

# Analiza ekonomiczna wymian odcinków i połączeń taśm w oparciu o wyniki badania ich stanu



Mirostaw Bajda  
Ryszard Błażej  
Leszek Jurdziak



Projekt badawczy finansowany w ramach Programu Badań Stosowanych PBS 3 ścieżka A, umowa nr PBS3/A2/17/2015 „Złącza wieloprzekładkowych taśm przenośnikowych o zwiększonej trwałości eksploatacyjnej” realizowany w konsorcjum z firmą NILOS POLSKA sp. z o.o.

Politechnika Wroclawska

## Plan prezentacji

- Problem identyfikacji uszkodzeń: inspekcja v. monitoring
- Problem badawczy – jak naprawić wykryte uszkodzenie odcinka
  1. Nowe połączenie w miejscu uszkodzenia (skrótowa pętla)
  2. Nowa, niewielka wstawka i 2 dodatkowe połączenia
  3. Nowa, dłuższa wstawka i 2 dodatkowe połączenia
  4. Nowa, duża wstawka do brzegu z wymianą starego połączenia
- niezawodność pętli taśmy i niezawodność pojedynczego odcinka
- niezawodność pojedynczego odcinka
- Koszty naprawy odcinka taśmy z uwzględnieniem niezawodności
- Dobór rozkładów czasu pracy odcinków i połączeń
- Nieliniowe tempo zużywania się taśmy

## Problem identyfikacji uszkodzeń

Inspekcja wizualna jest:

- subiektywna,
- niemierzalna i przez to niedokładna

Brak zapisu **nie pozwala ocenić przyrostu uszkodzeń i ich zmian w czasie**

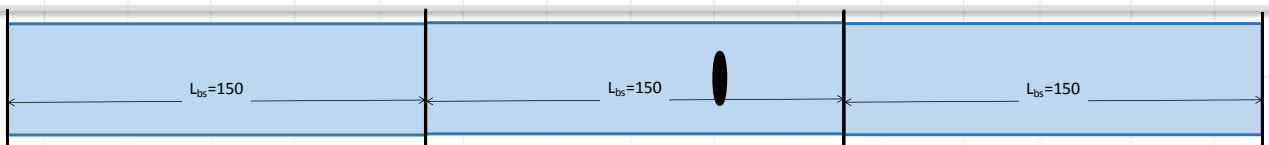
Ocena przy użyciu urządzeń diagnostycznych:

- obiektywna, precyzyjna i skwantyfikowana,
- dokładna i powtarzalna,

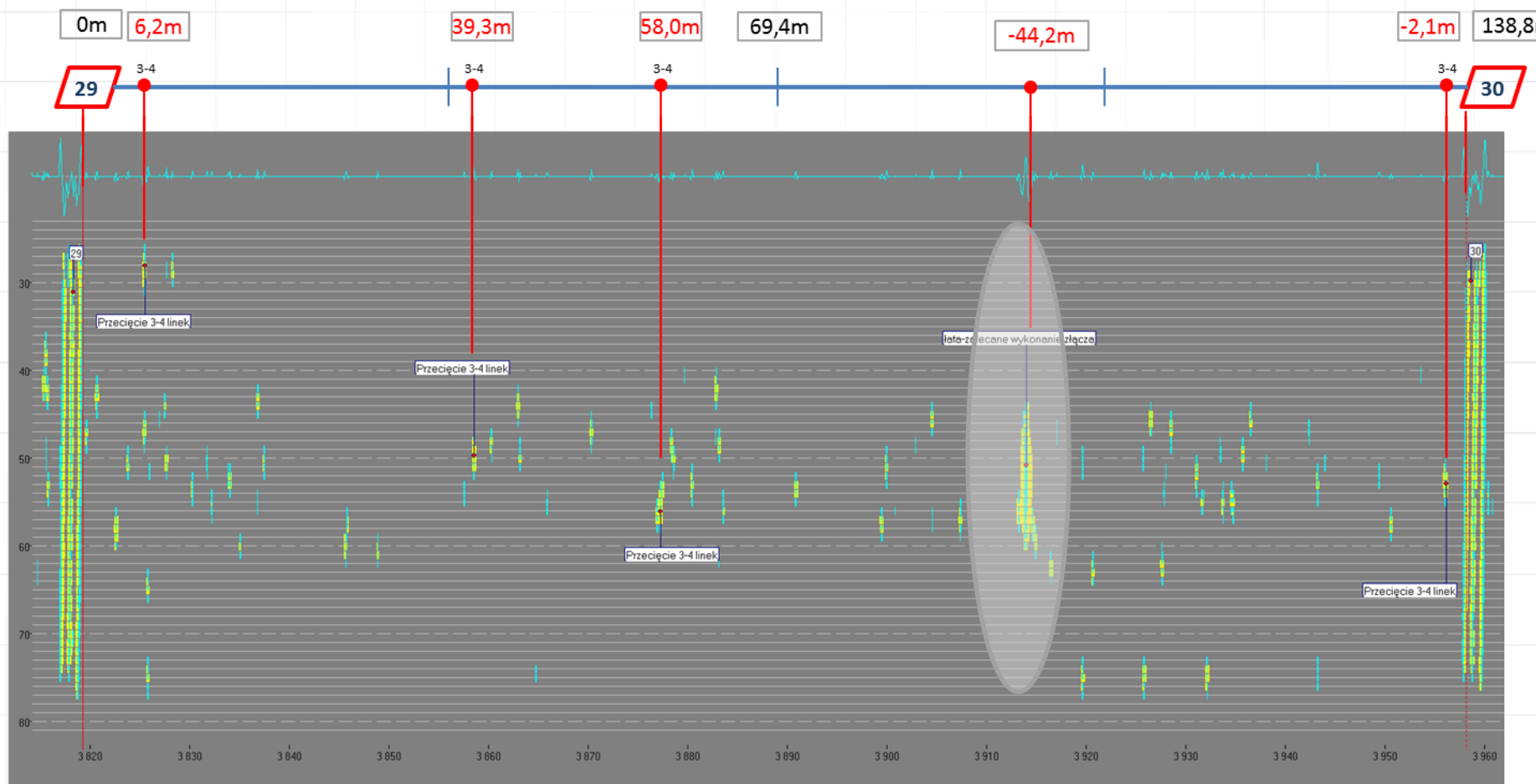
**Pozwala obserwować zmiany stanu taśmy w czasie**



