



Politechnika Wroclawska

Badania trwałości zmęczeniowej połączeń wieloprzekładowych taśm tkaninowych

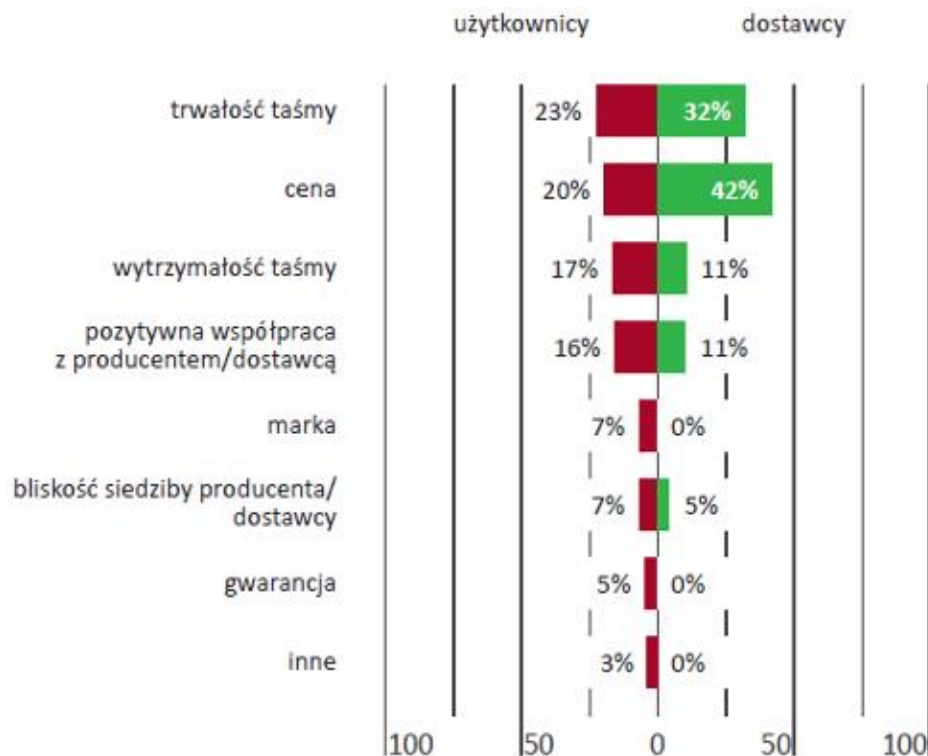
Mirosław BAJDA, Ryszard BŁAŻEJ, Leszek JURDZIAK
Monika HARDYGÓRA

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

Polski Kongres Górniczy 20-22.11.2017 Kraków



Trwałość taśm przenośnikowych najważniejszym kryterium ich wyboru



Główne kryteria brane pod uwagę przy wyborze taśmy przenośnikowej
 (Abramczyk, 2015. Dobór taśm przenośnikowych. Wyniki ankiety. *Inżynieria i Utrzymanie Ruchu Zakładów Przemysłowych*, 09 lipca 2015. <http://www.utrzymanieruchu.pl/menugorne/arttykul/article/dobor-tasm-przenosnikowych>)



Połączenia taśm niedoceniany składnik kosztów eksploatacji

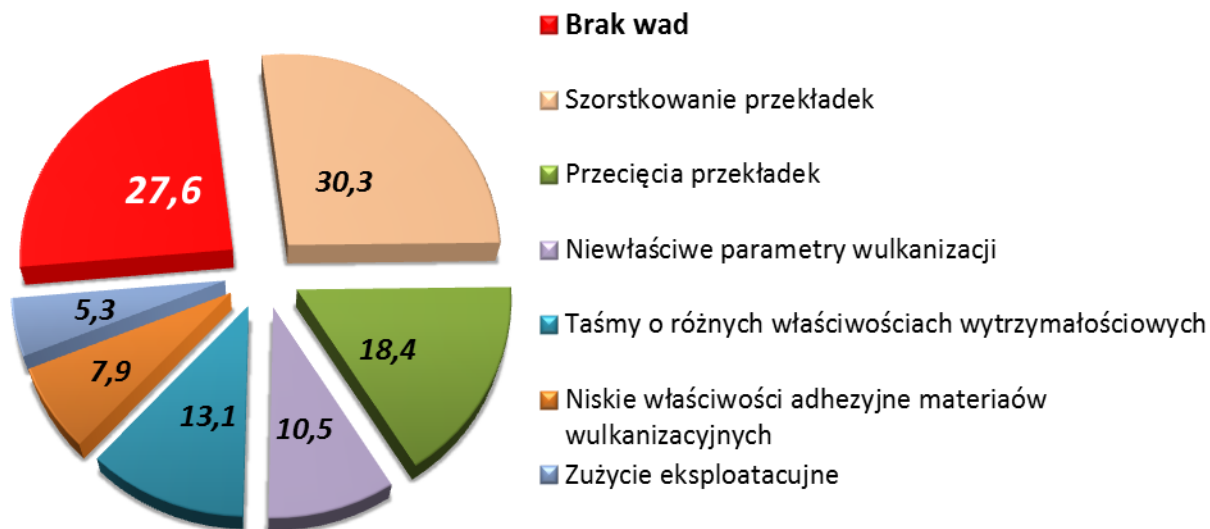
Konsekwencją zbyt niskiej wytrzymałości połączeń jest:

- ✓ niewielka ich trwałość,
- ✓ spadek niezawodności i w konsekwencji wzrost kosztów transportu.

Połączenia taśm stanowią **najstabsze ogniwo** w pętli połączonych ze sobą odcinków taśm pracujących w ciągach przenośników transportujących urobek w kopalni. W podziemnych kopalniach węgla kamiennego długość odcinków jest ograniczona rozmiarami wyrobisk oraz szybu transportowego.

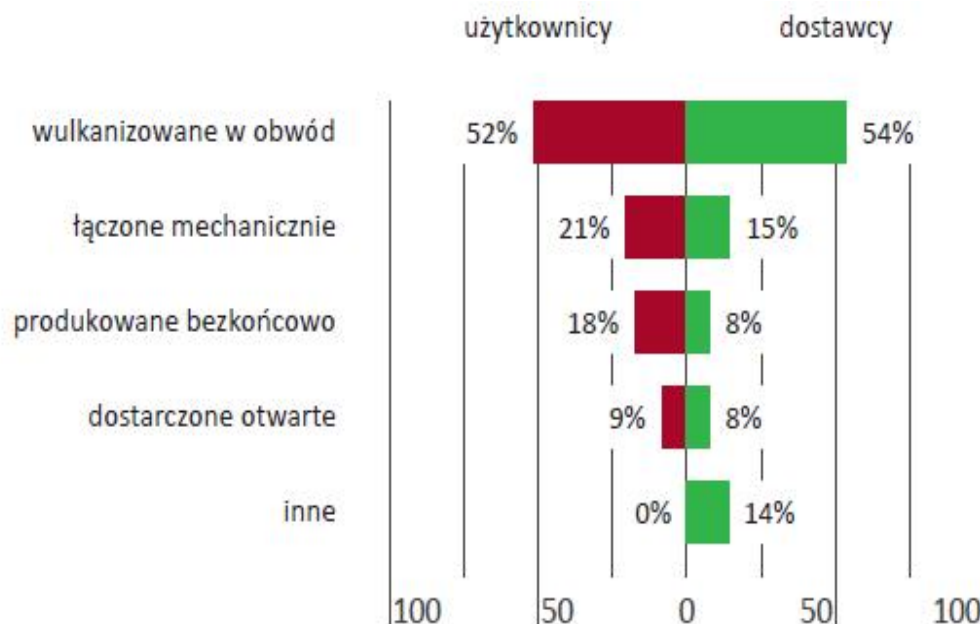
Im mniejsza liczba połączeń tym lepiej dla niezawodności pętli.

