



Zużywanie się szyn tramwajowych w kontekście cyklu życia inwestycji na przykładzie trasy tramwajowej Nowa Warszawska

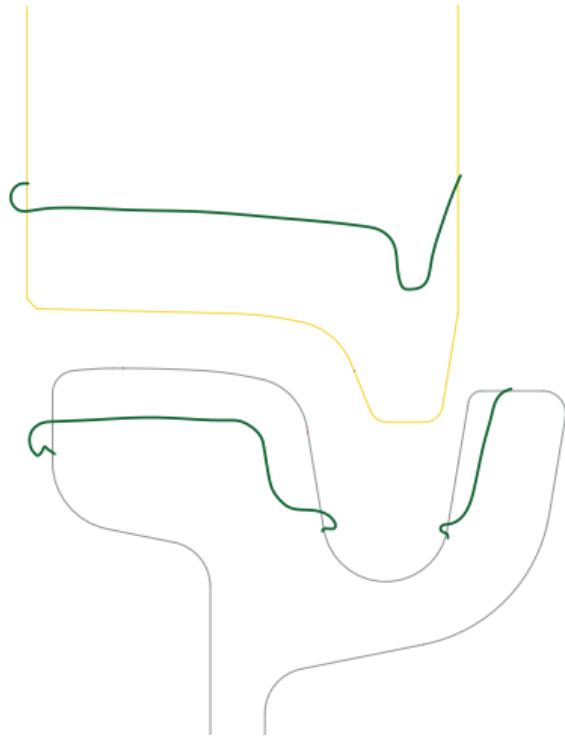
Dr inż. Jacek Szmagliński
Dr inż. Kamila Szwackiewicz



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

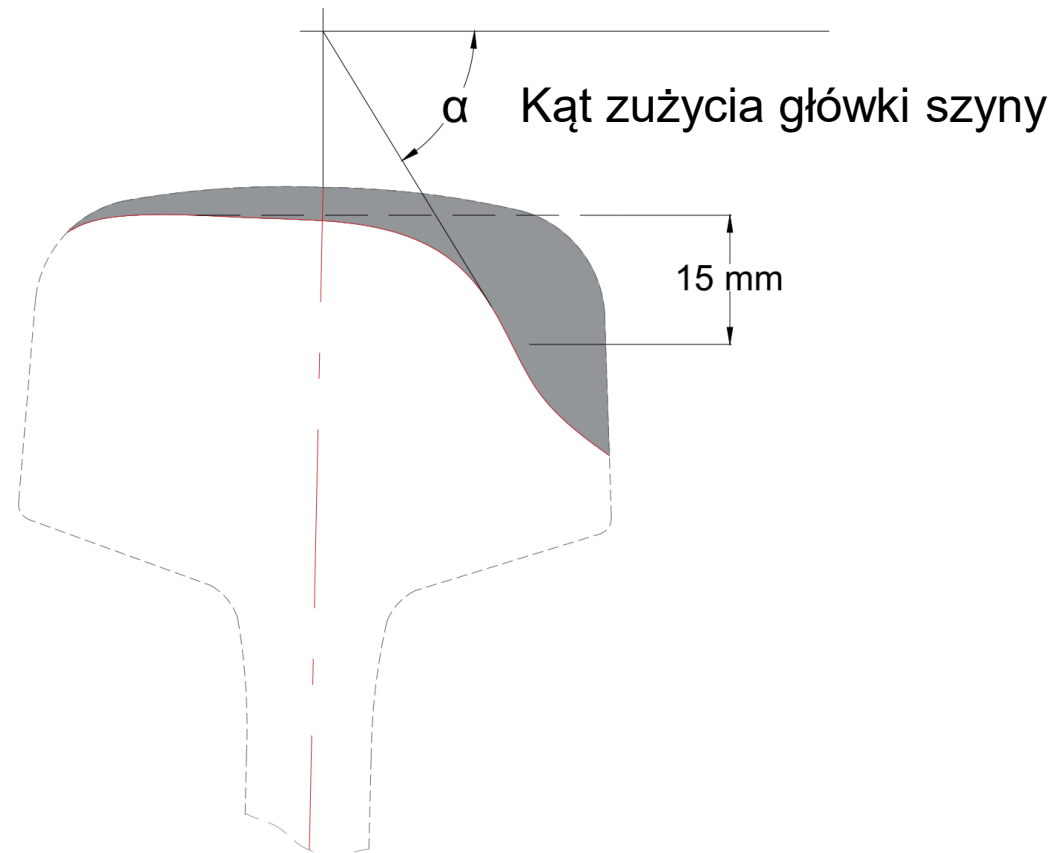
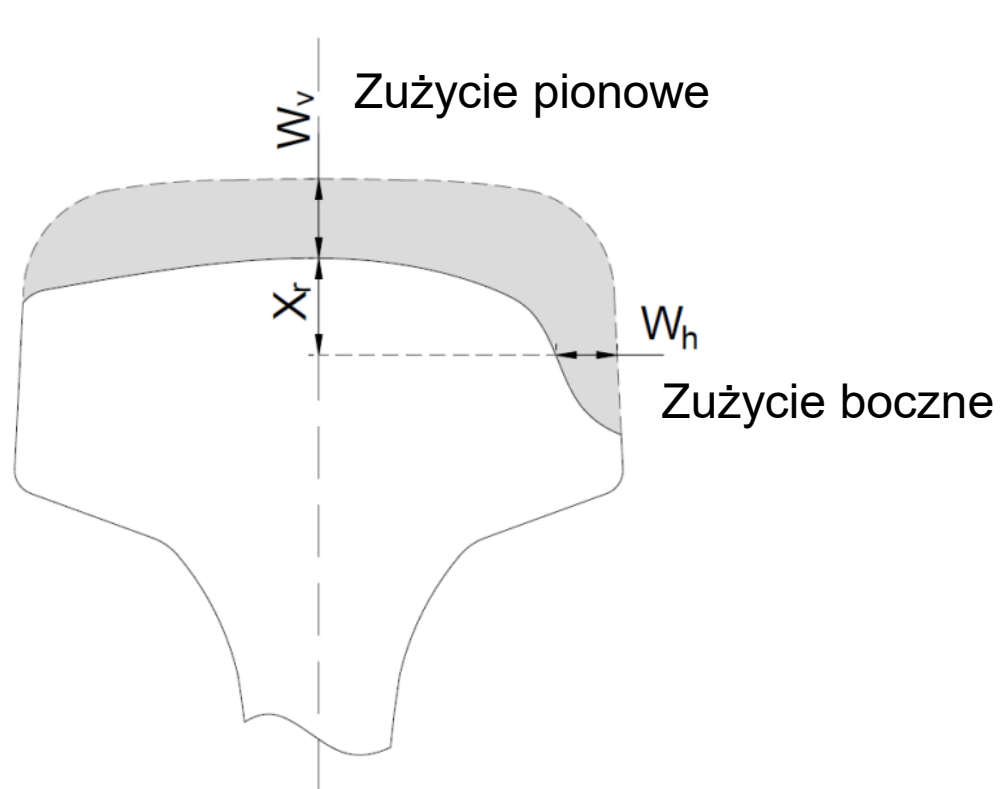
Zużywanie się szyn tramwajowych