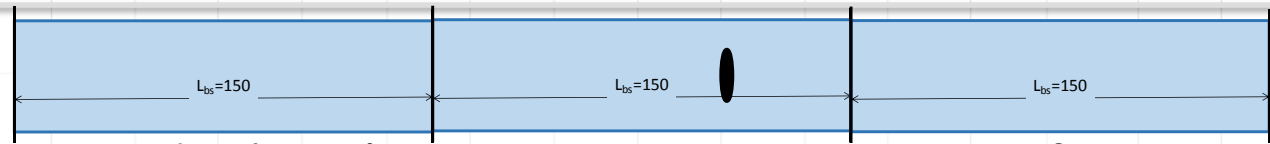
# Problem badawczy



- Zidentyfikowano uszkodzenie odcinka taśmy wymagające wymiany jego fragmentu



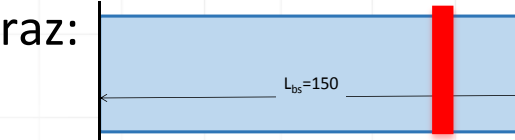
## Problem badawczy



- Zidentyfikowano uszkodzenie odcinka taśmy wymagające wymiany jego fragmentu
- Naprawę można wykonać usuwając uszkodzony fragment oraz:

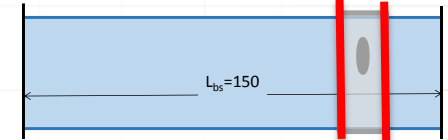
### 1. wykonując w jego miejscu nowe połączenie

- Ograniczenia: mały rozmiar uszkodzeni oraz duży zapas taśmy w urządzeniu napinającym
- Efekt: nowe, dodatkowe połączenie oraz skrócona pętla taśm



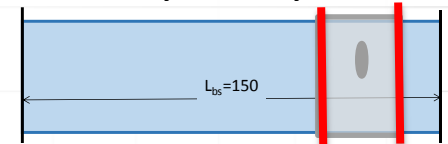
### 2. wstawiając w jego miejsce nowy krótki odcinek

- Efekt: nowa, niewielka wstawka i 2 dodatkowe połączenia



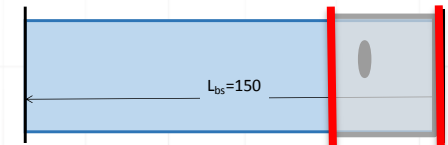
### 3. usuwając przyległe, ale zużyte fragmenty i dając w ich miejsce dłuższy, nowy odcinek

- Efekt: nowa, dłuższa wstawka i 2 dodatkowe połączenia



### 4. pozostałą część odcinka taśmy do najbliższego połączenia

- Efekt: nowa, duża wstawka z wymianą starego złącza na nowe i 1 nowym połączeniem



- Działania naprawcze mają swoje konsekwencje

- Dodatnie: **usunięte zagrożenie, wzrost niezawodności naprawionego odcinka taśmy**
- Ujemne: **koszty 1 połączenia lub 2 połączeń oraz wstawionej taśmy, spadek niezawodności odcinka po dodaniu połączeń - najstabszego ogniwa w pętli taśmy !!!**

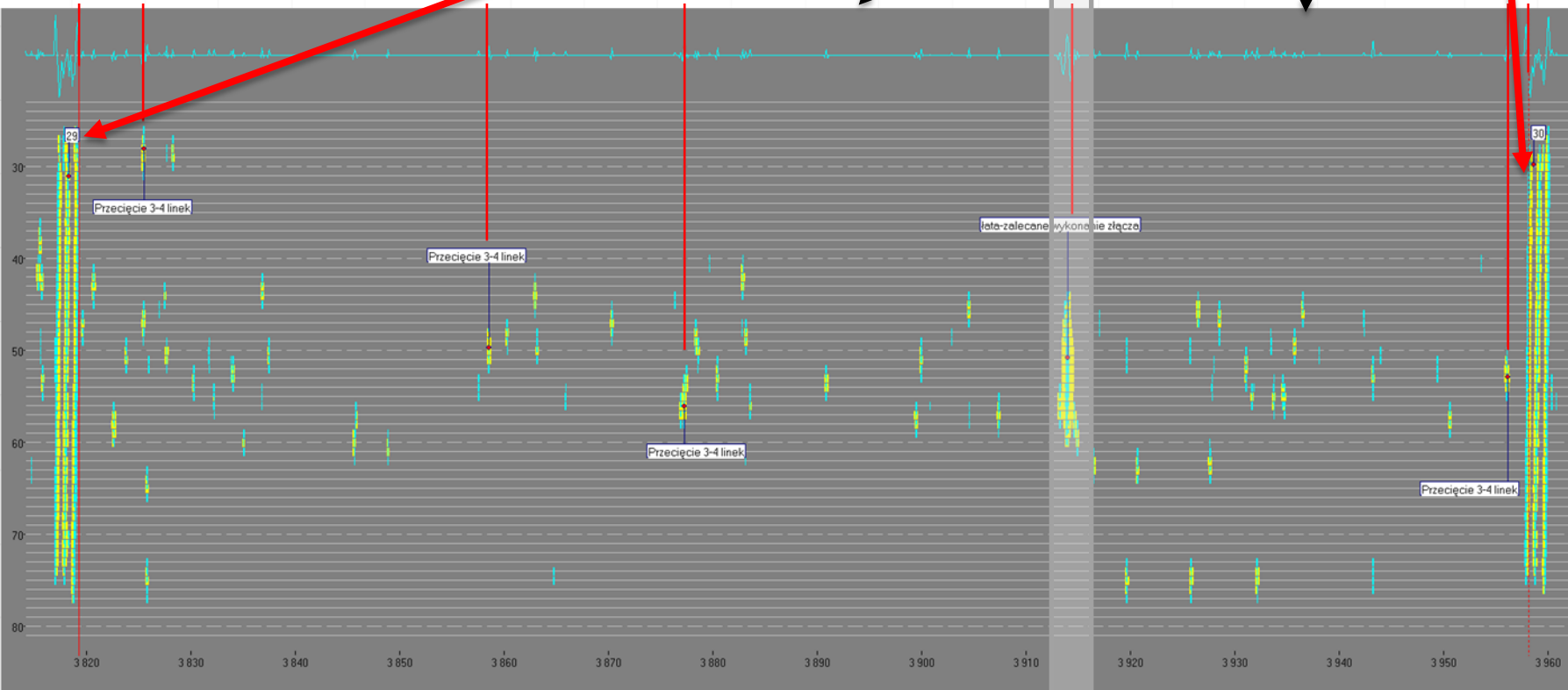
# 1. Nowe połączenie w miejscu uszkodzenia (skrótca pętla)

**Niezawodność odcinka taśmy**  $R_{nbs\_1}(t) = R_{oj}(t)R_{ob\_Lbl}(t)R_{nj}(t)R_{ob\_Lbr}(t)R_{oj}(t)$

$L_{bl}+L_{br}=L-L_j, L_j \ll L \quad R_{obsL}(t) \approx R_{ob\_Lbl}(t)R_{ob\_Lbr}(t)$

