

## WYBRANE PROBLEMY DIAGNOSTYKI I MONITOROWANIA PRACY GÓRNICZYCH PRZENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH

### OPERATING DIAGNOSTICS AND MONITORING ISSUES OF SELECTED MINING BELT CONVEYERS

*W artykule przedstawiono kierunki prac zmierzających do poprawy warunków eksploatacji górniczych przenośników taśmowych. Szczególną uwagę zwrócono na tendencje w budowie systemów monitorowania i diagnozowania przekładni układu napędowego oraz taśm przenośnikowych.*

*Słowa kluczowe: diagnostyka, monitorowanie, przenośnik taśmowy*

*The paper presents the trends of works aimed at improving the operating condition of mining belt conveyers. Special attention has been paid to the tendencies in the design of drive system transmission and conveyer belt monitoring and diagnostics systems.*

*Keywords: diagnostic, monitoring, belt conveyer*

#### 1. Wprowadzenie

Jednym z podstawowych i najbardziej efektywnym z urządzeń do transportu materiałów masowych jest przenośnik taśmowy.

Podstawowymi elementami konstrukcji przenośnika taśmowego są: zespół napędowy, konstrukcja nośna i taśma. Jednym z przykładów konstrukcji taśmy jest taśma z linkami stalowymi oraz poprzecznymi brokami w postaci siatki stalowej, przedstawiona na rys. 1.

#### 2. Taśma

Taśma przenośnika jest najdroższym elementem przenośnika, a jednocześnie elementem o najniższej trwałości. Decyduje ona o efektywności i niezawodności pracy całego przenośnika oraz kształtowaniu się kosztów transportu zakładowego. Najgroźniejszymi jej awariami są uszkodzenia mechaniczne oraz pożary.

Do podstawowych uszkodzeń taśm przenośnikowych podczas ich użytkowania należą [4]:

- przecięcia podłużne lub poprzeczne taśmy,
- zerwanie się połączenia klejonego lub mechanicznego,
- oberwanie obrzeża gumowego i strzępienie się rdzenia taśmy,
- nadmierne wycieranie się okładki nośnej i bieżnej
- zerwanie się taśmy,
- rozwarstwienie się taśmy,
- zagrzewanie się taśmy przez tarcie o unieruchomione krążniki boczne, zatarte bębny zwrotne, elementy konstrukcji przenośnika.

Szereg uszkodzeń taśm przenośnikowych powstaje najczęściej w miejscu załadunku urobku na taśmę.

Wymagania stawiane przenośnikom taśmowym stosowanym w górnictwie są szczególnie wysokie. Wiąże się to tak z warunkami pracy (zapylenie, praca w atmosferze metanowej), koniecznością spełnienia ostrych wymogów bezpieczeństwa (szczególnie względem taśm przenośnikowych- np. trudnopalność) ale także wysoka odporność na zużycie wszystkich elementów przenośnika. Ograniczone możliwości dozoru stanu elementów przenośnika powodują, że poszukuje się odpowiednich środków zaradczych, umożliwiających zapewnienie ciągłej

#### 1. Introduction

The belt conveyer is one of the most basic and effective bulk material transportation devices.

The basic components of a belt conveyer design are: drive system, carrying structure, and belt. An example of belt design could be a belt using a steel cable and transverse breakers in the form of steel mesh, as shown in Fig. 1.

#### 2. The conveyer belt

The conveyer belt is the most expensive part of the conveyer, and at the same time the part with the lowest durability. The belts determine the efficiency and reliability in operation of the entire conveyer and the in-plant transportation cost structure. The most dangerous defects of the conveyer belt are mechanical damage and fires.

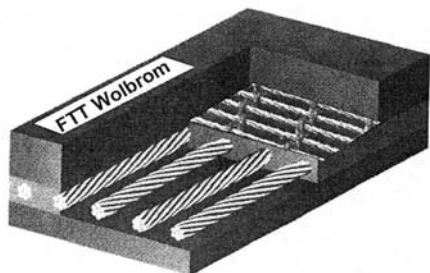
Basic failures of conveyor belts during their operation consist of [4]:

- longitudinal or transverse cuts in the belt,
- breakage of the mechanical or glued belt connection,
- separation of rubber edging and fraying of the belt core,
- excessive wear of the supporting and running track,
- belt breakage,
- belt delamination,
- overheating of the belt through rubbing against stopped side rollers, seized return drums, conveyer structure elements.

