation works on the joints of multi-interlayer conveyor belts are aiming at, in most cases, improving resistance and durability of different types of joints, or the optimisation of their geometry. So far, there are no solutions, or even trials, of monitoring the condition of joints in the industrial conditions in the real time of their operation. This is mainly caused by significant complication of the possible monitoring system, working in the same conditions as the conveyor, and the lack of appropriate constructional solutions. Moreover, to work out a mathematical model of an object diagnosed in such a way would be rather complicated.

Standard conveyor belts of different purpose have similar parameters. Particularly important is the length of the belt elongation at the time of break-up; usually the value of 17%-18% is accepted. Its knowledge substantially influence the minimum accepted value of elongation in the moment of breaking-up. The belts' producers inform that the relative durability of the glue joint, compared to the belt's durability is 50%-100% on average. That means it can be high or medium and it depends mainly on adverse external factors; among others, on the quality of joint and on the durability of materials used for the joint, bonding efficiency and operation conditions. Changing conditions of the environment while making the joins are also important (temperature, relative humidity, etc.)

An initial analysis of knowledge of conveyor belts' tenacity and durability of bonded joints allow for posing the following research thesis:

Enlogation of the conveyor belts at the time of break-up depends on the belt's characteristics (including the minimum accepted belt elongation at the time of break-up) and on the quality of the bonded joint. Thus, it is possible to monitor the enlogations of joints at the conveyor operation, with the simultaneous defining the critical value of the enlogation, when it ceases to have the character of a dynamic enlogation connected to the changing operation conditions and becomes an value indicating the approaching breaking-up of the joint.

Moreover, the designed monitoring system shall be able to signal in advance about the occurrence of conditions accompanying the approaching breaking-up of the belt in the joint area. Appropriate construction

zmiennymi warunkami pracy, a staje się wielkością świadczącą o bliskim zerwaniu połączenia.

Projektowany układ monitorujący będzie miał ponadto możliwość zasygnalizowania z wyprzedzeniem, o zaistnieniu warunków towarzyszących zbliżającemu się zerwaniu taśmy w obszarze złącza. Odpowiednia konstrukcja pozwoli również na uzyskanie dodatkowych korzyści wynikających z jego zastosowania, między innymi poprzez:

- przeanalizowanie parametrów eksploatacyjnych przenośnika taśmowego, mających wpływ na częste awarie w wyniku zerwania taśm oraz opracowanie odpowiedniego systemu inteligentnego, który będzie umożliwiał monitorowanie warunków pracy maszyny i jej automatyczne sterowanie w celu eliminacji sytuacji krytycznych, - można bowiem przy danej wydajności, mocy i długości przenośnika wpływać na obciążenie taśmy poprzez zmianę jej prędkości,
- przeanalizowanie trwałości różnych typów połączeń klejonych taśm przenośnikowych w celu zwiększenia jakości złącza lub opracowania modyfikacji technologii ich wykonywania bez spowodowania straty wytrzymałości przekładek,
- przeprowadzenie analizy przyczyn wad wykonawczych połączeń,
- praktyczne porównanie właściwości stosowanych materiałów klejowych w aspekcie ich wytrzymałości na rozwarstwienie i ścinanie.

Wymierną korzyścią realizacji takiej właśnie koncepcji monitorowania i sterowania pracą analizowanego obiektu będzie między innymi:

- umożliwienie stałego nadzoru stanu wszystkich złączy taśm przenośnikowych w trakcie ich pracy, z wykorzystaniem metody bezinwazyjnej,
- identyfikacja złączy oraz ocena ich trwałości i niezawodności w czasie całego okresu pracy,
- eksploracja danych z monitoringu w czasie rzeczywistym,
- zapewnienie szybkiej reakcji układu na zmieniające się warunki pracy,
- zapewnienie możliwości szybkiej i właściwej reakcji układu na inne, nieprzewidziane stany pojawiające się w czasie pracy.

Schemat opracowanego układu monitorującego realizującego przedstawione powyżej cele przedstawia rysunek 2.