Połączenia taśm niedoceniany składnik kosztów eksploatacji



Procentowy udział przyczyn powodujących obniżenie wytrzymałości złączy taśm wieloprzekładekowych
(Projekt NCBiR, 2015)

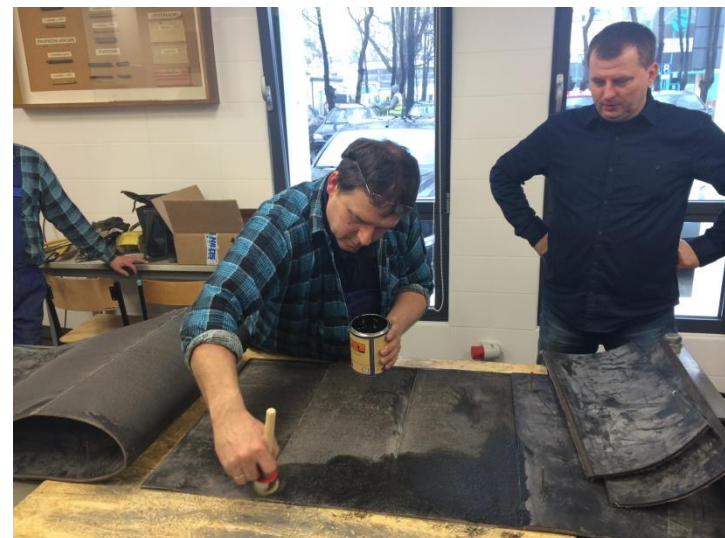
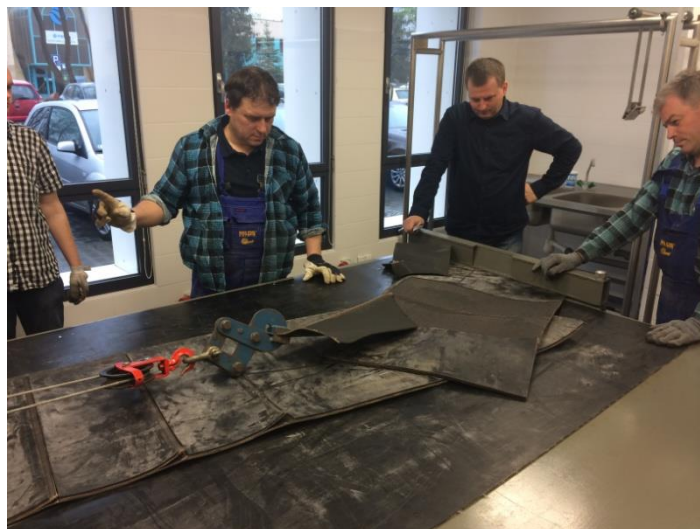
Połączenia taśm niedoceniany składnik kosztów eksploatacji



Preferowane typy łączenia taśm

(Abramczyk, 2015. Dobór taśm przenośnikowych. Wyniki ankiety. *Inżynieria i Utrzymanie Ruchu Zakładów Przemysłowych*, 09 lipca 2015)

Przygotowywanie złączy do badań laboratoryjnych



Metoda oceny wytrzymałości złącz na rozciąganie





Metoda oceny wytrzymałości złącz na rozciąganie

Wyniki badań wytrzymałości złącz weryfikowano w odniesieniu do wymaganej wytrzymałości określonej w normie PN-C-94147:1997 zależnością:

$$R_p = 0,85 \cdot R_r \cdot \frac{n_z - 1}{n_t}, \quad kN/m$$

gdzie: R_p – wytrzymałość na rozciąganie złącza w kN/m; R_r – wytrzymałość na rozciąganie taśmy w kN/m; n_z – liczba przekładek w złączu; n_t – liczba przekładek w taśmie.

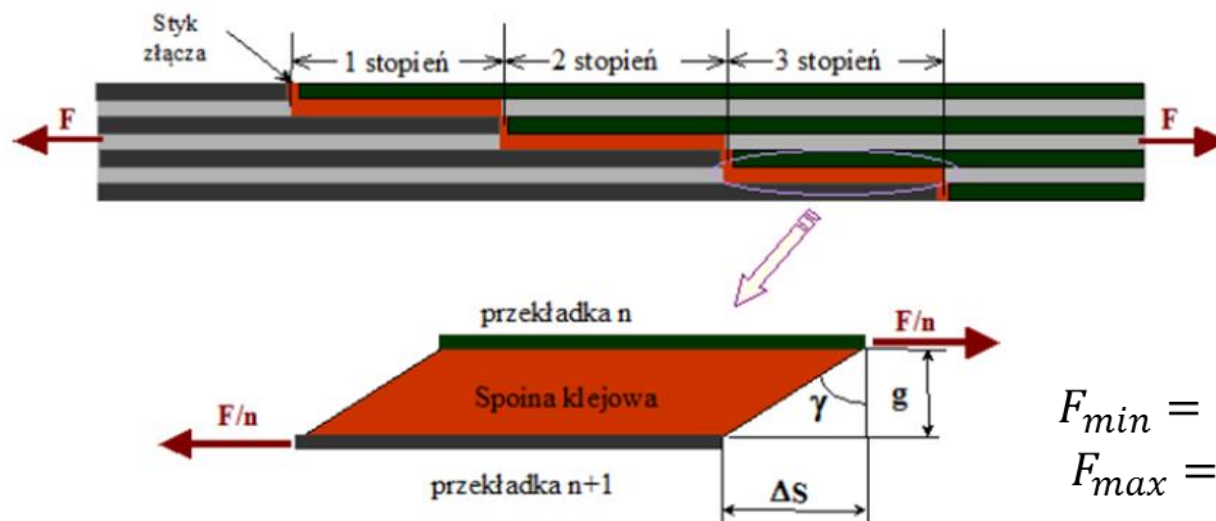


Badanie rozkładu naprężeń w spoinie złącza Metoda badań

Metoda polegała na:

1. Wykonywaniu pomiarów kąta odkształcenia postaciowego spoiny klejowej (γ) w złączach poddanych obciążeniu rozciągającemu (po 3 godzinach obciążania próbek wykonywano fotografie odkształconego złącza. Po obróbce komputerowej wykonanych fotografii, wykonywano wykresy zależności kąta odkształcenia postaciowego spoiny w funkcji długości złącza).
2. Dalsza procedura polegała na przeliczeniu wartości kątów odkształcenia postaciowego spoiny na względne wydłużenia spoiny (ϵ).
3. Wyznaczenie charakterystyk rozciągania gumy klejowej.
4. Następnie przeliczeniu tych wyników na naprężenia (po przeliczeniu kątów γ na wydłużenia ϵ oraz uwzględnieniu charakterystyk rozciągania gumy klejowej otrzymano wykresy rozkładu naprężeń w spoinie klejowej na długości poszczególnych stopni złączy).