A great deal of damage to conveyor belts is caused where the spoil is loaded onto the belt.

The requirements for belt conveyers used in the mining industry are exceptionally high. This is related to the operating conditions (dust, operation in a methane atmosphere), the necessity to meet strict safety requirements (especially in the case of conveyor belts – e.g. non-flammability requirements) and also high wear resistance of all conveyer components. The limited possibilities of monitoring conveyer components means that appropriate preventive measures that would enable continuous supervision and control of conveyers are wanted, this is also why during recent years extensive work on designing conveyer

kontroli i oceny ich stanu, stąd też w ostatnich latach bardzo intensywnie prowadzone są prace nad budową układów monitorowania uszkodzeń taśm przenośnikowych. Z uwagi na różnorodną budowę i różne właściwości taśm przenośnikowych, powstało szereg koncepcji systemów monitorowania. W przypadku taśm tkaninowo- gumowych najczęściej postuluje się budowę systemów monitorowania w oparciu o specjalnie implementowane w taśmie, elementy detekcyjne (np. [3, 4]). Taśma jest umownie dzielona na powtarzalne sektory, w których występują odpowiednie detektory parametrów charakterystycznych uszkodzeń. Jednym z prostszych jest system zaproponowany np. w pracy [3], którego schemat ideowy ilustruje rys. 2.



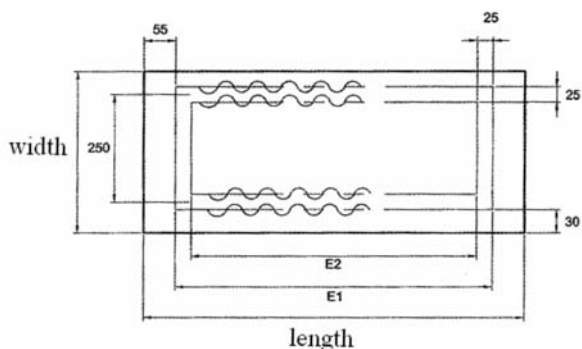
Rys. 1. Taśma z brokerami w postaci siatki stalowej, produkcji STOMIL-WOLBROM [1]

Fig. 1. Belt with breakers in the form of steel mesh, made by STOMIL-WOLBROM [1]

System ten składa się z jednostki sterującej BSE-16, nadajnika i odbiornika oraz anteny implantowanej w taśmie. Zasada pracy systemu polega na tym, że identyfikowane jest uszkodzenie taśmy równoznaczne z uszkodzeniem anteny. Równocześnie następuje natychmiastowe zatrzymanie przenośnika, poprzez co, minimalizowane są straty będące następstwem zaistniałego uszkodzenia. Aby możliwa była ciągła kontrola stanu taśmy za pomocą tego systemu, na etapie jej produkcji, niezbędna jest implantacja anteny poprzez wulkanizację (rys. 3).

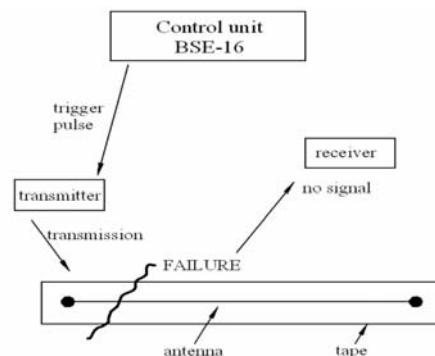
Wg [3], odległości pomiędzy antenami mogą być różne, zależnie od konstrukcji przenośnika, warunków jego eksploatacji lub wymagań odbiorcy. Najczęściej wynoszą od 20 do 100m. Na przenośniku instaluje się po jednej parze nadajnika i odbiornika, przed i za miejscem szczególnie niebezpiecznym dla uszkodzeń taśmy (jak na rys. 4).