Zużywanie się szyn



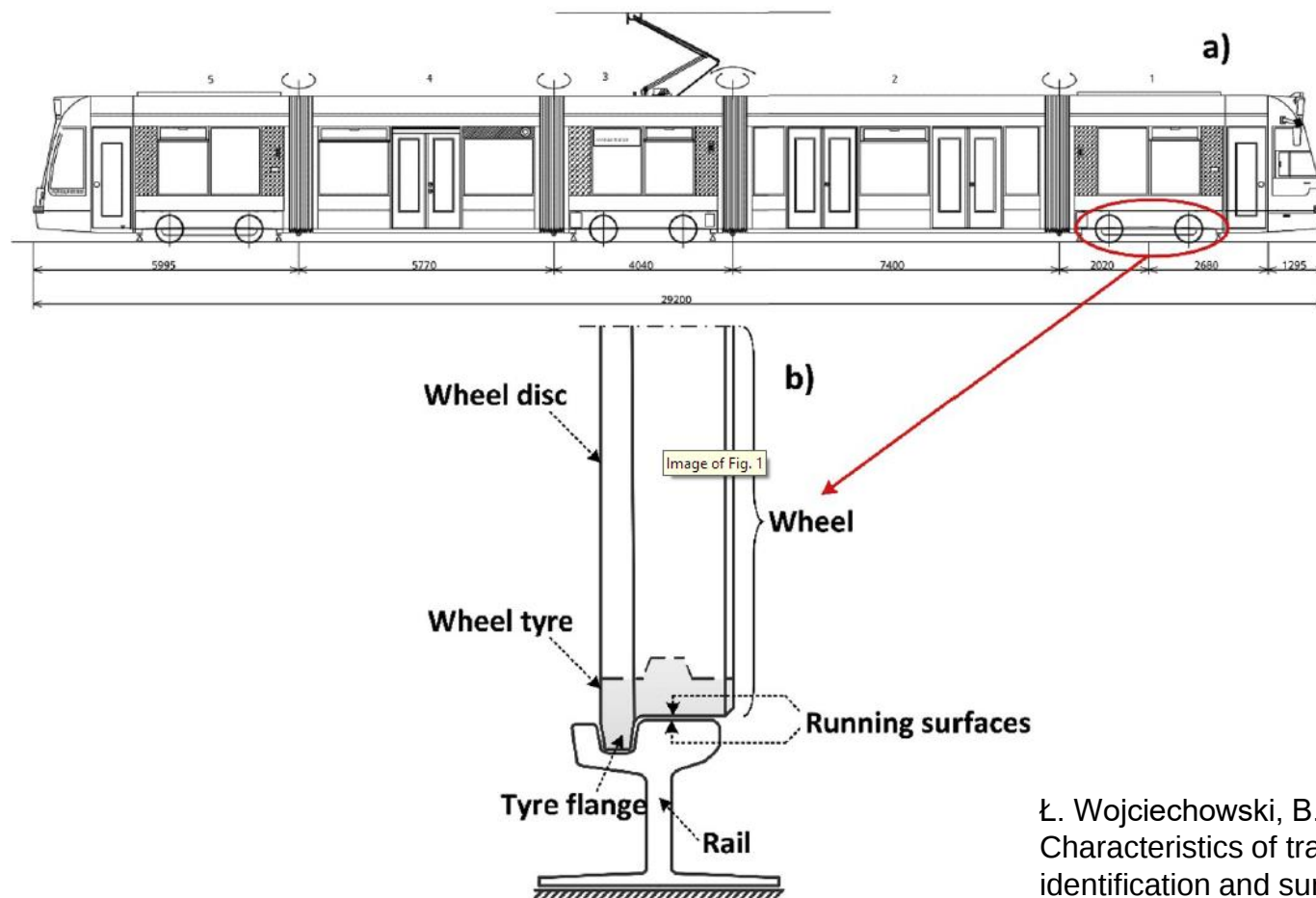


Zużywanie się szyn





Zużywanie się szyn



Ł. Wojciechowski, B. Gapiński, B. Firlik, T.G. Mathia,
Characteristics of tram wheel wear: Focus on mechanism
identification and surface topography, Tribology International



Dopuszczalne zużycia szyn wg WR-D-84

Tab. 8.2.1. Dopuszczalne zużycie główek szyn

Szyny Vignole'a			
dopuszczalne zużycie pionowe P [mm]		dopuszczalne zużycie boczne B [mm]	
szyny o masie ≤ 49,39 kg/m	szyny o masie > 49,39 kg/m	szyny o masie ≤ 49,39 kg/m	szyny o masie > 49,39 kg/m
12	15	15	15
1) w przypadku równoczesnego wystąpienia zużycia pionowego P i bocznego B, dopuszczalne zużycie P+B/3 odpowiada dopuszczalnej wartości zużycia pionowego, 2) w szynach przekładanych dopuszczalne zużycie pionowe należy zmniejszać o połowę sumy obustronnych rzeczywistych zużyć bocznych.			
Szyny rowkowe			
dopuszczalne zużycie pionowe P [mm]		dopuszczalne zużycie boczne B [mm]	
18		15	
1) w przypadku równoczesnego wystąpienia zużycia pionowego P i bocznego B, dopuszczalne zużycie P+B/3 odpowiada dopuszczalnej wartości zużycia pionowego.			



Od czego zależy prędkość narastania zużycia?

Zużycie pionowe:

- Obciążenie skumulowane;
- Strefa hamowania lub rozpędzania;
- Twardość szyny.

Zużycie boczne:

- Obciążenie skumulowane;
- Promień łuku;
- Przyspieszenie niezrównoważone;
- Twardość szyny.



Wymagania dotyczące stali szynowej wg WR-D-43-3

Tab. 6.3.7.3. Zalecane gatunki stali szynowej dla wybranych lokalizacji w torach na odcinkach szlakowych

Ogólna charakterystyka konstrukcji i lokalizacji torowiska	Zalecane gatunki stali
torowisko na odcinkach prostych oraz w łukach o promieniu $R \geq 150$ m, niezależnie od rodzaju zabudowy	R260
torowisko na odcinkach prostych oraz w łukach o promieniu $150 \leq R \leq 1\,000$ m, w strefach zwiększonego zużycia pionowego szyn, tj. wzdłuż peronów przystankowych	R290GHT