Badanie rozkładu naprężeń w spoinie złącza



$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta S}{g}$$

$$F_{\min} = 0,75 \cdot b \cdot 0,05 \cdot R_{tasm}$$

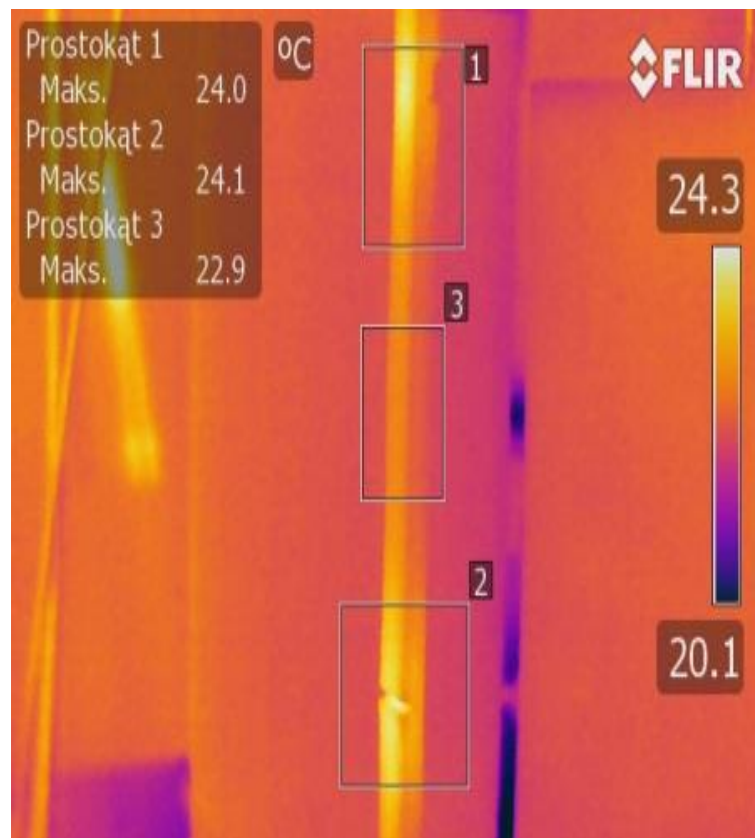
$$F_{\max} = 0,75 \cdot b \cdot 0,2 \cdot R_{tasm}$$

5% to typowe obciążenia robocze, natomiast 20% ekstremalne obciążenia w ekstremalnych warunkach pracy przenośnika (np. zimowy rozruch załadowanego przenośnika poziomego lub wznoszącego).

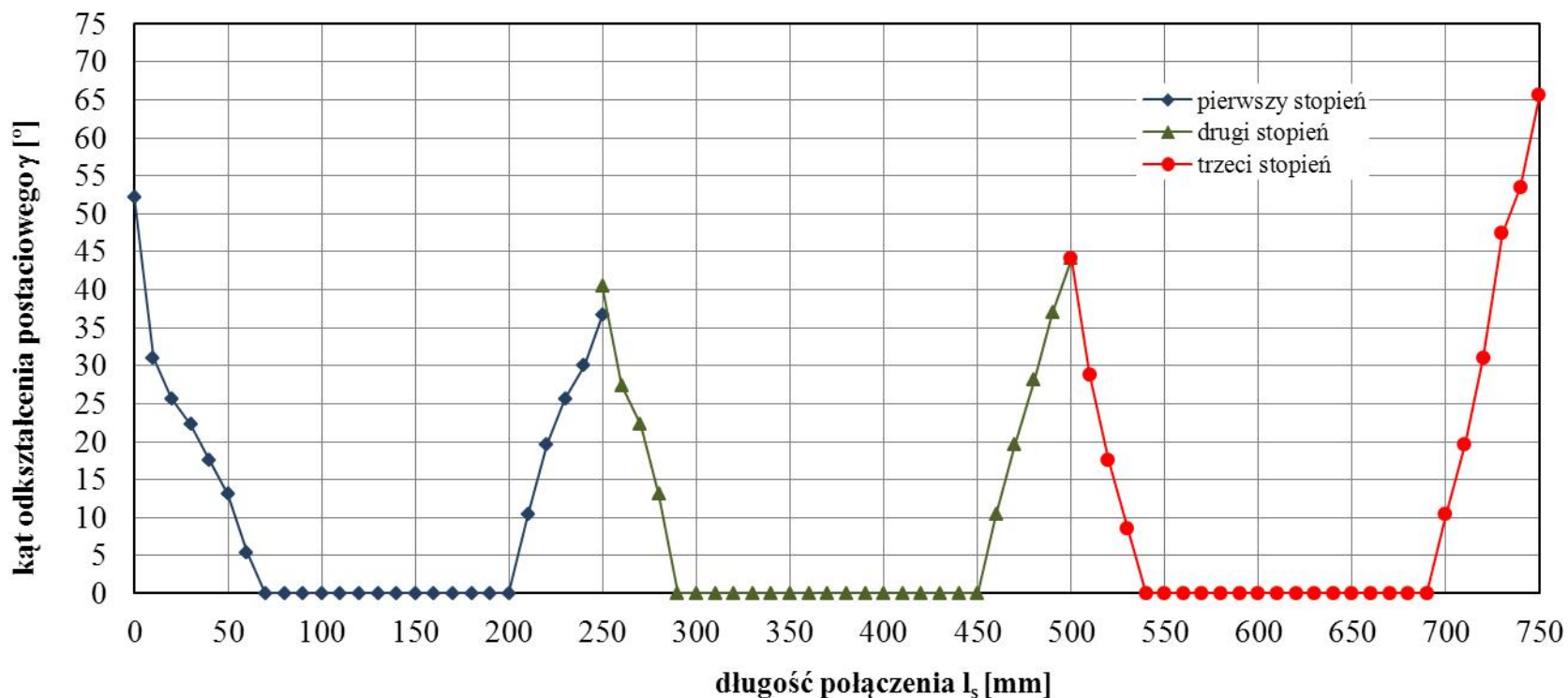
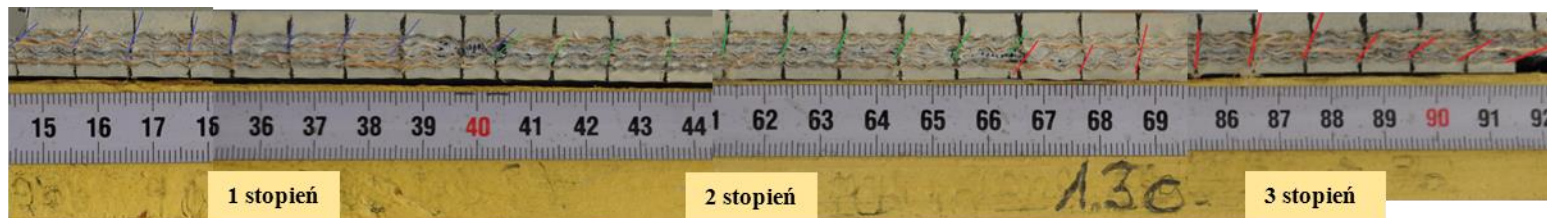
Badanie rozkładu naprężeń w spoinie złącza

W przeprowadzonych badaniach zmęczeniowych założono, że temperatura spoiny klejowej badanych złączy nie może przekraczać zakresu $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Eksperymentalnie ustalono, że powyższy zakres temperatur jest możliwy do uzyskania przy następujących warunkach badań:

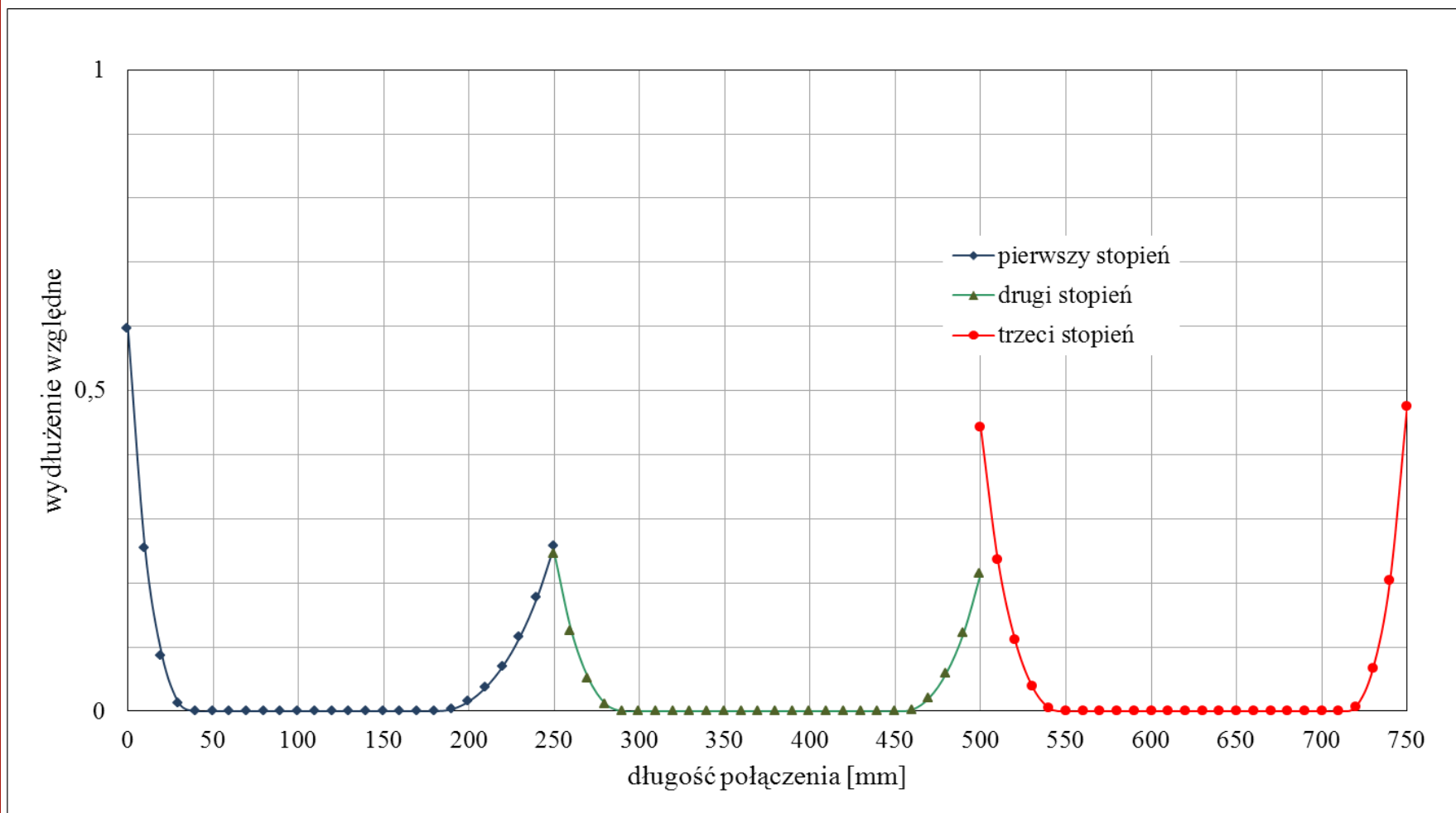
- Zakres obciążeń 5% do 20% wytrzymałości taśmy
- Częstotliwość obciążeń 0,3 Hz
- Sinusoidalna charakterystyka obciążeń
- Temperatura otoczenia 20°C



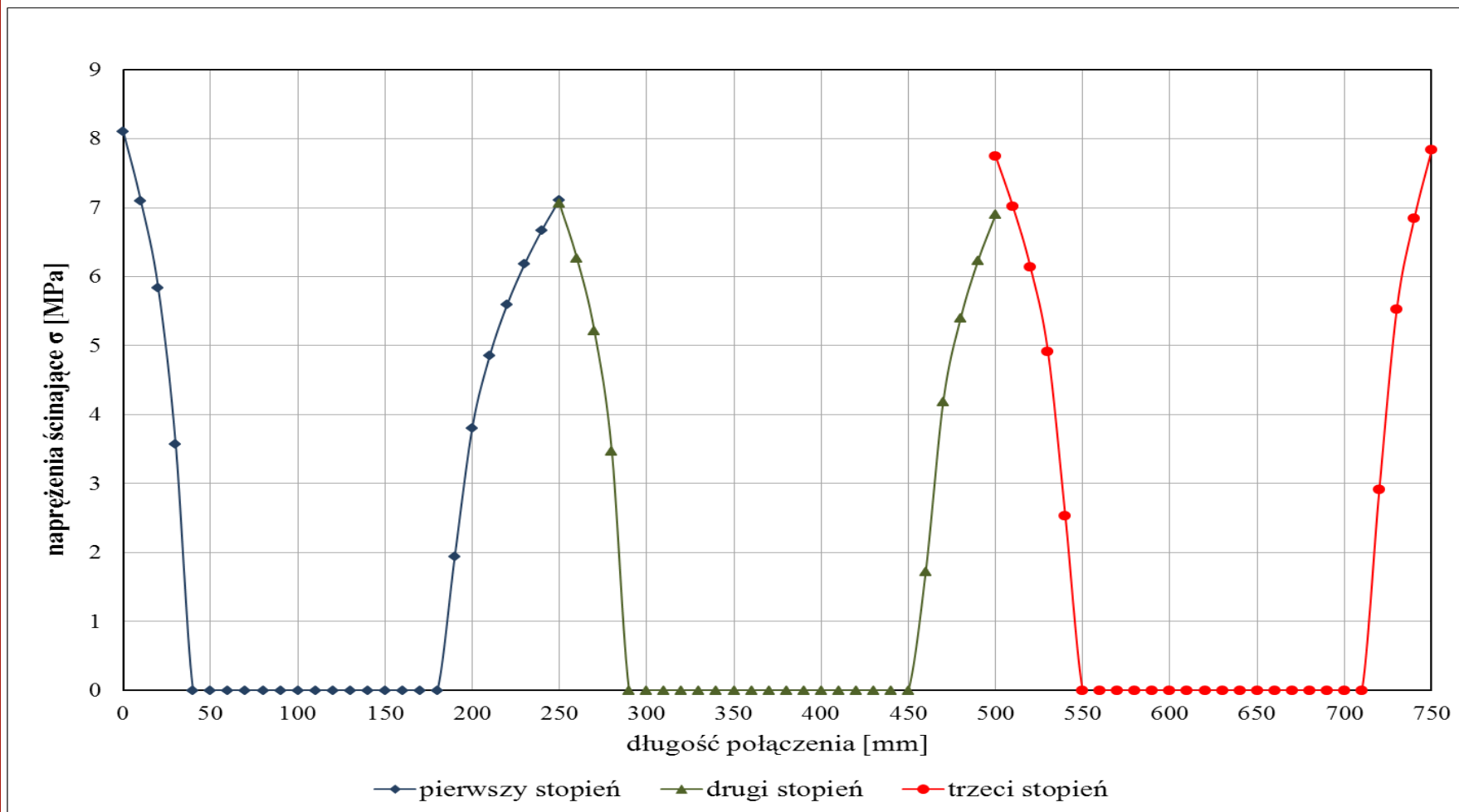
Kąt odkształcenia postaciowego - złącza klejone metodą „na zimno”