Nadajnik i odbiornik rejestrują sygnały od przemieszczających się wraz z taśmą anten. Pomiar drogi pomiędzy antenami realizowany jest za pomocą zliczającego impulsu czujnika



Rys. 3. Antena zawulkanizowana w taśmie [3]  
Fig. 3. Antenna vulcanized into the belt [3]

monitoring systems has been undertaken. Due to the various designs and properties of conveyor belts numerous monitoring systems concepts have been created. In the case of rubber-textile belts the most popular suggestion is to develop monitoring systems based on special components built into the belt itself and detection components (e.g. [3, 4]). The belt is conventionally divided into repeatable sectors, equipped with detectors sensing parameters characteristic of typical damage and failures. One of the simplest systems suggested in the paper is design [3], the diagram of which is presented in Fig. 2.

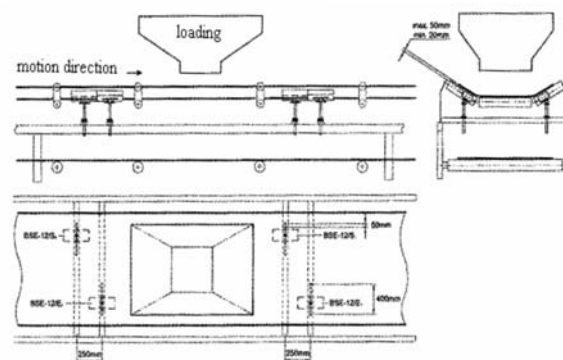


Rys. 2. Schemat ideowy systemu detekcji uszkodzeń taśmy, wg [3]  
Fig. 2. Diagram of belt damage detection system [3]

This system consists of a BSE-16 control unit, transmitter and receiver and an antenna built into the belt. The operation consists in identifying antenna damage as equivalent to belt damage. This causes the stopping of the conveyer, thus the losses caused by the damage that has occurred are minimized. In order to continuously control the belt status using this system, the antenna must be built into the belt through vulcanization when the belt is manufactured (Fig. 3).

According to [3], the distances between antennas can differ depending on the design, usage conditions and the user's requirements. Usually they are between 20 and 100 meters. A receiver and transmitter pair is installed on the conveyer upwards and downwards from locations especially where the belt's integrity is especially endangered (as in Fig. 4).

The transmitter and receiver register signals from the antennas moving with the belt. The measurement of the distance between antennas is carried out through a sensor counting impulses from the proximity detector, installed in any non-driving

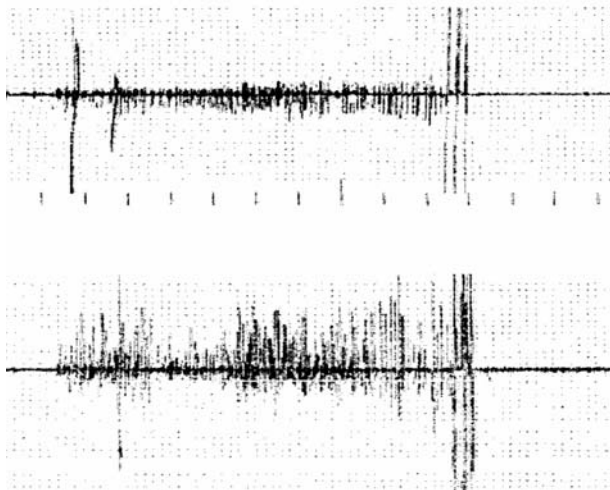


Rys. 4. Rozmieszczenie elementów systemu w okolicy stacji załadunkowej [3]  
Fig. 4. Displacement of system components near loading station [3]

zbliżeniowego, zainstalowanego na dowolnym bębnie nienapędowym przenośnika (z uwagi na błąd poślizgu taśmy na bębnie napędowym). W trakcie pierwszego obiegu taśmy na przenośniku, system zapisuje w pamięci odległości pomiędzy poszczególnymi antenami (w impulsach). W każdym następnym obiegu dokonywane jest porównywanie monitorowanych parametrów z parametrami zapamiętanymi na początku z uwzględnieniem zaprogramowanych tolerancji. Ciągła kontrola prowadzona jest równocześnie na obu parach nadajnik- odbiornik. Po stwierdzeniu nieprawidłowości, wyłączany jest napęd główny przenośnika.

W przypadku monitorowania stanu taśm przenośnikowych zbrojonych linkami stalowymi (jak na rys. 1), postuluje się wykorzystanie metod magnetycznych (np. [2]). Każde przypadkowe zdarzenie prowadzące do wzdłużnego rozcięcia taśmy wiąże się tutaj z rozerwaniem brokerów. Zerwane druty siatki stalowej (brokera) stają się widoczne w postaci charakterystycznego sygnału, który informuje o rozerwanej taśmie (rys. 5).