Opracowane i wykonane urządzenie testowane jest aktualnie w warunkach dołowych na przenośniku odstawy głównej kopalni L.W. Bogdanka S. A.

shall also allow for obtaining additional advantages of using it, among others, through:

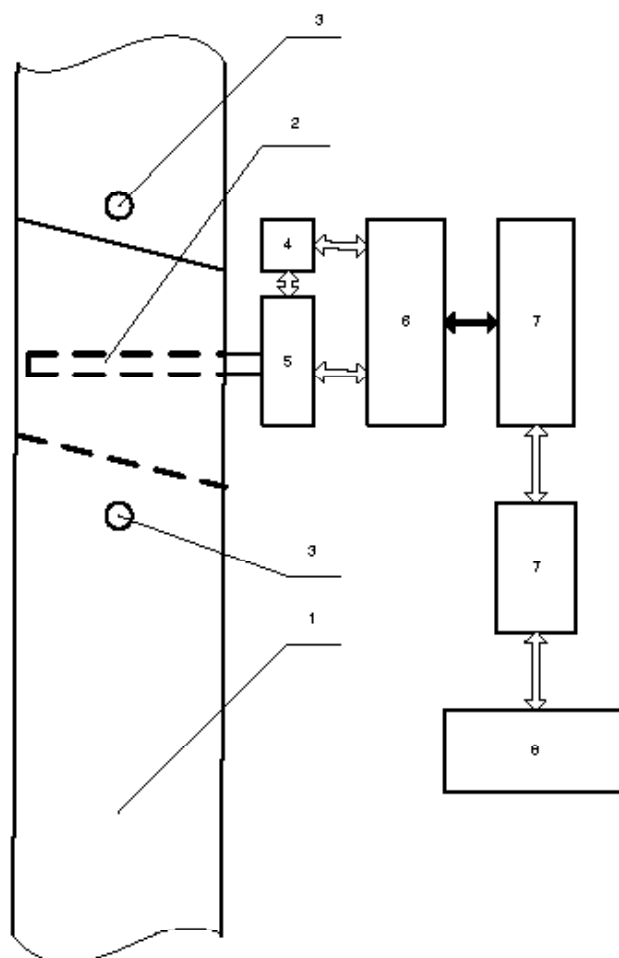
- analysing operation parameters of the belt conveyor, influencing the frequent occurrence of failures resulting from the break-up the belts and working out appropriate intelligent system that shall allow for monitoring the operation conditions of the machine and its automatic control in order to eliminate critical situations; it is possible to influence the belt load (at a given capacity, power and conveyor length) by changing its speed,
- analysing durability of different joints types of glued conveyor belts in order to improve the joint's quality or to work out the modification of their manufacturing technology without losses of the inter-layers' tenacity,
- making an analysis of reasons of faults in the produced joints,
- practical comparison of the bonding materials' characteristics regarding their resistance to separation and coagulation.

Notable benefits of the realisation of such monitoring and controlling concept shall be, among others:

- enabling constant supervision of all conveyor belts' joints condition at their operation, with the use of an inertia less method,
- joints identification and assessment of their durability and reliability through the whole operation period,
- exploration of the monitoring data in the real time,
- ensuring prompt reaction of the system to the changing operation conditions,
- creating the possibility of quick and proper system's reaction to other, unforeseen conditions occurring at the device's operation.

A scheme of the designed monitoring system that realise the aims presented above is shown in Figure no. 2.

The designed and constructed testing device is, for the time being, tested in the underground conditions on the main haulage conveyor of the L.W. Bogdanka S. A.



Rys. 2. Schemat ideowy konstrukcji układu monitorującego wydłużenie złączy taśm przenośnikowych: 1- taśma przenośnika, 2 – obszar złącza, 3 – znacznik, 4 – czujnik, 5 – urządzenie pomiarowe, 6 – sterownik mikroprocesorowy, 7 – urządzenie do transmisji danych cyfrowych, 8 – system komputerowy

Fig. 2. Schematic diagram of the system monitoring the elongations of the conveyor belts' joints: 1- conveyor belt, 2 – joint area, 3 – marker, 4 – sensor, 5 – measuring device, 6 – microprocessor controller, 7 – a device for transmission digital data, 8 – computer system

5. Podsumowanie

Celem prowadzonych prac jest opracowanie metody monitoringu i sterowania parametrów pracy typowego urządzenia transportu wewnątrzzakładowego, która pozwoliłaby na przewidzenie warunków wystąpienia stanu krytycznego, a przez to uniknięcie awarii. W wyniku takiego opracowania, określone zostaną warunki konstrukcyjno-eksploatacyjnych urządzenia, mające wpływ na częste awarie w wyniku zerwania złączy taśm. W kolejnym etapie prac opracowany zostanie odpowiedni system inteligentny, który będzie umożliwiał monitorowanie warunków pracy maszyny roboczej i jej sterowanie w celu eliminacji sytuacji krytycznych. System taki opracowany będzie w oparciu o odpowiedni model inteligentny analizowanego obiektu. Do tego celu niezbędne jest zgromadzenie zbioru danych charakteryzujących obiekt oraz prze-