Wydłużenie względne spoiny na długości złącza

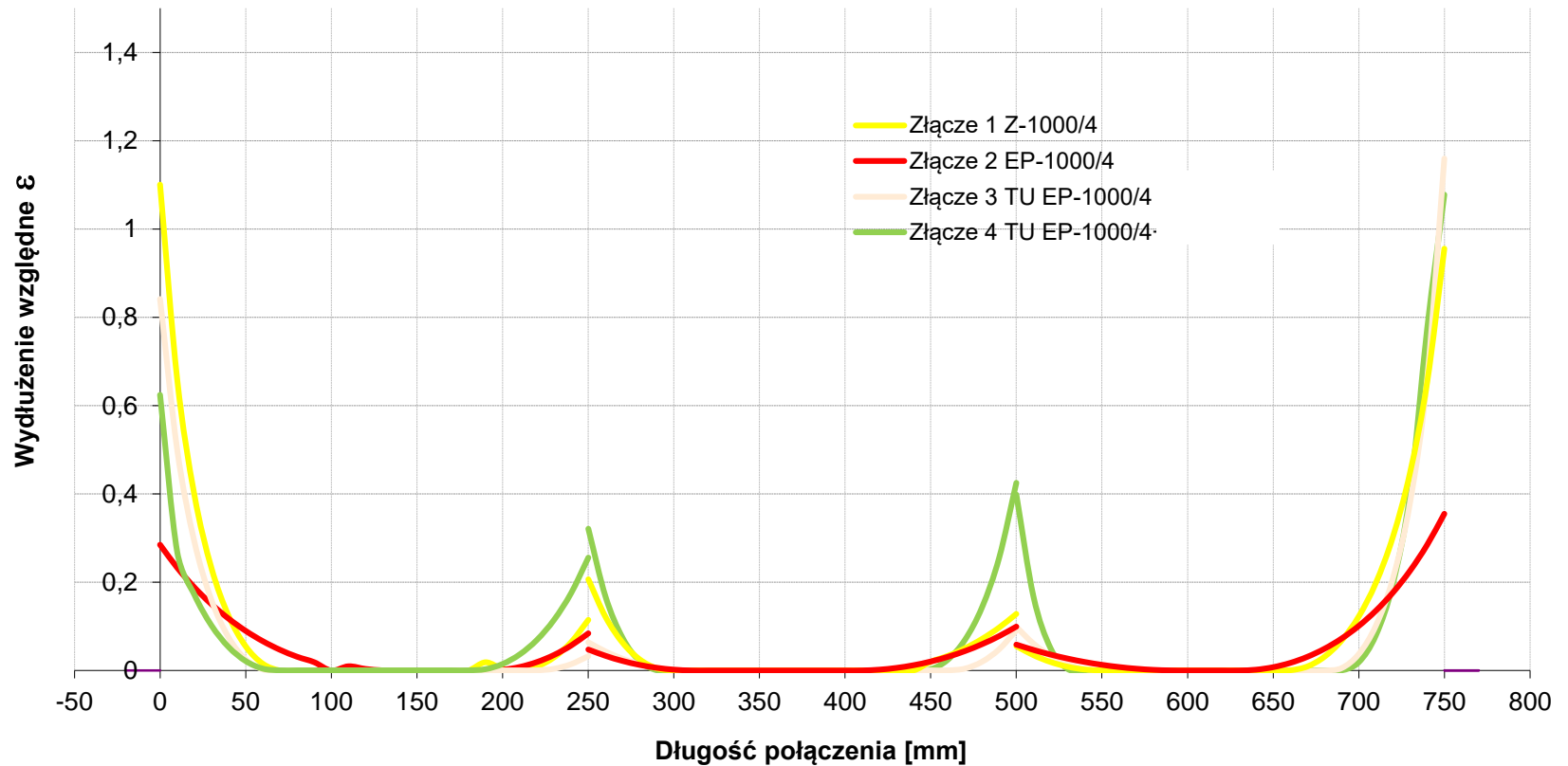


Naprężenia w spoinie klejowej - złącza klejone metodą „na zimno”





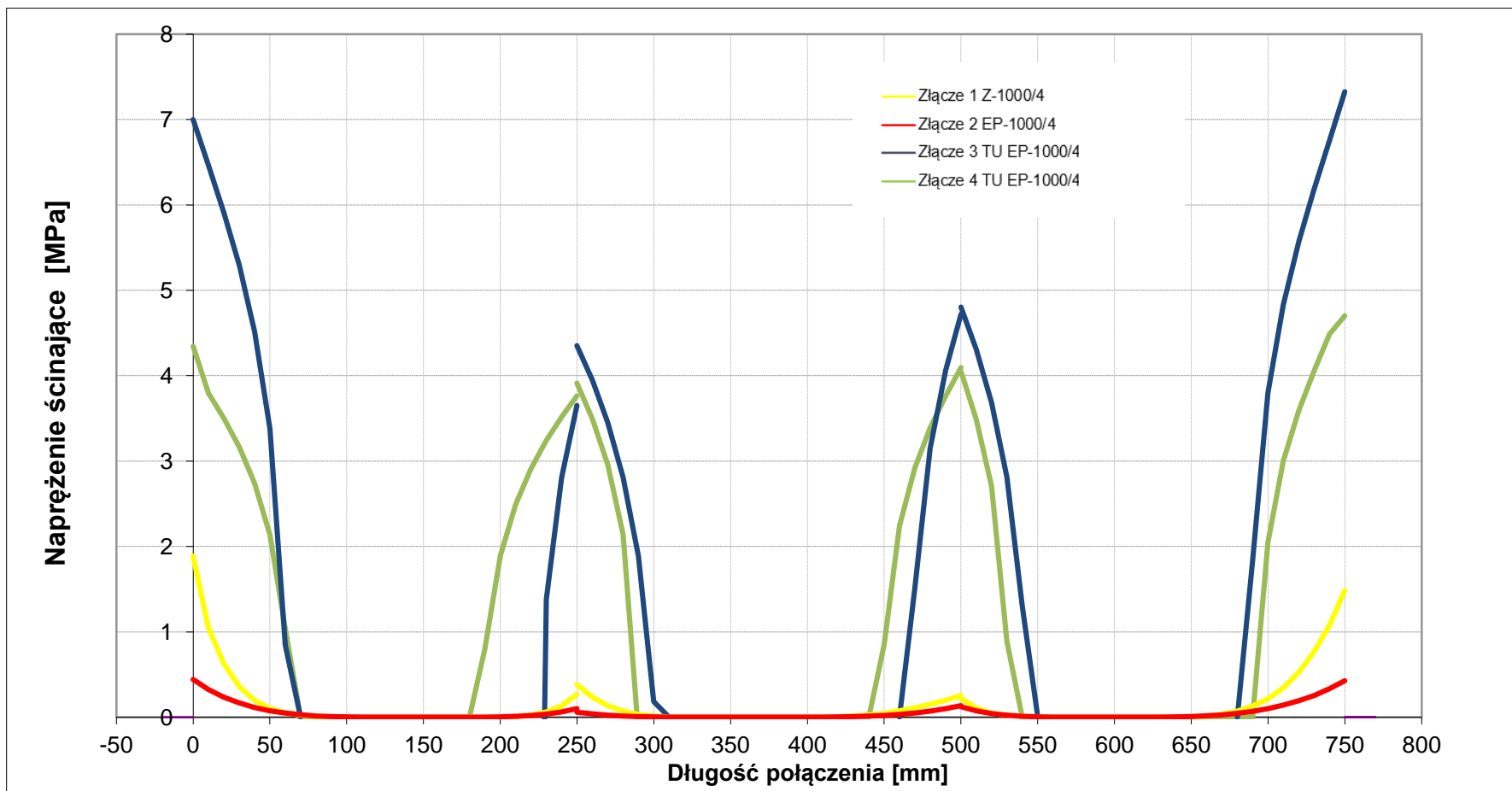
Wydłużenia spoiny na pełnej długości złącza. Porównanie ze złączami wulkanizowanymi