Dzięki zastosowaniu głowicy segmentowej (rys. 6), otrzymuje się jednocześnie sygnał o stanie technicznym linek z całego przekroju taśmy.



Rys. 5. Sygnał informujący o zniszczonych brokerach [2]  
Fig. 5. Signal informing of damaged breakers [2]

W opisywanym systemie zastosowano symptomową macierz obserwacji, analizator zerwanych brokerów oraz analizator sygnałów pojawiających się jednocześnie we wszystkich sekcjach pomiarowych głowicy. Podczas badania uzyskuje się sygnał pomiarowy z kilku sekcji jednocześnie. Układ elektroniczny zlicza wszystkie impulsy w poszczególnych sekcjach, jakie występują między kolejnymi połączeniami, podając informację do pamięci rejestratora. Otrzymuje się w ten sposób symptomową macierz obserwacji informującą o liczbie uszkodzeń zarówno w poszczególnych sekcjach jak również w poszczególnych odcinkach taśmy. W kolejnych badaniach przeprowadzanych np. raz dziennie, otrzymuje się pełną historię zmian liczby uszkodzeń w poszczególnych odcinkach taśmy.

Przykładowy układ możliwych uszkodzeń, jakie mogą wystąpić w badanej taśmie ilustruje rys. 7.

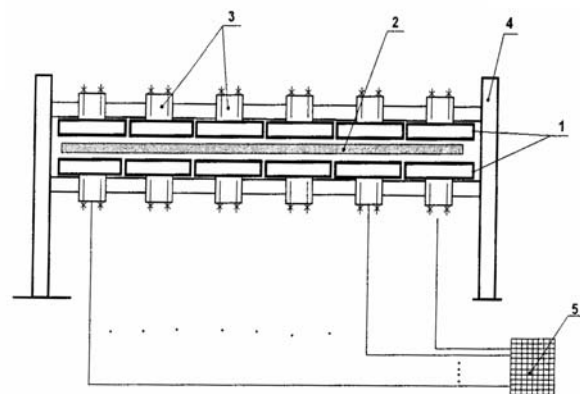
Odpowiadają im odpowiednie wartości zliczanych uszkodzeń pokazanych na symptomowej macierzy obserwacji, gdzie również sygnalizowane są stany awaryjne związane ze zmianą długości połączenia, pojawiającymi się jednocześnie uszkodzeniami w całym przekroju taśmy oraz jej pęknięciami wzdłużnymi.

conveyor drum (due to belt slipping error on the driving drum). During the first run of the belt on the conveyor the system stores the data on distances between antennas (in impulses). During each consecutive run this data is compared with the monitored parameters, taking into account programmed tolerances. Continuous control is conducted simultaneously on both transmitter-receiver pairs. If any error is stated the conveyor drive system is automatically stopped.

For monitoring the status of conveyor belts reinforced with steel cables (as in Fig. 1), the use of magnetic methods is recommended (example [2]). Each random event leading to longitudinal cutting of the belt causes tearing of the breakers. The torn steel mesh wires (breakers) are visible in the form of a characteristic signal that informs of the broken belt (Fig. 5).

Thanks to the application of a segment-type head (Fig. 6), the signal provides information on the technical condition of cables on the entire length of the belt simultaneously.

The described system uses a symptomatic observation matrix,



Rys. 6. Głowica segmentowa systemu monitorowania taśm, wg [2]:  
1- połówki głowicy, 2- taśma, 3- segmenty głowicy, 4- konstrukcja nośna, 5- rejestr uszkodzeń

Fig. 6. Belt monitoring system segment-type head, as per [2]: 1 - head halves, 2 - belt, 3 - head segment, 4 - carrying structure, 5 - damage register

analyzer of torn breakers and signal analyzer simultaneously in all head measurement sections. During the testing the measurement signals from several sections are received at the same time. An electronic system counts all the impulses in individual sections between consecutive connections, and feeds the information to a memory recorder. In this way we obtain a symptomatic observation matrix that provides information on the amount of damage in individual sections and on individual parts of the belt. Through other tests, carried out daily, for example, we receive the full history of changes in the amount of damage to individual parts of the belt.

