

**Grzegorz ZAJĄC**

Instytut Pojazdów Szynowych Wydział Mechaniczny  
Politechnika Krakowska, Kraków

**Stanisław JURGA**

Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne S.A. w Krakowie, Kraków

## **BADANIA TRWAŁOŚCI OBREČZY KÓŁ TRAMWAJOWYCH EKSPLOATOWANYCH W MPK S.A. W KRAKOWIE**

**Słowa kluczowe**

Koło, obręcz, profil obręczy, szyna, monitoring, tramwaje.

**Streszczenie**

Praca porusza zagadnienia związane z badaniami trwałości obręczy kół w tramwajach eksploatowanych w Krakowie. W artykule przedstawiono metodykę oraz wybrane wyniki badań i analiz wykonanych na bazie pomiarów prowadzonych od momentu wprowadzenia do eksploatacji nowoczesnych, niskopodłogowych tramwajów NGT6 na tle wyników pomiarów kół tramwajów 105Na. Przeprowadzone badania trwałości obręczy z wykorzystaniem rozkładu Weibulla wykazały, że obręcze na wózkach napędowych charakteryzują się znacznie większą trwałością w stosunku do obręczy usytuowanych na wózku tocznym. Praktyczna aplikacja wyników badań w systemie eksploatacji taboru tramwajowego Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Krakowie pozwoliła na dobór optymalnych okresów reprofilacji obręczy dla każdego typu tramwaju. Wpłynęło to na poprawę ekonomiki eksploatacji tramwajów oraz dzięki utrzymaniu właściwych parametrów profilu obręczy i jej struktury geometrycznej powierzchni kontaktu z szyną ograniczono w znacznym stopniu emisję hałasu powstającego w wyniku współpracy układu koło–szyna.

## Wprowadzenie

Komunikacja tramwajowa jest niezbędnym ogniwiem masowego transportu pasażerskiego w aglomeracjach miejskich. O jej funkcjonalności, niezawodności decyduje w głównej mierze tabor i jego stan techniczny. O zachowaniu pełnej zdolności eksploatacyjnej całego tramwaju decyduje stan jego głównych zespołów. Zespołem, którego stan techniczny ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ruchu i funkcjonowanie układu pojazd–tor jest zestaw kołowy. Zużycie kół jest podstawowym parametrem, który pozwala na określenie trwałości cząstkowej tramwaju i właściwy dobór procesów obsługowych, zapewniając tym samym prawidłowy przebieg eksploatacji. Z badań eksploatacyjnych wynika, że intensywność zużycia obręczy limituje długość interwału obsługowo-naprawczego, obejmującego reprofiliację obręczy kół tramwaju. Dla zapewnienia optymalnego cyklu obsługowo-naprawczego prowadzi się monitoring zużycia kół i zestawów kołowych. Użytkownik tramwajów, MPK S.A. w Krakowie posiada specjalistyczne wyposażenie (m.in. stanowisko do monitoringu stanu zestawów kołowych PZK oraz specjalizowany sprzęt pomiarowy), pozwalające na bieżącą ocenę stanu kół i zestawów kołowych – wszystkich typów tramwajów [1, 2].

## 1. Metodyka badań

Analiza istniejących norm i przepisów krajowych, związanych z eksploatacją pojazdów szynowych, w odniesieniu do tramwajów wykazała, że do badania i pomiarów kół oraz zestawów kołowych niezbędny jest specjalizowany sprzęt pomiarowy. W tym celu opracowano w MPK Kraków dokumentację i wykonano przyrządy, które temu celowi mogą służyć. Wśród przyrządów pomiarowych znalazły się więc urządzenia do pomiarów średnicy obręczy (w płaszczyźnie kręgów tocznych), parametrów charakteryzujących zużycie: wysokości, grubości obrzeża obręczy koła tramwajowego (na wysokości kontrolnej – 10 mm nad płaszczyzną kręgów tocznych) oraz długości prowadnej (rozstawu punktów przyporu) zestawu kołowego tramwaju. Dane z pomiarów z użyciem tych klasycznych przyrządów zapisywano w kartach pomiarowych, a następnie wprowadzono do bazy danych. Ponadto opracowano założenia do wykonania stanowiska do monitoringu stanu zestawów kołowych. Stanowisko to umożliwia pomiar wszystkich parametrów, charakteryzujących stan zestawu – podczas przejazdu tramwaju (przez stanowisko). Zainstalowane oprogramowanie pozwala na archiwizację danych, niezbędnych do prowadzenia analiz.

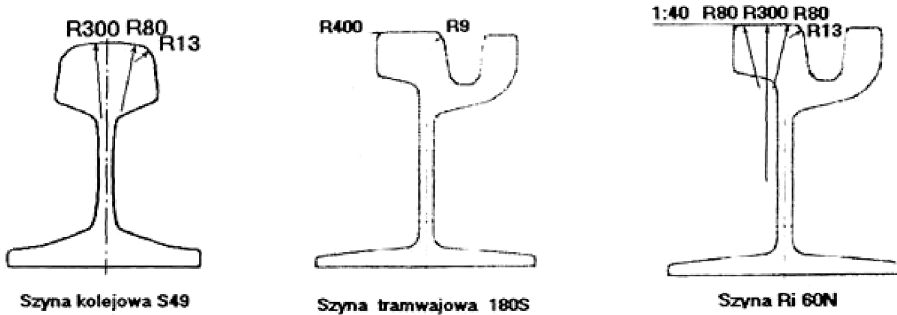
Pomiarów obręczy dokonywano podczas przeglądu (OT-1), który dla tramwajów typu 105 Na jest przeprowadzany co 5000 km, a dla tramwajów NGT6 co 8000 km.