torowisko na odcinkach prostych oraz w łukach o promieniu $R \geq 1\,000$ m w strefach zwiększonego zużycia pionowego szyn, tj. wzdłuż peronów przystankowych	R340GHT
torowisko w łukach o promieniu $R < 150$ m, w miejscach umożliwiających łatwą wymianę szyn, np. torowisko o konstrukcji podsypkowej niezabudowane oraz o konstrukcji bezpodsypkowej zabudowane roślinnością	R340GHT
torowisko w łukach o promieniu $R < 150$ m zabudowane nawierzchnią nieprzepuszczalną (przejazdy tramwajowe, przejścia dla pieszych, przejazdy dla rowerów)	R290GHT ¹⁾
Oznaczenia: R – gatunek stali szynowej 290 – minimalna twardość oznaczona metodą Brinella (HBW) G – inne cechy HT – stal obrabiana cieplnie ¹⁾ z gatunków stali dedykowanych do regeneracji.	



Różnice pomiędzy szynami

Stal R260:

- Niewielka twardość min 260 HBW;
- Łatwość łączenia;
- Łatwość w regeneracji;
- Tańsza.

Stal R290GHT:

- Podwyższona twardość min 290 HBW;
- Trudniejsza w łączeniu;
- Trudniejsza w regeneracji;
- Droższa o około 30%.

Czy warto?



Czym jest analiza cyklu życia?

Zgodnie z Normą EN 60300-3-3 podstawowymi fazami cyklu życia są:

- Koncepcja i definiowanie;
- projektowanie i rozwój;
- wytwarzanie;
- instalowanie;
- użytkowanie i obsługiwanie;
- likwidacja.



Czym jest analiza cyklu życia?

Zgodnie z Normą EN 60300-3-3 podstawowymi fazami cyklu życia są:

- Koncepcja i definiowanie;
- projektowanie i rozwój;
- wytwarzanie;
- instalowanie;
- użytkowanie i obsługiwanie;
- likwidacja.

← Analiza kosztu inwestycji nie wystarczy!



Czym jest analiza cyklu życia?

Zgodnie z Normą EN 60300-3-3 podstawowymi fazami cyklu życia są:

- Koncepcja i definiowanie;
- projektowanie i rozwój;
- wytwarzanie;
- instalowanie;
- użytkowanie i obsługiwanie;
- likwidacja.