An example distribution of possible damage that may occur on a tested belt is shown in Fig. 7.

They correspond to the relevant values of counted instances of damage shown on the symptomatic observation matrix, also showing emergency conditions related to changes of connection length, damage occurring simultaneously on the entire belt section and longitudinal fractures.

3. Inne uszkodzenia

Kolejne elementy przenośnika, które często ulegają awariom to zespół napędowy [5] oraz bęben napędowy. W skład zespołu napędowego wchodzi reduktor, silnik oraz hamulec. Przykładem reduktora stosowanego w napędach przenośników taśmowych jest reduktor PIOMA KB200, przedstawiony na rys. 8.

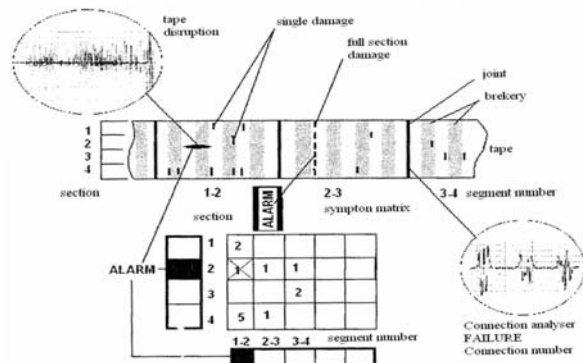
Jak wykazują badania eksploatacyjne, np. [6], dla najczęściej stosowanych obecnie przekładni klasycznych, najczęściej uszkodzeniom ulegają koła zębate. W przypadku przekładni planetarnych, dużym stopniem uszkodzeń charakteryzują się również łożyska kół planetarnych, co ilustruje rys. 9.

Z kolei w przypadku bębnow napędowych, sporo problemów sprawiają częste uszkodzenia łożysk tocznych [7].

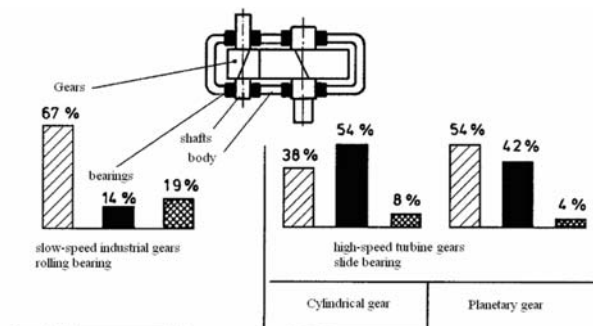
Z uwagi na znaczenie tych podzespołów dla bezawaryjnej pracy przenośników taśmowych, prowadzi się intensywne prace badawcze nad budową systemów monitorowania i diagnozowania łożysk tocznych oraz zębów przekładni wchodzących w skład wspomnianych układów napędowych [7-11]. W tym celu, w chwili obecnej, powszechnie stosuje się zaawansowane techniki przetwarzania sygnałów wibroakustycznych, generowanych w łożyskach czy ząbieniu przekładni mechanicznych. Przykład sygnału charakterystycznego dla przekładni z uszkodzonym zębem ilustruje rys. 10. Do celów badań, sygnał ten wygenerowano metodami numerycznymi [8].

4. Podsumowanie

Nowe podejście w diagnostyce stanu wspomnianych urządzeń polega między innymi na wykonywaniu kilku analiz (w dziedzinie czasu, częstotliwości, analiza cepstrum, obwiednia, analizy czasowo-częstotliwościowe) zintegrowanych w ramach jednej metody diagnostycznej, zorientowanej uszkodzeniowo (np. [8, 9]).



Rys. 7. Uszkodzenia taśmy i odpowiadająca im macierz symptomowa [2]  
Fig. 7. Belt damage and the corresponding symptomatic matrix [2]



Rys. 9. Struktura uszkodzeń przekładni zębatych [6]  
Fig. 9. Gear transmission failure structure [6]

3. Other damages

Other conveyer elements that often malfunction are: the drive system [5] and drive drum. The drive system consists of a reducer, motor and brake. An example of a reducer used in belt conveyer drives is the PIOMA KB200 reducer, shown in Fig. 8.