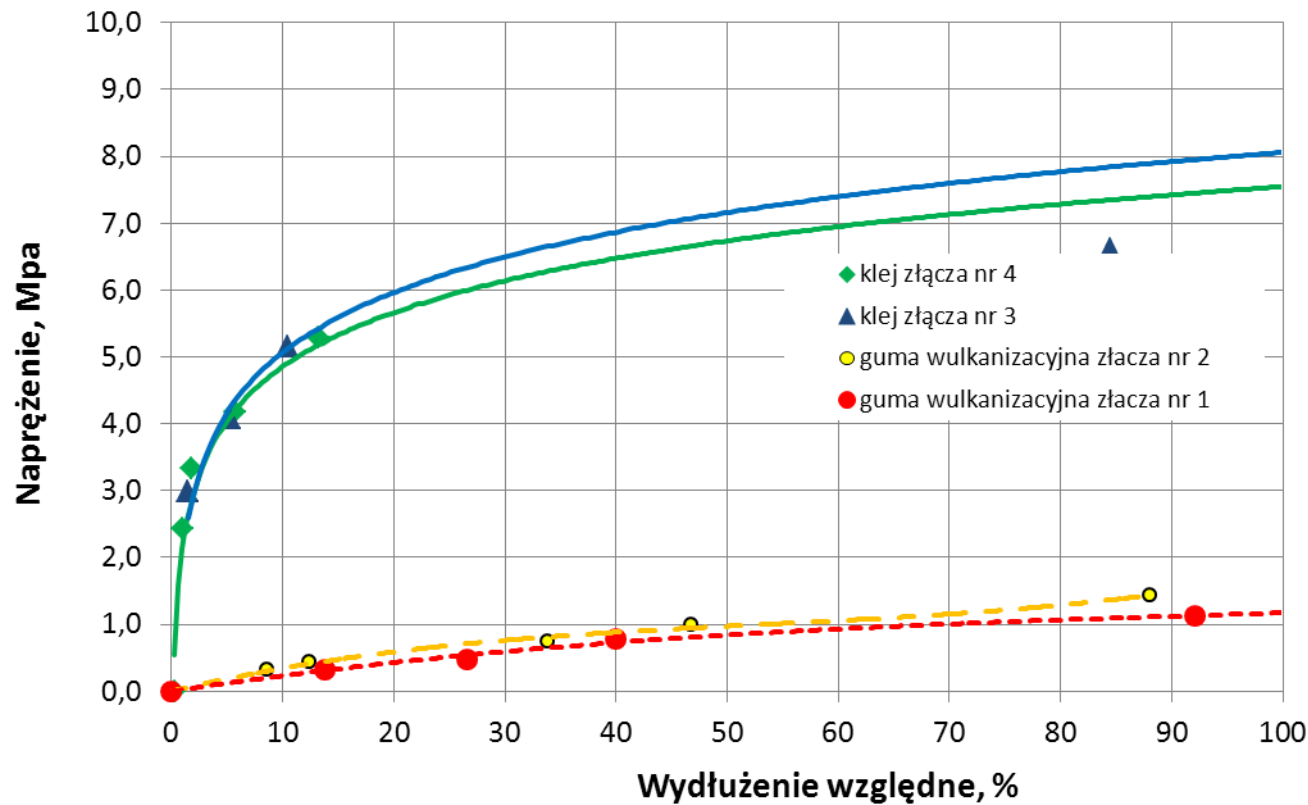
W wyniku obliczeń uzyskuje się wykresy rozkładu wydłużeń spoiny klejowej na długości złącza $\epsilon=f(l_x)$.



Naprężenia w spoinie na pełnej długości złącza. Porównanie ze złączami wulkanizowanymi



Wydłużenia gumy klejowej



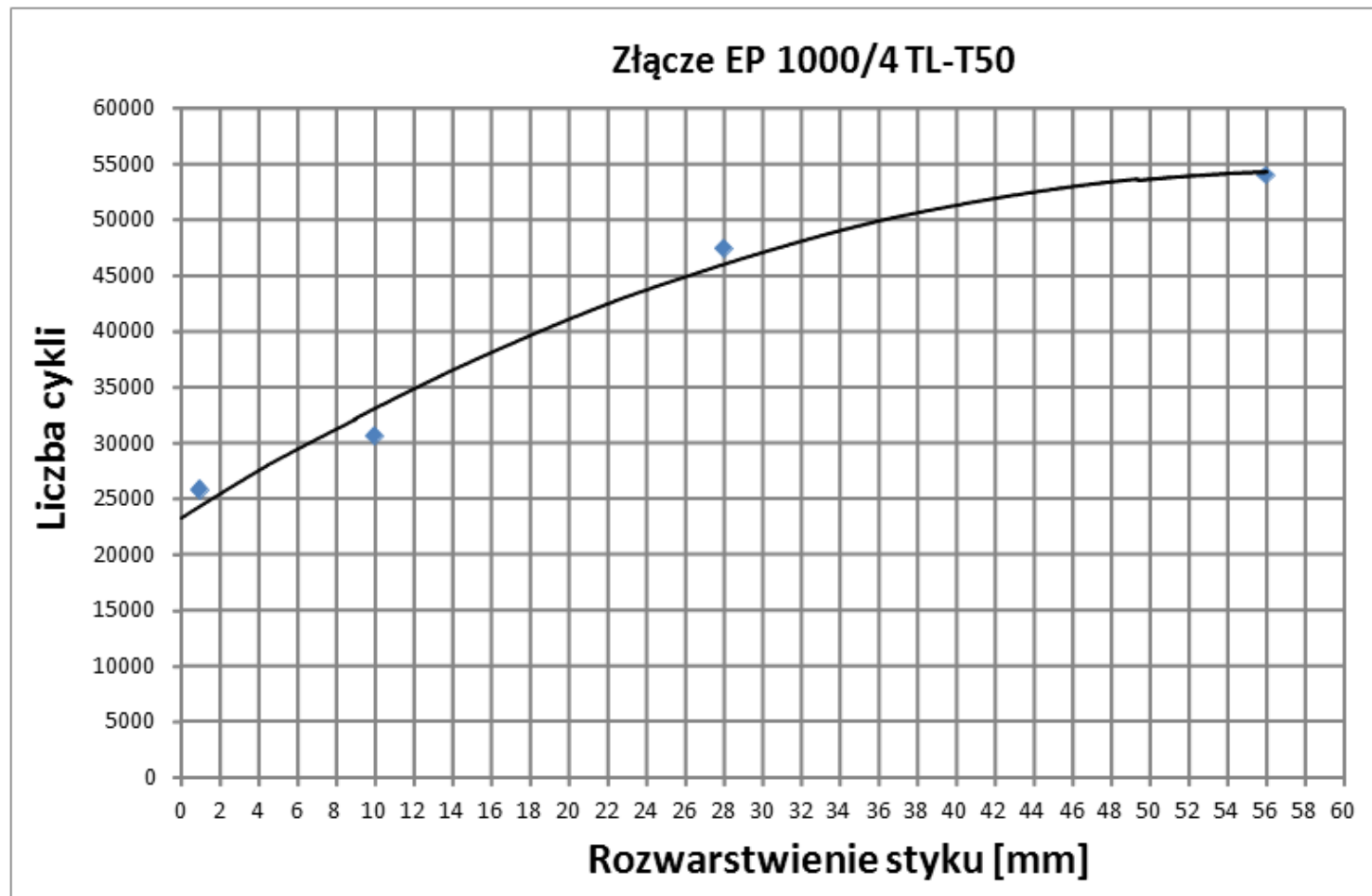
Wykres wydłużenia przykładowej gumy klejowej nr 1 i 2 w funkcji naprężenia