← Analiza kosztu inwestycji nie wystarczy!

← W takim razie jak ocenić koszt użytkowania i obsługiwania?



Sieć tramwajowa w Gdańsku



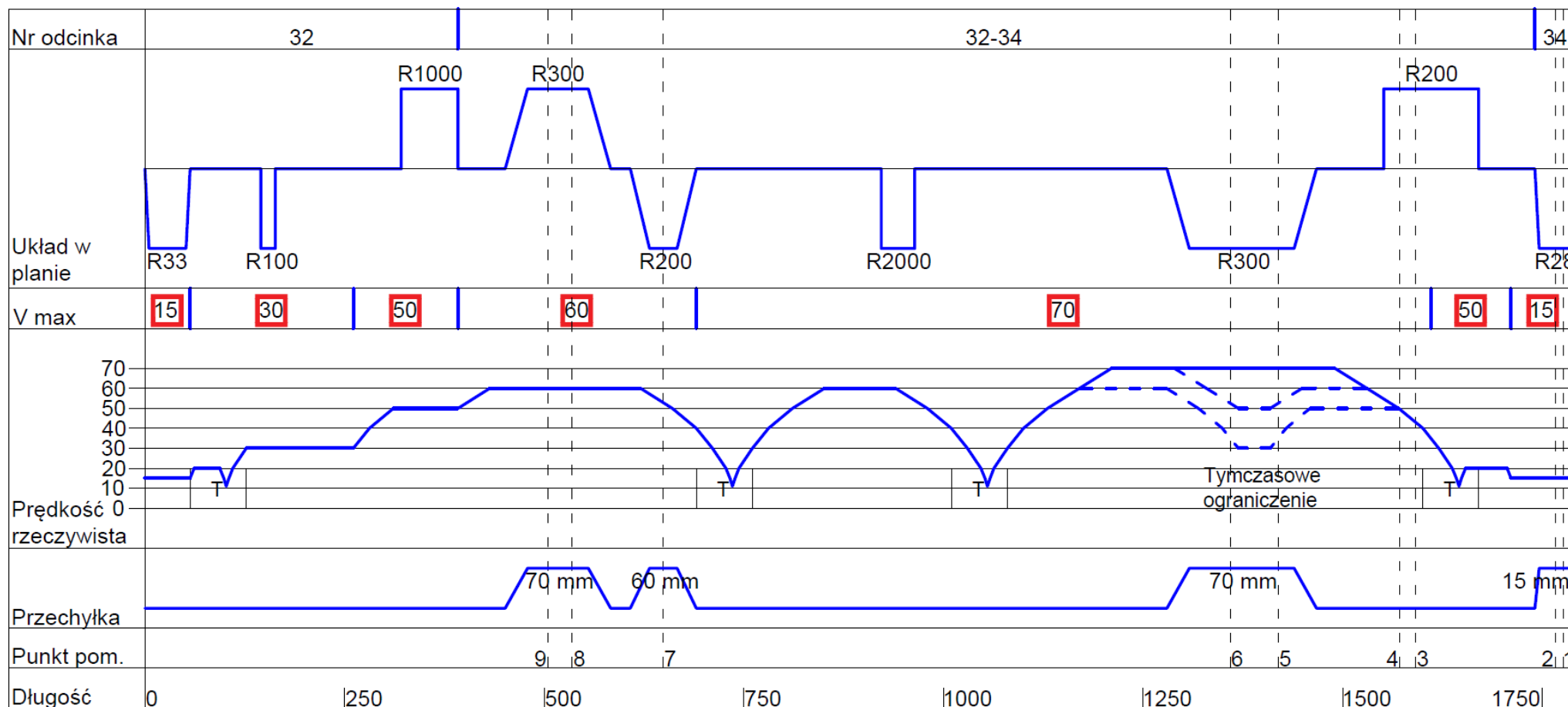


Trasa tramwajowa Nowa Warszawska





Profil prędkości wraz z analizą układu geometrycznego trasy



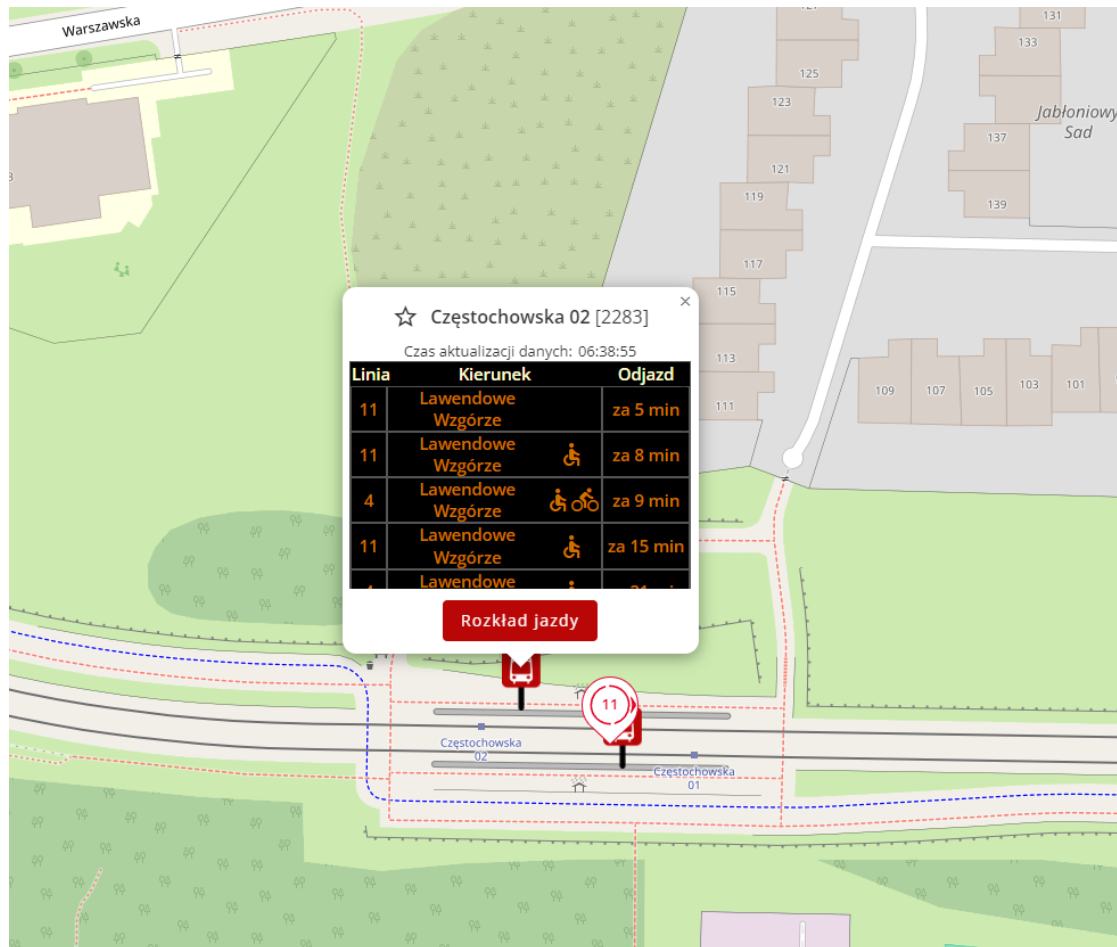


Obliczenia kinematyczne dla punktów pomiarowych

Punkt	R [m]	D [mm]	V [km/h]	A [m/s ²]	Tor 1	Tor 2
1	28	15	15	0.52		stała prędkość
	33	15	15	0.43	stała prędkość	
2	28	15	15	0.52		stała prędkość
	33	15	15	0.43	stała prędkość	