$R_{nbs\_1}(t) \approx R_{nj}(t)R_{obL}(t)$

Skrócenie o 4 m  
+ 1 złącze



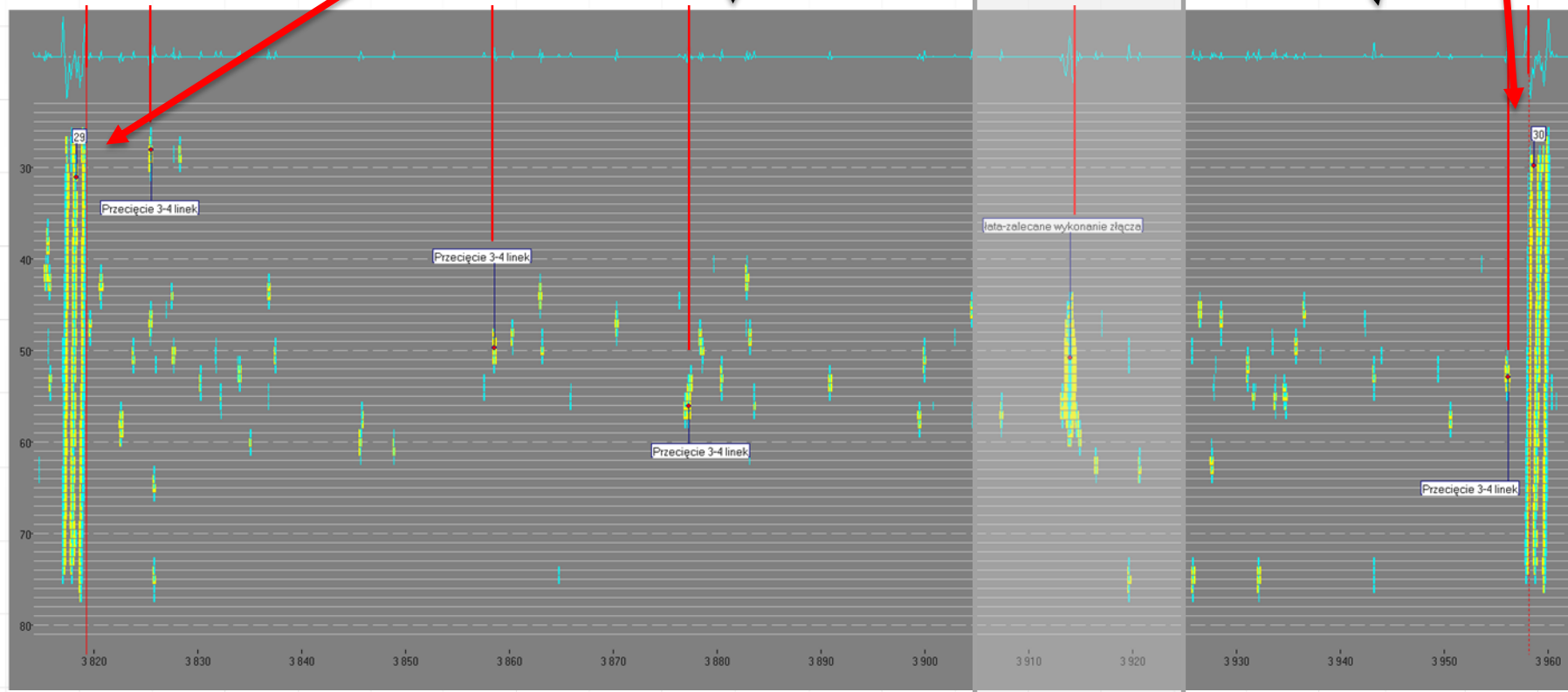
## 2. Nowa, niewielka wstawka i 2 dodatkowe połączenia

**Niezawodność**  $R_{nbs\_2}(t) = R_{oj}(t)R_{obLl}(t)R_{nj}(t)R_{nbLm}(t)R_{nj}(t)R_{obLr}(t)R_{oj}(t)$

**odc. taśmy**

$L_{bl}+L_{bm}+L_{br}=L-L_j, 2L_j \ll L$

Wstawka 20 m + 2 nowe złącza



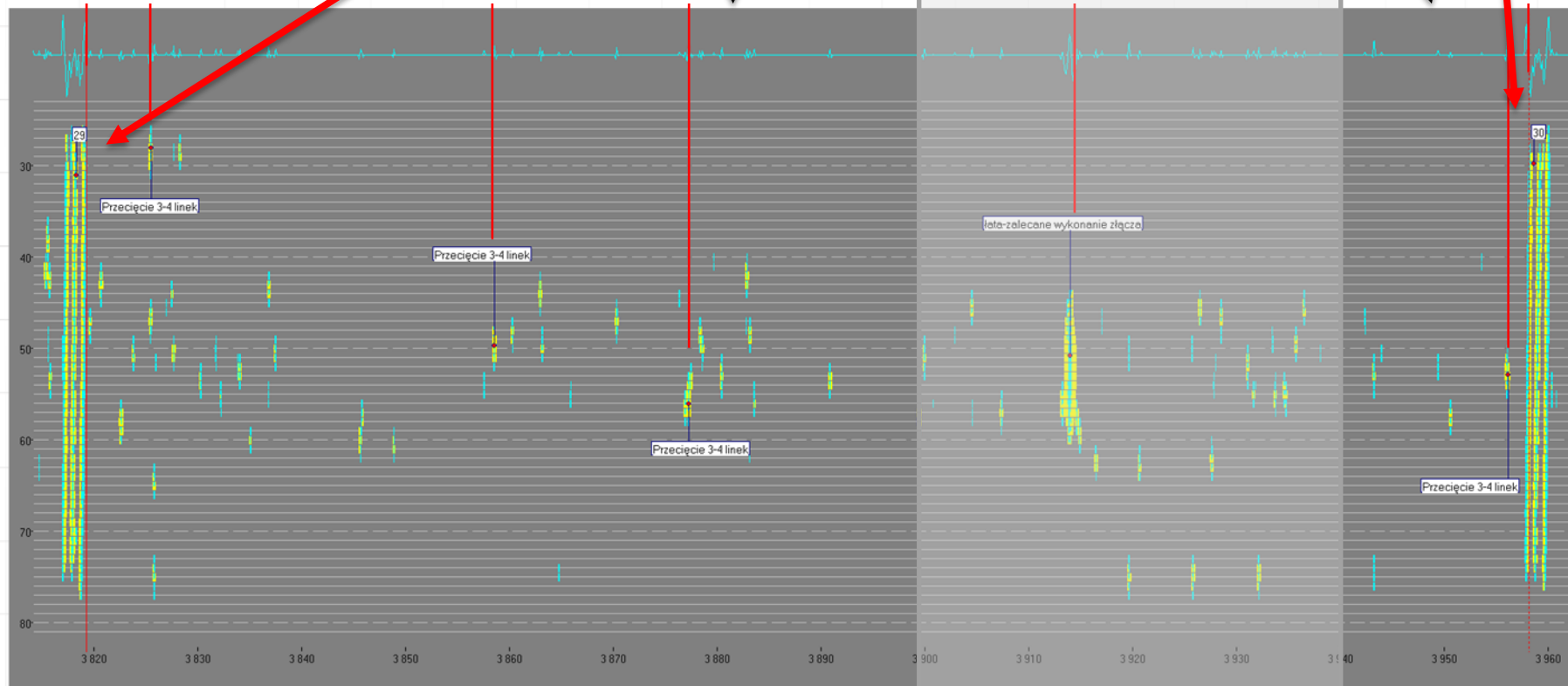
### 3. Nowa, dłuższa wstawka i 2 dodatkowe połączenia