Zestawienie wyników badań zmęczeniowych złączy

Lp.	Wytrzymałość na rozciąganie taśmy, R_t [kN/m]	Moduł sprężystości taśmy, $M_{taśmy}$ [kN/m]	Moduł sprężystości i złącza, $M_{złącza}$ [kN/m]	Wytrzymałość na rozciąganie gumy klejowej, TS [MPa]	Wytrzymałość na rozwarstwianie złącza, $R_{rozw. złącza}$ [N/mm]	Wydłużenie względne spoiny klejowej na stykach zewnętrznych, $\epsilon_{zew. stopni}$ [mm/mm]	Wytrzymałość na ścinanie złącza, τ_p [N/mm ²]	Liczba cykli zmęczeniowych po których rozpoczyna się rozwarstwianie złącza, LC
1	793	7823	9000	14,94	6,0	0,49	9,75	100006
2			9521	15,98	6,51	0,56	10,33	100025
3			7823	9,50	8,9	0,28	13,67	100000
4	1097	10192	9834	14,94	5,97	0,81	12,54	79598
5			9667	13,77	5,82	0,85	13,13	43849
6			9198	16,51	6,65	0,54	12,08	81300
7			10305	13,08	8,82	0,76	11,29	112114
8			11714	15,54	4,54	0,80	10,67	23567
9			10909	13,89	5,71	0,24	11,71	24125
10			11510	15,98	5,51	0,51	12,13	100001
11			10192	9,50	9,1	0,30	13,75	100000
12	1417	14846	18149	14,94	5,98	0,45	12,79	78362
13			18558	13,08	7,58	0,43	10,04	47295
14			18813	15,54	5,59	0,35	11,13	55000
15			18071	13,89	6,24	0,44	12,67	28047
16			18409	15,98	5,85	0,47	9,79	811131
17	14846	9,03	11,2	0,32	15,42	100000		
18	1688	18941	24685	14,94	4,63	1,88	5,33	1602
19			24758	15,98	4,55	1,7	5,88	4190
20			18941	7,8	7,8	0,65	12,71	100000

Krzywa rozwarstwiania złącza



Matematyczne zależności

$$\tau = 0,640224 \cdot M_{\text{złącza}}^{-0,6} \cdot \tau_{\text{taśmy przeliczeniowa}}^3 \cdot R_{\text{rozw.złącza}}^{-0,2}$$

$R^2 = 84.2 \%$,

$$LC = 0,002 \cdot R_{\text{rozw.złącza}}^2 \cdot M_{\text{taśmy}}^{0,3} \cdot TS^{2,59} \cdot \varepsilon_{\text{zew.stopni}}^{-3,8967}$$

$R^2 = 73.9 \%$,

$M_{\text{złącza}}$ - moduł złącza, kN/m²;

$R_{\text{rozw.złącza}}$ - wytrzymałość na rozwarstwianie złącza, kN/m;

$\tau_{\text{taśmy przeliczeniowa}}$ - wytrzymałość na ścinanie taśmy przeliczeniowa, kN/m²

$M_{\text{taśmy}}$ - moduł taśmy, kN/m²;

TS - wytrzymałość na rozciąganie gumy klejowej, kN/m²;

$\varepsilon_{\text{zew.stopni}}$ - wydłużenie względne spoiny klejowej gumy frykcyjnej na stykach zewnętrznych, mm/mm.



Porównanie kosztów wykonywania połączeń wulkanizowanych i klejonych

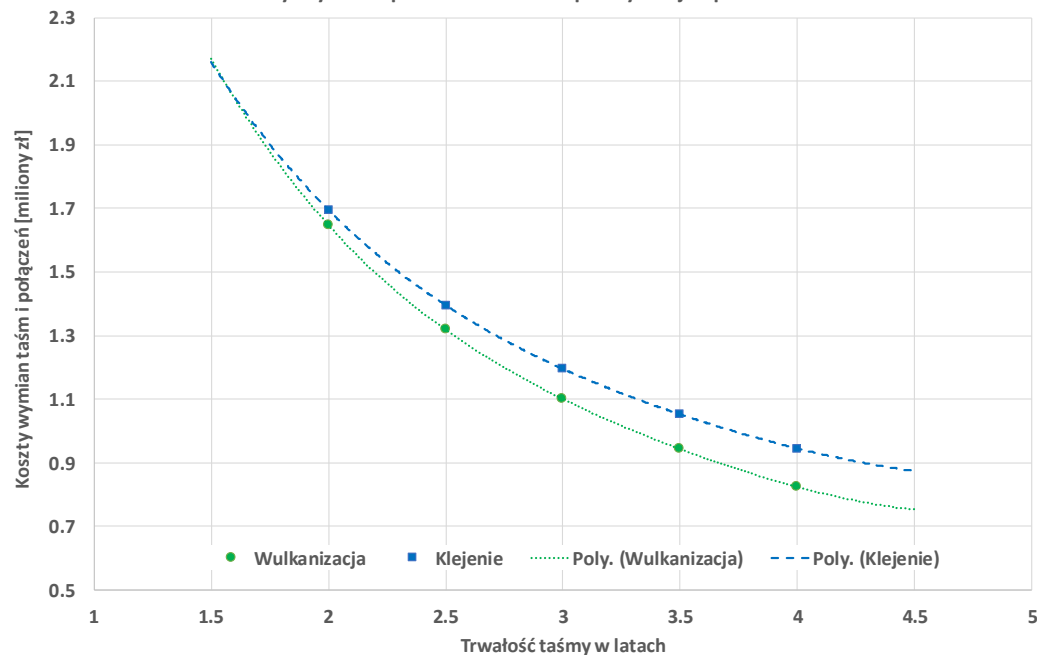
Bajda M., Błażej R., Jurdziak L., Hardygóra M. „Wpływ różnic trwałości połączeń wulkanizowanych i klejonych na koszty eksploatacji taśm przenośnikowych” Szkoła Eksploatacji Podziemnej SEP2017.

Przyjęte założenia:

- 10 km taśm w kopalni, odcinki taśm o długości 100 m,
- Przyjęto, że koszt zakupu taśm tekstylnych wynosi ok. 300 zł/m.b., a koszty wykonania połączeń to dla połączenia wulkanizowanego 2 800 zł, a dla połączenia klejonego 1 800 zł. Założono średnią trwałość taśmy na poziomie 3 lat i nie mniejszą trwałość połączeń wulkanizowanych, które osiągają 100% wytrzymałości taśmy. Oznacza to, że złącza wulkanizowane wymienia się jedynie przy okazji wymiany taśmy i nie pojawia się konieczność ich wymiany na skutek pogorszenia ich kondycji. Przy 100 połączeniach i ich trwałości nie mniejszej niż 3 lata, rocznie będzie się wymieniać ok. 34 połączenia wulkanizowane
- Połączenia klejone taśm tekstylnych mają mniejszą wytrzymałość (do 60% wytrzymałości taśmy) i przez to ich trwałość założono na poziomie 1 roku. Oznacza to, że rocznie wymieniać się będzie 100 połączeń, a więc tyle ile ich jest w kopalni