3	200	0	40	0,62	rozpędzanie	
			35	0.47		hamowanie
4	200	0	45	0.78	rozpędzanie	
			40	0,62		hamowanie
5	300	70	50	0.19	hamowanie	rozpędzanie
6	300	70	50	0.19	rozpędzanie	hamowanie
7	200	60	50	0.57	rozpędzanie	hamowanie
8	300	70	60	0.47	stała prędkość	stała prędkość
9	300	70	60	0.47	stała prędkość	stała prędkość



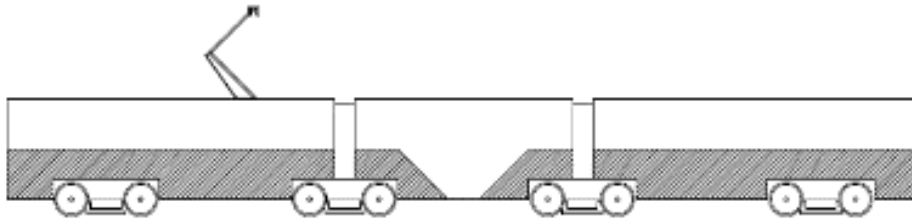
Natężenie ruchu oraz tabor



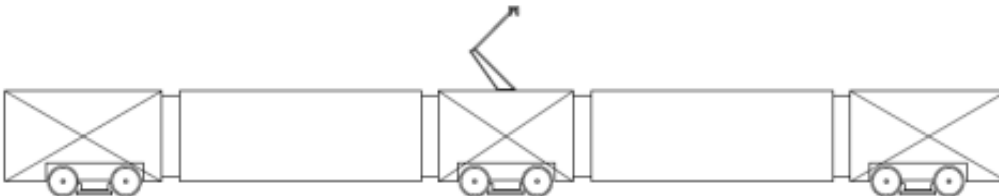
- W szczycie częstotliwość ruchu co około 5 minut;
- Około 150 tramwajów w ciągu dnia;
- Obciążenie skumulowane około 3 Tg/rok.