**Niezawodność**  $R_{nbs\_3}(t) = R_{oj}(t)R_{obLl}(t)R_{nj}(t)R_{nbLm}(t)R_{nj}(t)R_{obLr}(t)R_{oj}(t)$

**odc. taśmy**

$L_{bl} + L_{bm} + L_{br} = L - L_j, 2L_j \ll L$

**Wstawka 40m  
+ 2 nowe złącza**

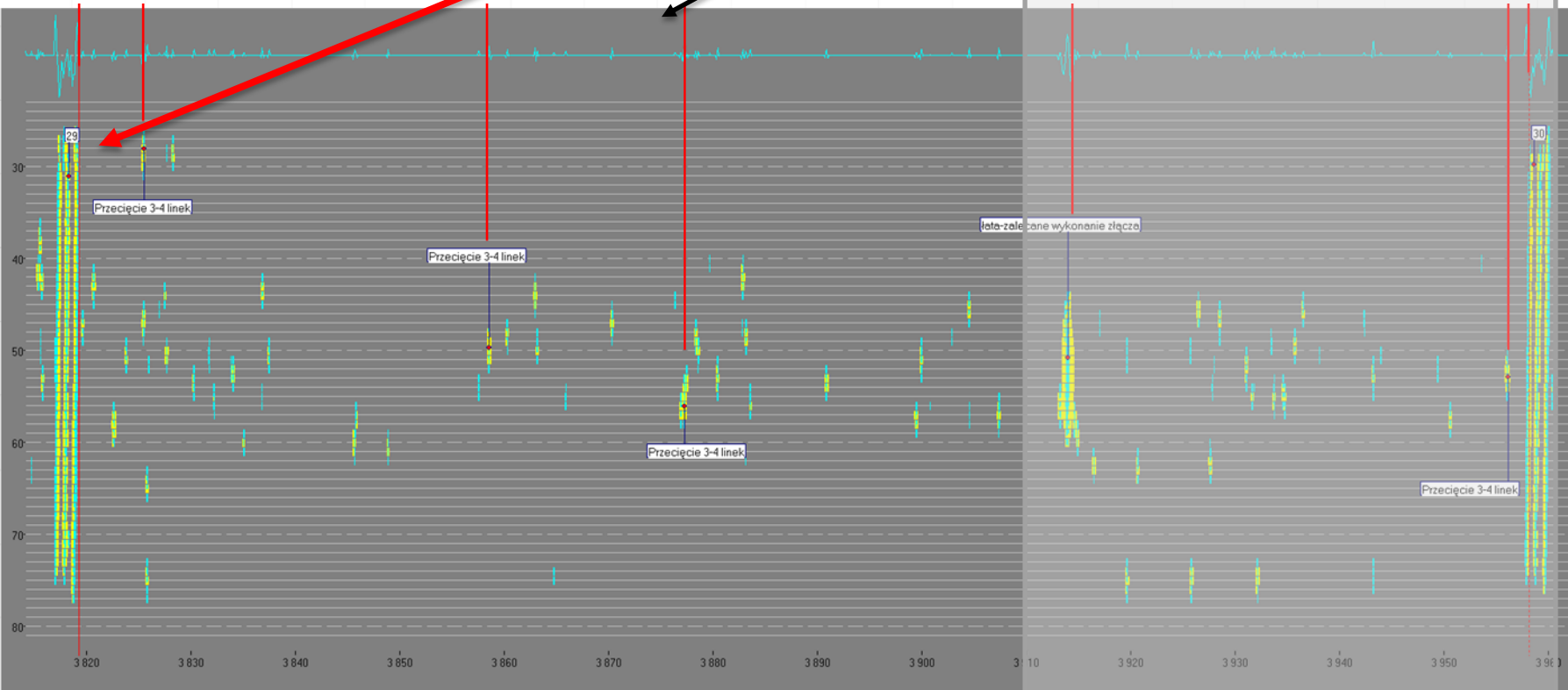




### 4. Nowa, duża wstawka do brzegu z wymianą starego połączenia

Niezawodność odcinka taśmy  $R_{nbs\_4}(t) = R_{oj}(t)R_{obLbo}(t)R_{nj}(t)R_{nbLbn}(t)R_{nj}(t)$

Wstawka 50m, likwidacja 1 złącza + 2 nowe złącza

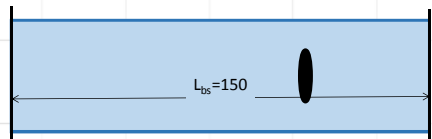


## Niezawodność pętli taśmy i niezawodność pojedynczego odcinka

- Zamknięta pętla taśm przenosi naprężenia wzdłużne i przenosi urobek
- Jej ciągłość i dobry stan warunkują bezpieczną i ciągłą pracę przenośnika
- Pętla taśm składa się z odcinków taśm i połączeń
- Przestaje ona spełniać swoje zadanie gdy nastąpi zerwanie ciągłości pętli (w złączu lub caliźnie) lub rozcięcie wzdłużne taśmy
- **Złącza stanowią najłabsze ogniwo w pętli**, zwłaszcza klejone i mechaniczne
- Uszkodzenia tego typu, zwłaszcza w trakcie pracy pod pełnym obciążeniem, powodują **długotrwały postój awaryjny** na usunięcie urobku, naprawę taśmy. Jest to bardzo kosztowne
- **Zerwanie połączenia stwarza poważne zagrożenie dla ludzi jadących na taśmie**
- Oprócz kosztów postoju awaryjnego **użytkownik ponosi straty produkcyjne**
- Nie zostanie wydobyta i przetransportowana określona ilość kopaliny użytecznej, która mogłaby być sprzedana, wzbogacona, wykorzystana do produkcji dóbr finalnych. Firma Sasol 1 min. postoju wyceniła na \$1 000 , a wymiana złącza to 4 h
- Życie ludzkie trudno jest wycenić, dlatego **niezawodność połączeń jest kluczowa**