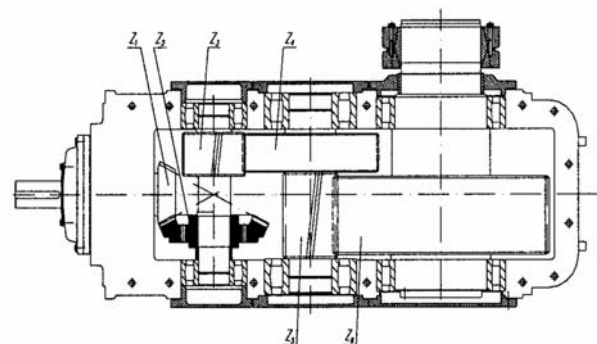
As the operational tests show, e.g. [6], in the case of the currently most often used classic transmissions it is the toothed wheels that usually fail. In the case of planetary transmissions, it is the planet wheels that fail most often, as shown in Fig. 9.

Whereas in the case of the drive drums, the majority of problems are related to rolling bearings [7].

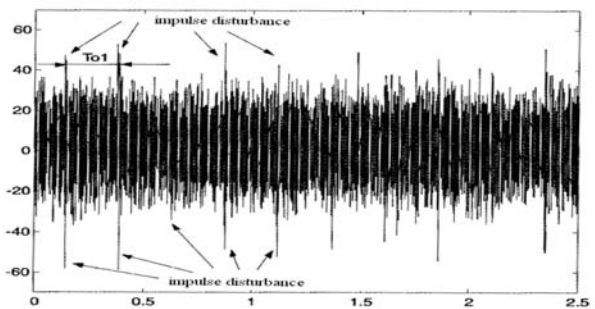
Due to the importance of these components for failure-free and reliable operation of belt conveyers, extensive works on development of systems for monitoring and diagnosing rolling bearings and transmissions drums included in the drive systems mentioned [7-11] are carried out. At the moment, to achieve this goal, methods for processing vibro-acoustic signals generated by the bearings and transmission gears are used. An example of a signal typical of a transmission with damaged teeth is shown in Fig. 10. For test purposes this signal has been generated using numeric methods [8].

4. Summary

A new approach in status diagnostics of the equipment mentioned consists in conducting several analyses (in the field of time, frequency, cepstrum analysis, envelope analysis, time-frequency analysis) integrated into one, damage-orientated diagnostics method (e.g. [8, 9]).



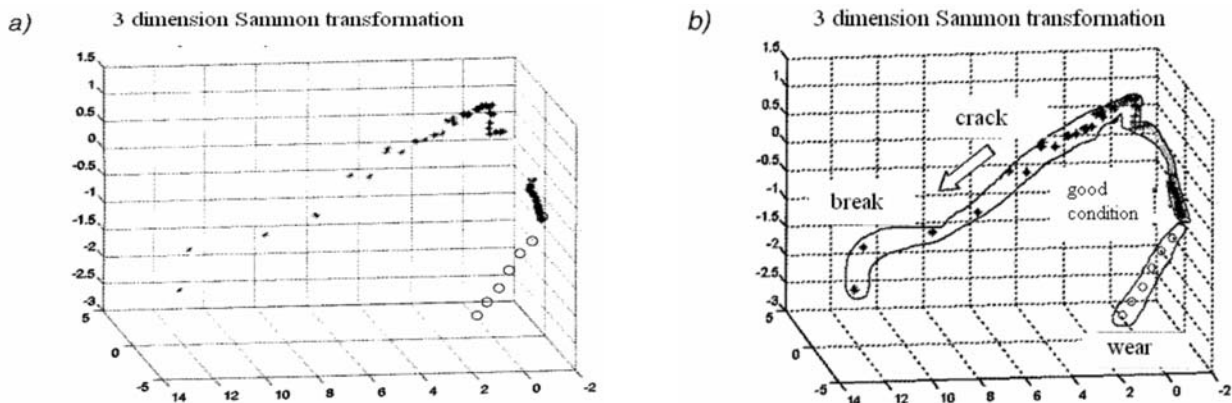
Rys. 8. Reduktor PIOMA KB200  
Fig. 8. PIOMA KB200 reducer



Rys. 10. Sygnał czasowy przyspieszeń drgań charakterystyczny dla przekładni z wylamanym zębem [8]  
Fig. 10. Temporary signal of acceleration of vibrations typical of a gear with a broken tooth. [8]

W przypadku pracy rzeczywistej przekładni, występuje równocześnie szereg czynników (konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych) mających wpływ na postać sygnału generowanego przez przekładnię. Stąd też, z uwagi na ilość czynników wpływających, do oceny stanu technicznego przekładni, podejmuje się próby wykorzystania np. samoorganizujących się sieci neuronowych, a do zobrazowania wyników postuluje się wykorzystanie przekształcenia Sammona (np. [9]).