Natężenie ruchu oraz tabor



N8C



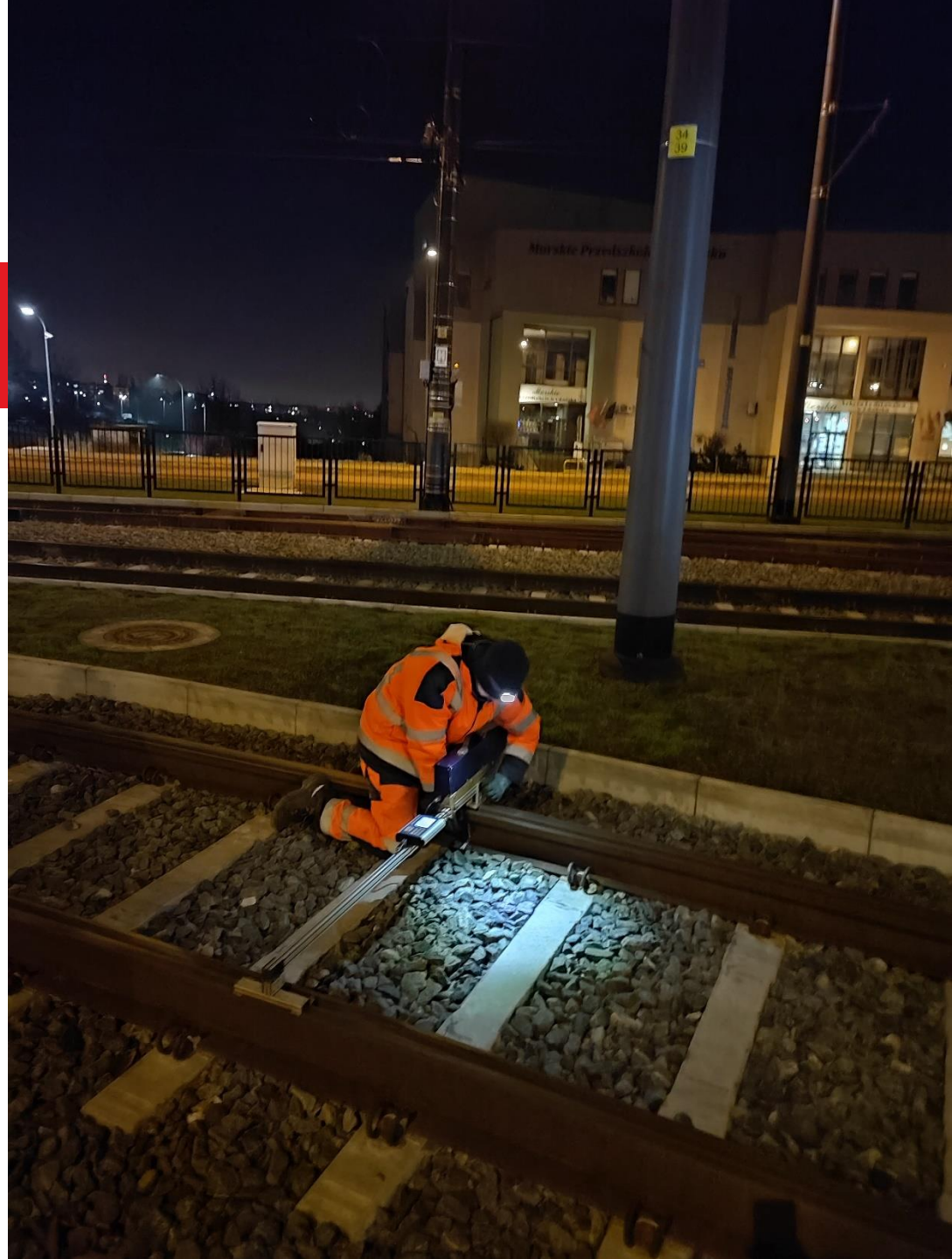
128NG



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

Zużywanie się szyn tramwajowych

Pomiar zużycia szyn





Zużycie szyn

Punkt	R [m]	D [mm]	V [km/h]	A [m/s ²]	Tor 1	Tor 2
1	28	15	15	0.52		stała prędkość
	33	15	15	0.43	stała prędkość	
2	28	15	15	0.52		stała prędkość
	33	15	15	0.43	stała prędkość	
3	200	0	40	0,62	rozpędzanie	
			35	0.47		hamowanie
4	200	0	45	0.78	rozpędzanie	
			40	0,62		hamowanie
5	300	70	50	0.19	hamowanie	rozpędzanie
6	300	70	50	0.19	rozpędzanie	hamowanie
7	200	60	50	0.57	rozpędzanie	hamowanie
8	300	70	60	0.47	stała prędkość	stała prędkość
9	300	70	60	0.47	stała prędkość	stała prędkość



Zmierzone zużycie szyn toku wewnętrznego

	R	V	D	a	Typ szyny	Zużycie szyny	
	[m]	[km/h]	[mm]	[m/s ²]		mm/rok	mm ² /rok
1.1	33	15	15	0.43	60R2 R290GHT	-1.58	-81.9
1.4	28	15	15	0.52	60R2 R290GHT	-1.90	-43.5
2.1	28	15	15	0.52	60R2 R290GHT	-3.32	-62.5
2.4	33	15	15	0.43	60R2 R290GHT	-2.15	-95.9
3.2	200	40	0	0.62	49E1 R260	-2.51	-74.9
3.3	200	35	0	0.47	49E1 R260	-1.88	-52.9
4.2	200	45	0	0.78	49E1 R260	-2.84	-76.5
4.3	200	40	0	0.62	49E1 R260	-1.57	-51.9
5.1	300	50	70	0.19	49E1 R260	-1.54	-39.8
5.4	300	50	70	0.19	49E1 R260	-0.95	-31.2
6.1	300	50	70	0.19	49E1 R260	-1.19	-27.3
6.4	300	50	70	0.19	49E1 R260	-1.30	-31.2
7.1	200	50	60	0.57	49E1 R260	-1.39	-31.7
7.4	200	50	60	0.57	49E1 R260	-1.14	-25.4
8.2	300	60	70	0.47	49E1 R260	-1.67	-33.1
8.3	300	60	70	0.47	49E1 R260	-1.35	-28.5
9.2	300	60	70	0.47	49E1 R260	-2.07	-49.2
9.3	300	60	70	0.47	49E1 R260	-1.36	-31.0