## Niezawodność pojedynczego odcinka

0. Niezawodność odcinka taśmy,  $R_{obL}(t) = R_{oj}(t)R_{obL}(t)R_{oj}(t)$



$$R_{nbs\_1}(t) = R_{oj}(t)R_{ob\_Lbl}(t)R_{nj}(t)R_{ob\_Lbr}(t)R_{oj}(t)$$

1. Niezawodność odcinka ze złączem w środku,

dla  $t \geq T_0$

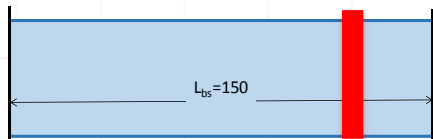
po naprawie

w momencie  $T_0$

$$L_{bl} + L_{br} = L - L_j, \quad L_j \ll L$$

$$R_{obL}(t) \approx R_{ob\_Lbl}(t)R_{ob\_Lbr}(t)$$

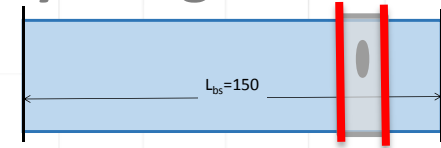
$$R_{nbs\_1}(t) \approx R_{nj}(t)R_{obL}(t), \quad R_{obL}(t) = P(T \geq t + T_0 \mid T \geq T_0)$$



$$R_{nbs\_1}(t) \approx \frac{R_{nj}(t)R_{nbL}(T_0 + t)}{R_{nbL}(T_0)}$$

## Niezawodność pętli taśmy i niezawodność pojedynczego odcinka

### 2. Niezawodność odcinka ze wstawką w środku



$$R_{nbs\_2}(t) = R_{oj}(t)R_{obLl}(t)R_{nj}(t)R_{nbLm}(t)R_{nj}(t)R_{obLr}(t)R_{oj}(t)$$

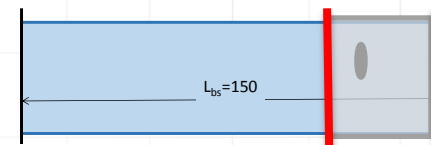
$$L=L_1+L_j+L_m+L_j+L_r$$

$$R_{nbs\_2}(t) = \frac{R_{nj}^2(t+T_0)R_{nbLl}(t+T_0)R_{nj}(t)R_{nbLm}(t)R_{nj}(t)R_{nbLr}(t+T_0)}{R_{nj}^2(T_0)R_{nbLl}(T_0)R_{nbLr}(T_0)}$$

$$R_{nbs\_2}(t) = \frac{R_{nj}^2(t+T_0)R_{nbL-Lm}(t+T_0)R_{nj}(t)R_{nbLm}(t)R_{nj}(t)}{R_{nj}^2(T_0)R_{nbL-Lm}(T_0)}$$

## Niezawodność pętli taśmy i niezawodność pojedynczego odcinka

### 4. Niezawodność odcinka ze wstawką do brzegu



$$R_{nbs\_4}(t) = R_{oj}(t)R_{obLbo}(t)R_{nj}(t)R_{nbLbn}(t)R_{nj}(t)$$

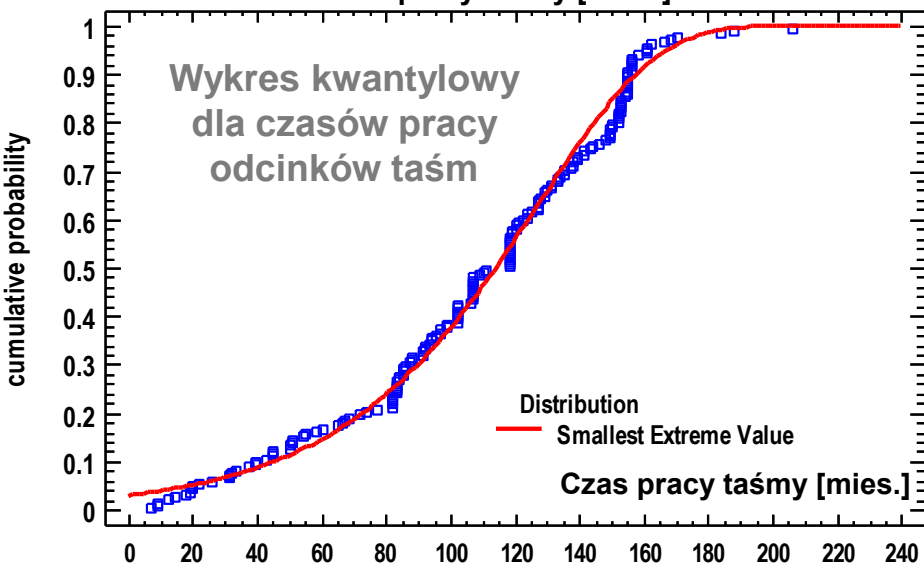
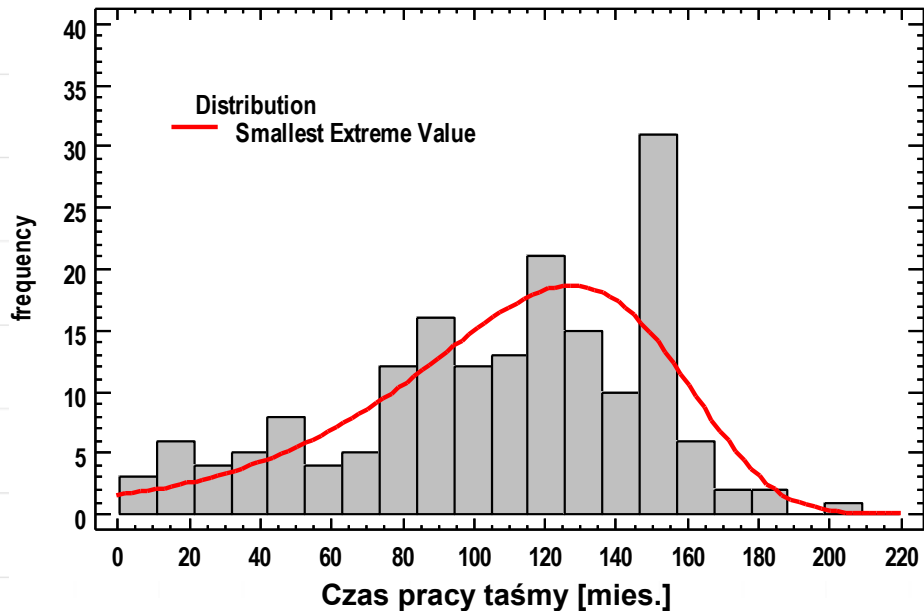
$$R_{nbs\_4}(t) = \frac{R_{nj}(t+T_0)R_{nbLo}(t + T_0)R_{nj}(t)R_{nbLn}(t)R_{nj}(t)}{R_{nj}(T_0)R_{nbo}(T_0)}$$