5. Summary

The aim of the conducted works is to work out a method of monitoring and controlling the parameters of standard intra-factory device operation. The method should allow for foreseeing conditions at a critical state incident, and in this way – for preventing a failure. Because of this work, the construction and operation conditions of the device shall be defined; the defined conditions influence frequent failures resulting from the breaking-up joints. At the subsequent stage, there shall be designed an appropriate intelligent system that shall allow for monitoring the operation conditions of the working machine and its controlling in order to eliminate the critical states. This system shall be worked out based on appropriate intelligent model of the analysed object. To achieve this aim, it is necessary to gather a collection of data characterising the plant

prowadzenie analizy dostępnych technik modelowania systemów inteligentnych pod kątem możliwości ich zastosowania w różnych obiektach rzeczywistych w zależności od specyfiki ich konstrukcji i warunków pracy. Po odpowiednim przeanalizowaniu warunków pracy analizowanego obiektu w aspekcie eliminacji nieprzewidzianych obciążeń, oraz po dobraniu i opracowaniu odpowiedniego modelu matematycznego, konieczne będzie opracowanie reguł sterujących. Ich algorytmy pozwolą na realizację założonych celów sterowania. Przeprowadzone zostaną badania symulacyjne polegające na opracowaniu systemu komputerowego w oparciu o wykonany model obiektu. Ich istotnym elementem będzie opracowanie systemu komputerowego do rejestracji, archiwizacji i przetwarzania wyników symulacji. Model taki pozwoli na właściwą ocenę i prognozowanie pracy obiektu, projektowanie i testowanie oraz analizę pracy systemu sterowania. Aby zrealizować tak założony cel pracy konieczne jest przeprowadzenie badań na obiekcie rzeczywistym. Przeprowadzone zostaną również opisane wcześniej badania symulacyjne oraz weryfikacyjne. Wnioski dotyczące praktycznych cech aplikacyjnych systemów inteligentnych i opisujących je modeli umożliwią łatwe przeniesienie wyników prac na inne tego typu obiekty rzeczywiste, które powinny posiadać zabudowane inteligentne systemy monitoringu i sterowania w czasie rzeczywistym.

and making an analysis of available system modelling techniques with the regard of the possibilities of using them in different real plants, depending on the specificity of their construction and operation conditions. After appropriate analysing the operation conditions of the plant with regard to elimination of unforeseen loads, and after selecting appropriate mathematical model, it shall be necessary to work out the controlling rules. Their algorithms shall allow for achievement of the control aims. Simulation research shall be made; they shall consist in working out a computer system based on the constructed plant's model. Their crucial element shall be designing a computer system for registration, archiving and processing the simulations' results. Such model shall allow for appropriate assessment and prognosis of the plant's operation, designing, testing, and analysing the controlling system operation. In order to realize such a complicated aim, it is necessary to conduct researches in a real plant. Also, the simulation and verification researches, mentioned above, shall be conducted. Conclusions concerning the practical characteristics of the applicable intelligent systems and the models describing them shall allow for easy transferring the works' results to other real plants of this type that need to have the real-time monitoring and controlling systems built-in.

6. References

- [1] Antoniak J.: *Przenośniki taśmowe - wprowadzenie do teorii i obliczenia*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
- [2] Desowski A.: *Poradnik eksploatacji taśm przenośnikowych*. Zakłady Gumowe Górnictwa, Bytom 1999.
- [3] *Górnictwe taśmy PCV - informator; poradnik*. Bydgoskie zakłady Przemysłu Gumowego, Bydgoszcz 1994.
- [4] Korbicz J. (red): *Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania*. WNT Warszawa 2002.
- [5] *Poradnik eksploatacji taśm przenośnikowych Bełchatowskich Zakładów Przemysłu Gumowego „Stomil Bełchatów”*, Bełchatów 1998.
- [6] Żur T.: *Przenośniki taśmowe w górnictwie*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1979.

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004-2006
jako projekt badawczy

Dr inż. Dariusz Mazurkiewicz

Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji
Politechnika Lubelska
Ul. Nadbystrzycka 36, 20-816 Lublin
E-mail: d.mazurkiewicz@pollub.pl