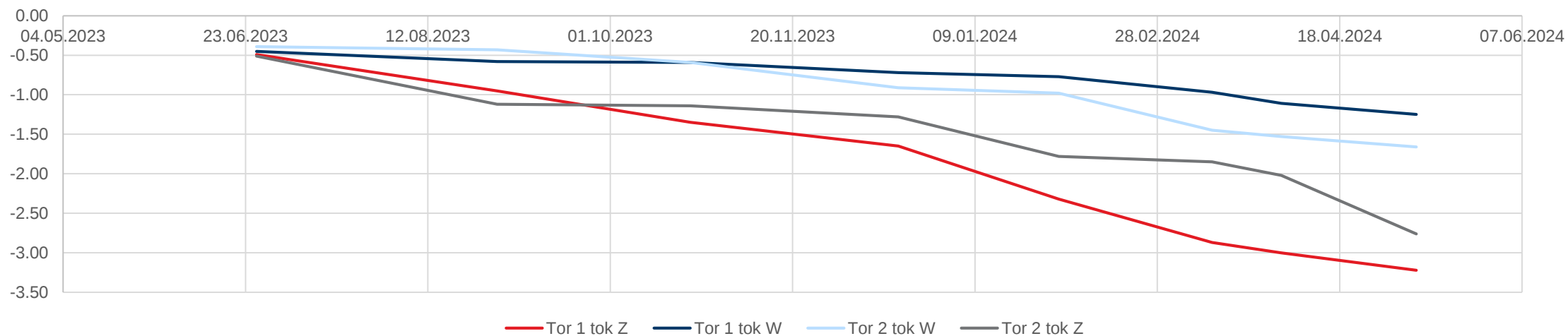
Zmierzone zużycie szyn toku wewnętrznego

	R	V	D	a	Typ szyny	Zużycie szyny	
	[m]	[km/h]	[mm]	[m/s ²]		mm/rok	mm ² /rok
1.2	33	15	15	0.43	60R2 R290GHT	-0.65	-29.9
1.3	28	15	15	0.52	60R2 R290GHT	-0.43	-29.0
2.2	28	15	15	0.52	60R2 R290GHT	-0.87	-46.7
2.3	33	15	15	0.43	60R2 R290GHT	-1.61	-43.2
3.1	200	40	0	0.62	49E1 R260	-0.88	-33.2
3.4	200	35	0	0.47	49E1 R260	-0.35	-15.5
4.1	200	45	0	0.78	49E1 R260	-0.47	-19.9
4.4	200	40	0	0.62	49E1 R260	-0.55	-18.2
5.2	300	50	70	0.19	49E1 R260	-0.38	-19.5
5.3	300	50	70	0.19	49E1 R260	-0.17	-11.4
6.2	300	50	70	0.19	49E1 R260	-0.36	-16.2
6.3	300	50	70	0.19	49E1 R260	-0.30	-14.8
7.2	200	50	60	0.57	49E1 R260	-0.42	-21.2
7.3	200	50	60	0.57	49E1 R260	-0.31	-18.8
8.1	300	60	70	0.47	49E1 R260	-0.21	-12.0
8.4	300	60	70	0.47	49E1 R260	-0.32	-9.3
9.1	300	60	70	0.47	49E1 R260	-0.24	-12.6
9.4	300	60	70	0.47	49E1 R260	-0.30	-15.6