## Koszty naprawy odcinka taśmy z uwzględnieniem niezawodności

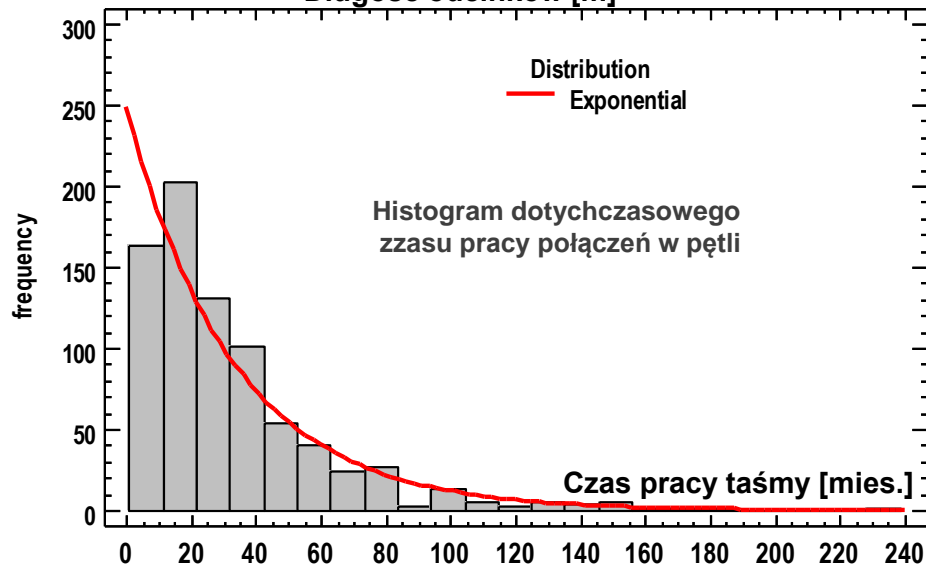
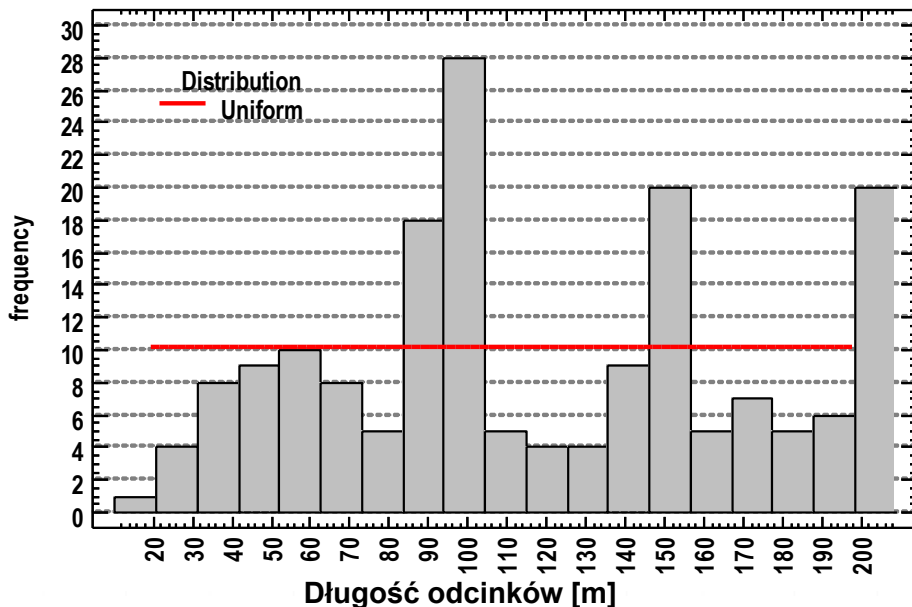
$$C_i(t) = \frac{C_p(t)R_{nbs\_i}(t) + C_e F_{nbs\_i}(t)}{\int_0^t R_{nbs\_i}(x)dx}$$

- gdzie  $i$  to jeden z wariantów: 1, 2 lub 3
- $C_i(t)$  – Oczekiwany koszt naprawy odcinka na jednostkę czasu jego pracy,
- $C_p(t)$  – koszt wymiany prewencyjnej,
- $C_e$  – koszt wymiany awaryjnej plus straty w produkcji i/lub kary,
- $F_{nbs\_i}(t)$  – dystrybuanta czasu pracy odcinka,
- $R_{nbs\_i}(t)$  – niezawodność odcinka,  
 $R_{nbs\_i}(t) = 1 - F_{nbs\_i}(t)$

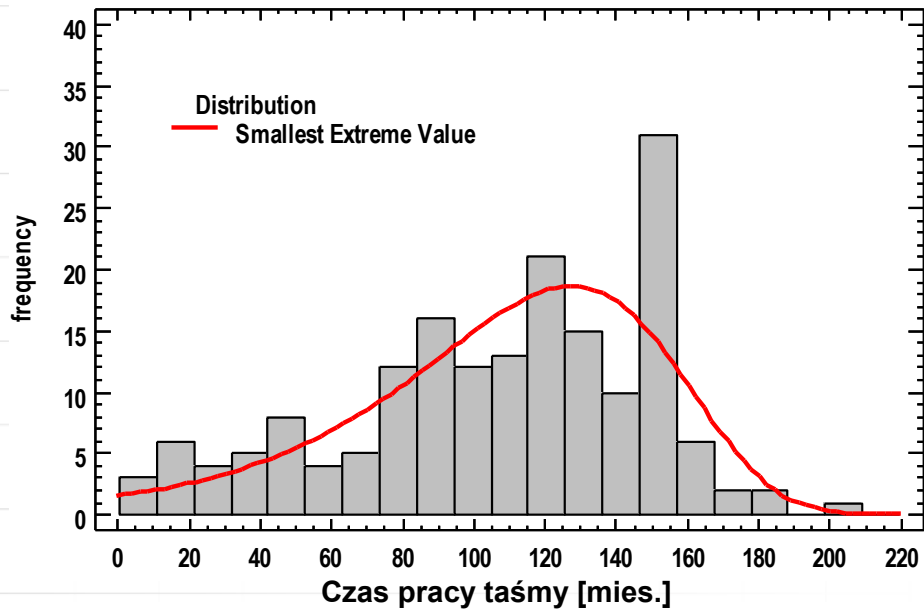
## Histogram czasów pracy wymienianych odcinków taśm