In the case of the operation of an actual transmission, numerous factors occur at the same time (design factors, technological factors and operational factors). These factors influence the form of the signal generated by the transmission. This is why, due to the number of influencing factors, self-organizing neuron networks, for example, are used in order to assess the transmission's technical condition, whereas Sammon transformations are used for presenting the results ( e.g. [9]).



Rys. 11. a) Trójwymiarowa przestrzeń stanu ząbienia opisująca wpływ czynników konstrukcyjnych, technologicznych, eksploatacyjnych i związanych ze zmianą stanu, b) interpretacja stanu ząbienia: stan dobry; pęknięcie- rozwój pęknięcia u podstawy zęba, złamanie- złamanie u podstawy, zużycie- zużycie ząbienia (pitting, zacieranie) [9]

Fig. 11. a) 3-dimensional presentation of tooth condition describing the influence of design, technological and operational factors and factors related to change of condition, b) tooth condition interpretation: very good condition; fracture - fracture development at tooth base, breakage - breakage at the base, wear – tooth wear (pitting, seizing) [9]

## 5. References

- [1] Bartelmus W., Sawicki W., Zimroz R.: *Zaawansowana metoda diagnostyki drganiowej przekładni napędu przenośnika taśmowego*. Transport przemysłowy, nr 2 (12) 2003, str. 12-16.
- [2] Bartelmus W., Zimroz R., Batra H.: *Nowe kierunki w diagnostyce przekładni napędu przenośników taśmowych*. Transport przemysłowy, 4(18) 2004, str. 5-10.
- [3] Bartelmus W., Zimroz R., Zajda P.: *Detekcja lokalnych uszkodzeń w łożyskach bębnowych napędowych przenośników taśmowych*. Transport przemysłowy, nr 1 (23) 2006, str.32-38.
- [4] Barton J.: *System identyfikacji wzdluznych uszkodzeń taśmy przenośnikowej typu BSE-16*. Transport przemysłowy, nr 2(12) 2003, str.18-19.
- [5] Bartz (red): *Schaeden an geschmierten Maschinenelementen*. 3 Auflage, Expertverlag, Renningen- Malsmshain 1999.
- [6] Kwaśniewski J., Molski Sz., Machula T.: *Monitoring taśm z linkami stalowymi*. XIV Międzynarodowe Sympozjum „Nowe rozwiązania i doświadczenia w budowie i bezpiecznej eksploatacji urządzeń kompleksowej odstawy urobku przenośnikami taśmowymi. Zakopane 2006, str.117-124.
- [7] Prezentacja multimedialna. Fabryka taśm transporterowych Stomil-Wolbrom S.A.
- [8] Strzelecki S., Wójcicki W.: *Identyfikacja układu tribologicznego zespołu napędowego przenośnika taśmowego*. Międzynarodowe Sympozjum „Nowe rozwiązania i doświadczenia w budowie i bezpiecznej eksploatacji urządzeń kompleksowej odstawy urobku przenośnikami taśmowymi. Zakopane 2006, str.163-177.
- [9] Szczygielska M., Mróz J., Broja A., Dyduch J., Augustowski W.: *Monitorowanie uszkodzeń taśm przenośnikowych w oparciu o zaimplementowane elementy detekcyjne*. Transport przemysłowy, nr 3(9) 2002, str.42-47.
- [10] Tomaszewski J.: *Wibroakustyczna diagnostyka stanu technicznego łożysk tocznych*. Maszyny Górnicze 2/2006, str.3-8.
- [11] Tomaszewski J., Rysiński J.: *Diagnostyczny model pęknięcia zębów kół przekładni walcowej*. Czasopismo Techniczne, z.1-M/2006 (Rok 103), str.367-377

**Prof. dr hab. inż. Józef JONAK**

**Mgr inż. Jakub GAJEWSKI**

Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

e-mail: j.jonak@pollub.pl, j.gajewski@pollub.pl