Postępowanie zużyć w czasie

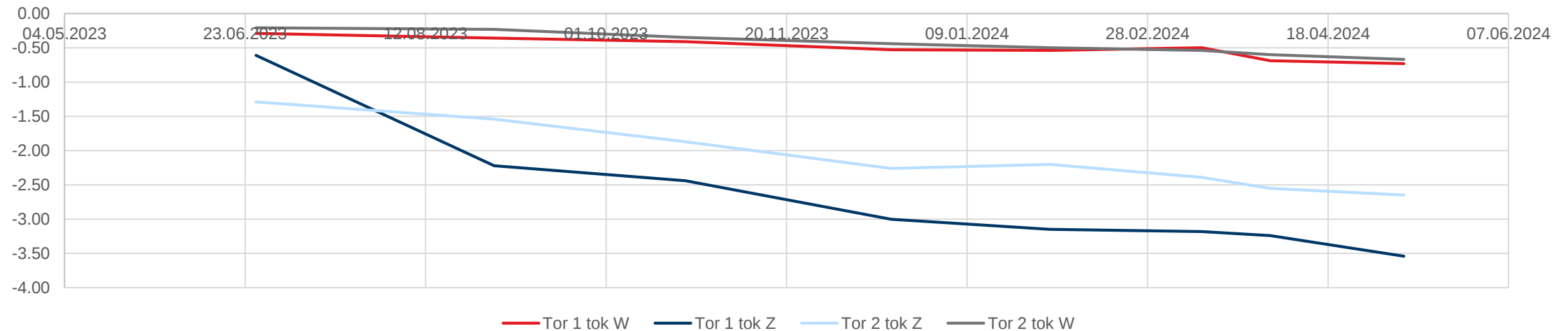
Przekrój pomiarowy nr 2 R25-33





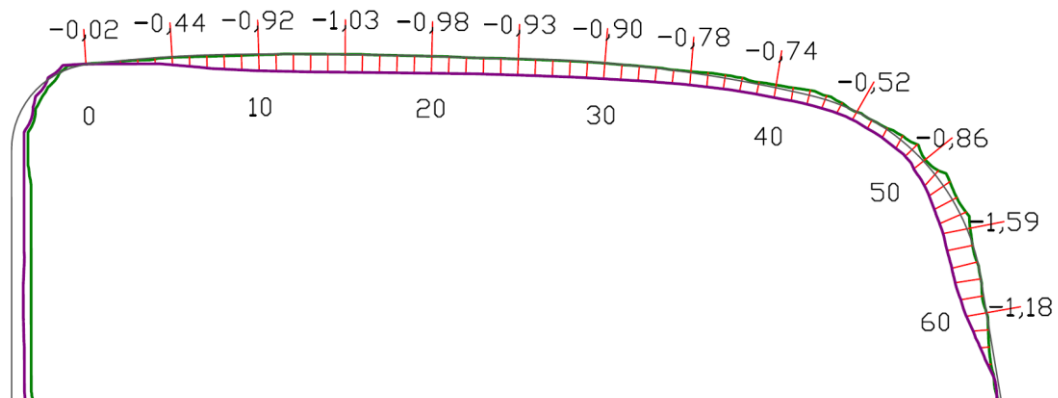
Postępowanie zużyć w czasie

Przekrój pomiarowy nr 4 R25-33

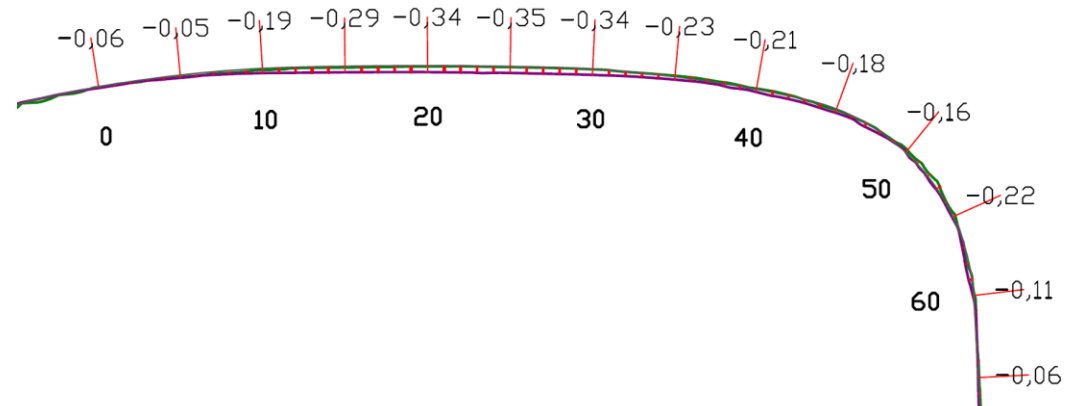




Zużycie toku wewnętrznego po 3,5 Tg



R 28 m



R 300 m

Wnioski

- W cyklu życia inwestycji należy przewidzieć środki na wykonanie wymiany szyn po osiągnięciu zużycia poziomego równego 15 mm lub przewidzieć środki na regenerację szyn po osiągnięciu zużycia poziomego równego 12 mm;
- Na łukach o bardzo małym promieniu oraz w przypadku łuków eksploatowanych przy przyspieszeniu niezerównoważonym $0,6 \text{ m/s}^2$ należy przewidywać wymianę szyn toku zewnętrznego co 15 lat na każdy Tg przeniesionego obciążenia, lub regenerację szyn co 12 lat na każdy Tg przeniesionego obciążenia;
- W przypadku trasy średnio obciążonej wymiany będą niezbędne co 5 lat, w przypadku silnego obciążenia co 2-3 lata;
- Oznacza to, że natychmiast po zakończeniu gwarancji należy przystąpić do prac utrzymaniowych.



Wnioski

Szyny toku wewnętrznego na łukach o bardzo małym promieniu (<50 m) również wykazują duże zużycia boczne. Wymiany będą konieczne co około 10 lat dla średniego natężenia ruchu.

W przypadku szyn zlokalizowanych w strefach rozpędzania i hamowania tramwajów należy dodatkowo brać pod uwagę zmniejszenie żywotności szyn z uwagi na zużycie pionowe.

Pomiary zużycia szyn powinny być przeprowadzane nie rzadziej niż po przeniesieniu 10 Tg obciążenia skumulowanego na łukach o promieniu poniżej 250 m.

Należy zastanowić się nad stosowaniem szyn twardych w przypadku łuków o promieniu poniżej 250 m, przy wartościach przyspieszenia niezrównoważonego przekraczających $0,6 \text{ m/s}^2$.



Finansowanie

Badania zostały sfinansowane w ramach konkursu MINIATURA 7, ogłoszonego przez NCN.

Nazwa projektu: Wpływ ruchu tramwajowego na postępowanie zużyć szyn oraz emisję metali ciężkich do środowiska w okolicy trasy tramwajowej.



Dr inż. Jacek Szmagliński

jacsmag@pg.edu.pl

Dr inż. Kamila Szwackiewicz

kamszwac@pg.edu.pl