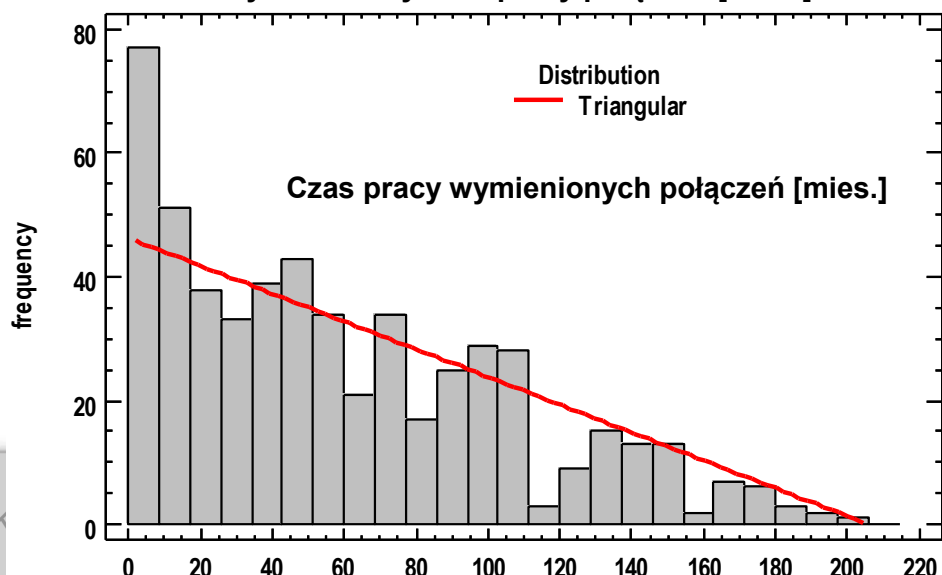
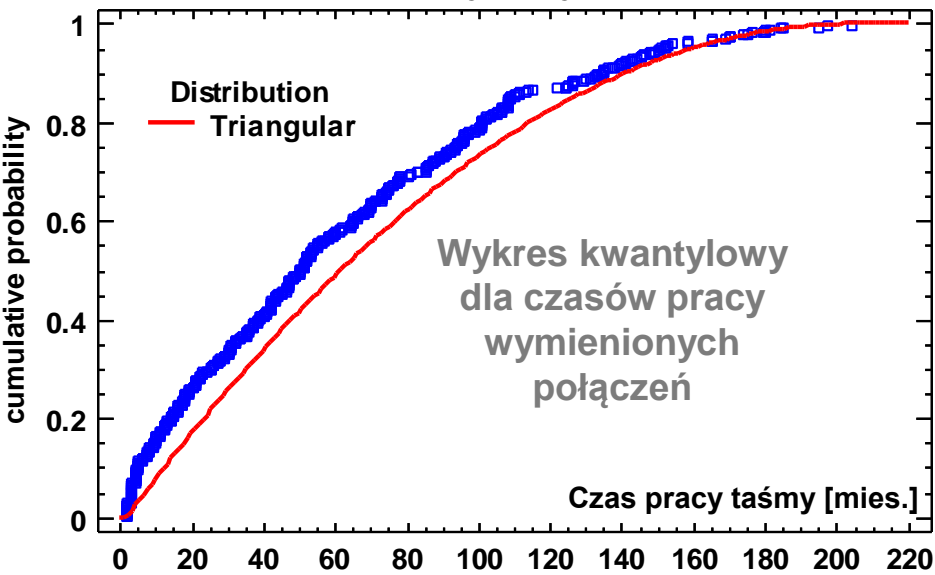
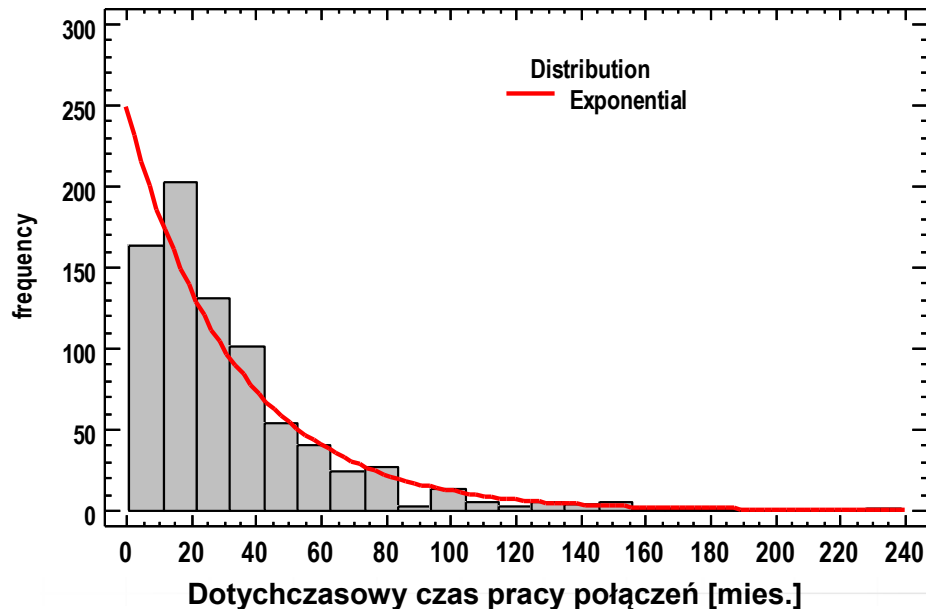
## Histogram długości wymienianych odcinków taśm