Szacunkowe wyniki

Roczne koszty wymian i połączeń taśm w hipotetycznej kopalni z 10 km taśm

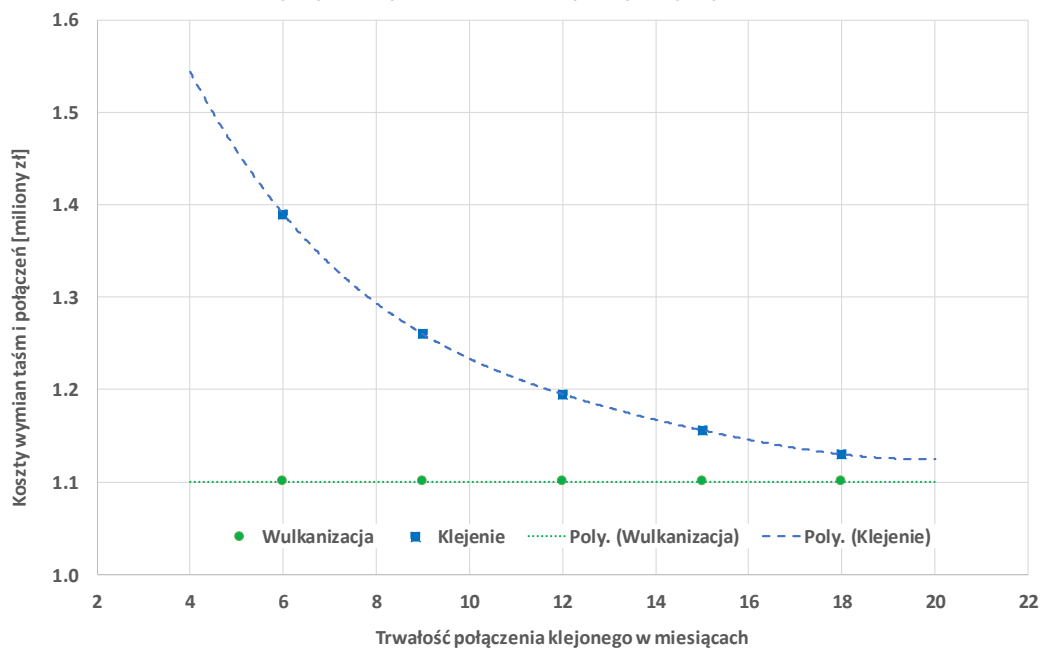


- Spadek trwałości taśm do ok. 1.5 roku powoduje, że łączne koszty wymian taśm i połączeń w obu strategiach się zrównują na poziomie dwukrotnie wyższym niż przy trwałości wynoszącej 3 lata. Krótka trwałość taśm zwiększa długość rocznych wymian taśm i liczbę wymienianych połączeń wulkanizowanych, które wymienia się przy okazji wymian taśmy. Z uwagi na większy koszt połączeń wulkanizowanych niweluje to różnice kosztów w obu strategiach
- Wzrost trwałości taśm można osiągnąć rezygnując z kryterium ceny na przetargach i łącząc cenę z czasem gwarancji poprawnej pracy taśm.

Wpływ trwałości taśmy na koszty wymian i połączeń taśm przy stosowaniu połączeń wulkanizowanych i klejonych

Szacunkowe wyniki

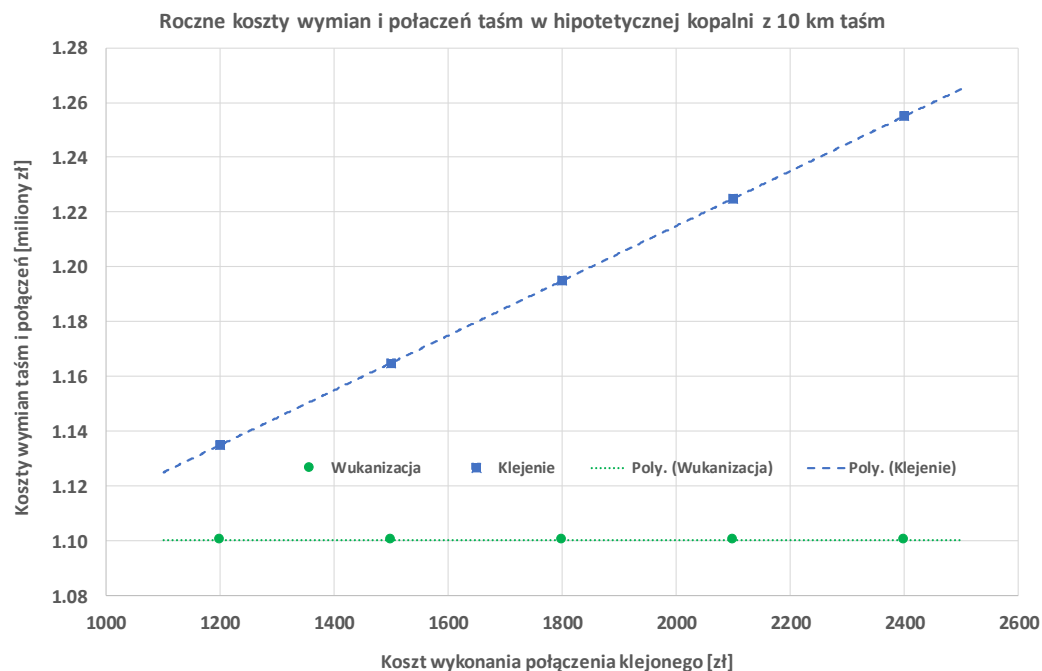
Roczne koszty wymian i połączeń taśm w hipotetycznej kopalni z 10 km taśm



Wpływ średniej trwałości połączeń klejonych na łączne koszty wymian i połączeń taśm

- Zbadano też wpływ zmian trwałości połączenia klejonego na zmianę łącznych kosztów wymian taśm i połączeń. Okazuje się, że wzrost trwałości połączeń klejonych z 12 miesięcy do 18 miesięcy praktycznie zrównuje łączne koszty w obu strategiach.
- Niestety przy zaostrożonej konkurencji na rynku usług wymian i łączenia taśm, koszt połączenia klejonego pokrywa jedynie koszty krańcowe jego wykonania. Trudno oczekiwać by rostała trwałość połączeń, gdy maleją płace pracowników wykonujących połączenia. Niskie płace, to wysoka rotacja pracowników i brak doświadczenia. Dodatkowo kopalnie wywierają presję na skracanie czasu bezczynności przenośnika, co nie sprzyja osiągnięciu zakładanej wytrzymałości połączeń. Warto przemyśleć, czy nie warto, podobnie jak dla taśm, w przetargach na realizację usług łączenia taśm potączyć cenę z długością gwarancji poprawnej pracy połączeń. Możliwe, że nieco droższe połączenia, ale wykonane staranniej przez doświadczonych pracowników będą pracować dłużej

Szacunkowe wyniki



- Wzrost ceny połączenia klejonego przekłada się bezpośrednio na wzrost łącznych kosztów wymian i połączeń taśm. Wzrost ceny o 33,3% (1800 zł do 2400 zł) zwiększa koszty jedynie o 5% rocznie. Jeśli względnie wzrośnięciu kosztów wykonania połączenia klejonego będzie towarzyszył analogiczny względny wzrost trwałości to łączne koszty wymian i połączeń taśm dla kopalni nie powinny ulec wzrostowi, a pojawią się korzyści ze wzrostu niezawodności.

Wpływ ceny połączenia klejonego na łączne koszty wymian i połączeń



Wnioski

- W połączeniach taśm wykonanych metodą klejenia na zimno występują znacznie większe naprężenia w spoinie klejowej niż w złączach wulkanizowanych
- W złączach klejonych następuje kilkukrotnie wyższe spiętrzenie naprężeń spowodowane faktem, że klej używany do wykonania złączy jest sztywny i nie ulega odkształceniu. Przy złączach wulkanizowanych spiętrzenia naprężeń są znacznie mniejsze, gdyż obciążenie przejmuje również spoina.
- Analiza rozkładu naprężeń na długości połączenia pokazała, że w połączeniach taśm klejonych na zimno występują znacząco większe naprężenia w spoinie klejowej niż w złączach wulkanizowanych. Może świadczyć to o znacznie większej awaryjności połączeń klejonych w porównaniu do połączeń wulkanizowanych. Zatem powinno zalecać się, aby ***złącza klejone na zimno wykonywane były jedynie w miejscach, gdzie wykonanie złącza wulkanizowanego na gorąco jest niemożliwe.***