Histogram czasów pracy wymienianych odcinków taśm



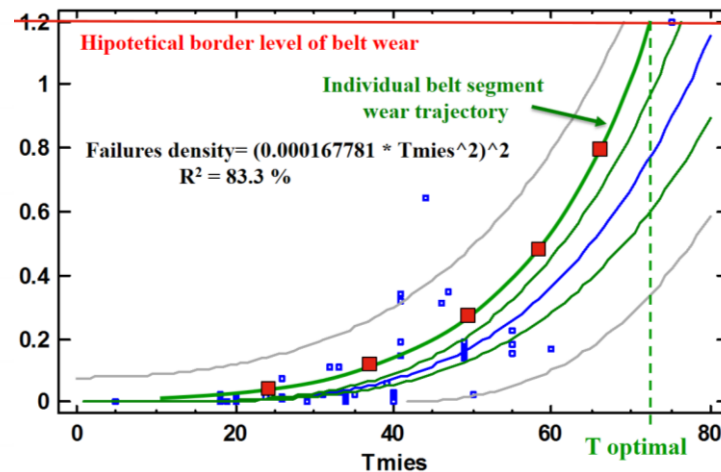
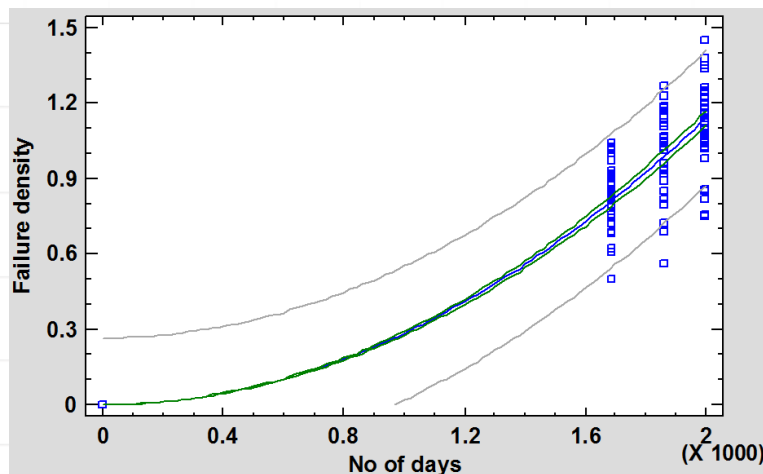
Histogram dotychczasowego czasu pracy połączeń w pętli





## Nieliniowe tempo zużycia się taśmy

- Proponujemy zastąpienie oczekiwanego czasu pracy (kalendarzowego lub efektywnego) odcinków taśm i połączeń przez oczekiwany czas do osiągnięcia granicznego poziomu gęstości uszkodzeń identyfikowanych i weryfikowanych w trakcie regularnego (cyklicznego lub ciągłego) skanowania pętli taśm
- Pozostały czas pracy taśmy lub złącza może być korygowany na podstawie określonego rzeczywistego zużycia – indywidualne trajektorie tempa zużycia mogą być opracowywane na danych rzeczywistych i dla konkretnego przenośnika pracującego w określonym warunkach, co jest dokładniejsze niż pozostały czas pracy określony statystycznie dla czasu kalendarzowego



## Podsumowanie

- Przenośniki taśmowe są szeroko stosowane w górnictwie do transportu urobku zarówno w kopalniach podziemnych, jak i w odkrywkowych
- **Połączenia taśm, z uwagi na ich niższą wytrzymałość i trwałość, stanowią najłabsze ogniwo w strukturze szeregowej, która jest pętlą taśm z punktu widzenia teorii niezawodności**
- Z upływem czasu taśmy i połączenia zużywają się i są poddawane różnym losowym uszkodzeniom
- Zerwanie ciągłości pętli (np. z powodu zerwania połączenia) powoduje przedłużające się przestoje awaryjne, które wiążą się z wysokimi kosztami i stratami produkcji
- Połączeniom taśm nie poświęca się jednak wystarczająco dużo uwagi, chociaż kluczowy jest ich wpływ na niezawodność i koszty (m.in. nie analizuje się trwałości taśm i połączeń, częstości awarii oraz skutków postojów awaryjnych)
- Wstawiania nowego odcinka taśmy w miejsce uszkodzonego fragmentu taśmy odbywa się bez analizy ekonomicznej korzyści i kosztów sposobu wymiany, choć ma on wpływ na niezawodność całej pętli i długofalowe koszty transportu
- Priorytetem jest bowiem szybkie przywrócenia pracy przenośników i oszczędzanie drogiej taśmy
- Rosnąca liczba połączeń i odcinków taśm w pętli obniża jej niezawodność i zwiększa zagrożenie awariami powodującymi:
  - **straty produkcyjne** (np. awarie przenośników na głównych magistralach transportowych),
  - **zagrożenie życia ludzi** (np. awarie pętli taśm na przenośnikach transportujących ludzi)

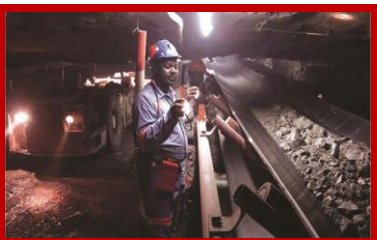
## Podsumowanie

- Rozwiązaniem jest cyfrowa rewolucja (**Transport taśmowy 4.0**):
  - **Monitoring taśm i połączeń**  
zapobiegający nagłym uszkodzeniom i pozwalający prowadzić wymiany prewencyjne
  - **Komputerowo wspomagana gospodarka taśmami**  
(z bazą wszystkich odcinków i połączeń oraz historią ich wymian i awarii oraz danymi o kosztach zakupu taśm oraz realizacji ich połączeń)  
**wspomagająca podejmowanie racjonalnych ekonomicznie decyzji uwzględniających długofalowe skutki**
- Kopalnie mogą same się tym zajmować lub zlecać opiekę nad taśmami na zewnątrz (outsourcing)
- W górnictwie odkrywkowym węgla brunatnego odpowiedzialność jest
  - współdzielona pomiędzy kopalnię a firmę serwisową (np. w Polsce) lub
  - przekazana całkowicie firmie serwisowej (10-letni kontrakt pomiędzy RWE Power i firmą REMA Tip Top)
- **Firma serwisowa nie może przejąć odpowiedzialności za zapewnienie ciągłości transportu** (włącznie z pokryciem strat postojowych), gdy:
  - **jakość i trwałość połączeń taśm nie spełnia standardów**
  - **nie korzysta ona z urządzeń diagnostycznych monitorujących stan taśm i połączeń** zabezpieczających pętlę taśm przed awariami i pozwalających na prowadzenie prewencyjnych napraw i wymian odcinków taśm oraz ich połączeń

# Analiza ekonomiczna wymian odcinków i połączeń taśm w oparciu o wyniki badania ich stanu



Mirostaw Bajda  
Ryszard Błażej  
Leszek Jurdziak



<http://www.businessdaily.co.zw/public/images/articles/Platinum worker.jpg>

[http://www.at-minerals.com/imgs/101317551\\_d1ea177400.jpg](http://www.at-minerals.com/imgs/101317551_d1ea177400.jpg)



Projekt badawczy finansowany w ramach Programu Badań Stosowanych PBS 3 ścieżka A, umowa nr PBS3/A2/17/2015 „Złącza wieloprzekładkowych taśm przenośnikowych o zwiększonej trwałości eksploatacyjnej” realizowany w konsorcjum z firmą NILOS POLSKA sp. z o.o.

Politechnika Wroclawska