Wykorzystując dane z pomiarów oraz analiz dokonano optymalizacji zakresów działań obsługowo-naprawczych, w odniesieniu do zestawów kołowych tramwajów eksploatowanych w Miejskim Przedsiębiorstwie Komunikacyjnym S.A. w Krakowie.

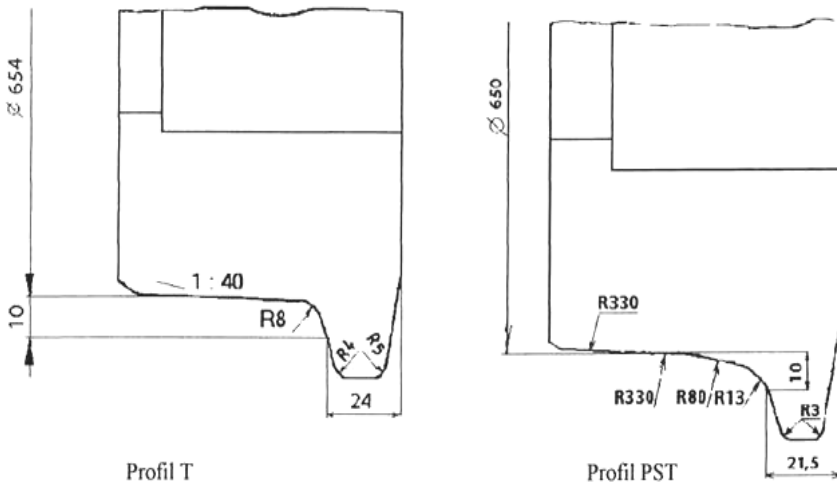
## 2. Charakterystyka stosowanych rodzajów szyn i obręczy kół zestawów kołowych tramwaju

Do budowy nawierzchni stalowej torowisk tramwajowych stosowano różne rodzaje szyn i technologie ich układania. Obecnie przyjęto, że na torowiska wydzielone stosuje się szyny typu S49 (układane z pochyleniem 1 do 40), zaś na torowiska zabudowane w jezdni, szyny rowkowe Ri60N.

Podstawowe wymiary i kształt główki szyn S49, Ri60N i dla porównania dawniej stosowanej szyny rowkowej 180S przedstawiono na rys. 1 oraz odpowiadające im profile obręczy kół tramwajowych zaprezentowano na rys. 2 [3].



Rys. 1. Widok ogólny przekrojów szyn eksploataowanych w torowiskach tramwajowych w Krakowie



Rys. 2. Widok ogólny zarysu profilu obręczy tramwajowych stosowanych w MPK S.A. w Krakowie

Na przedstawionych przekrojach poprzecznych szyn pokazano wszystkie charakterystyczne wymiary promieni zaokrąglenia i kształtu główki szyny oraz powierzchni tocznej i obrzeża obręczy koła tramwajowego. Mające istotny wpływ na charakter współpracy z profilem kół tramwajowych i propagację ich zużycia.

W tab. 1 i 2 zamieszczono dane porównawcze, odnoszące się do odpowiadających sobie powierzchni główki szyn i profilu obręczy koła tramwajowego oraz materiałów wykorzystywanych do ich wytwarzania.

Tabela 1. Charakterystyka szyn stosowanych w torowiskach tramwajowych w Krakowie

Typy szyn			
Wyszczególnienie	Szyna <b>kolejowa</b>	Szyna <b>tramwajowa</b> z rowkiem	
Typ	S49	180S	Ri6ON
Kształt powierzchni tocznej	R13 R80 R300	R9	R13 R80 R300
Łuk między powierzchnią toczną a obrzeżem (zaokrąglenie obrzeża) [mm]		łukiem R400	1:40

Tabela 2. Charakterystyka kształtu i wymiarów wybranych kół

Typ profilu koła tramwajowego		
Wyszczególnienie	Koła typu T	Koła typu PST
Kształt powierzchni tocznej	Prosty, pochylenie 1:40	krzywoliniowy R13,R80,R330,R3
Łuk między powierzchnią toczną a obrzeżem (zaokrąglenie obrzeża) [mm]	R8	R13
Średnica toczna (nominalna) [mm]	654	650

Z tribologicznego punktu widzenia niezwykle ważny jest dobór materiałów stosowanych na obręcze kół. Dotyczy to szczególnie składu chemicznego, wytrzymałości na rozciąganie oraz twardości. Szczególnie twardość jest istotnym parametrem, ponieważ stosunek twardości materiału obręczy do szyny powinien wynosić w granicach 1,2, wtedy występuje jednakowe zużycie obu elementów [4]. Wyniki badań przeprowadzonych przez Prinza [5] potwierdzają tę zasadę, że w przypadku gdy twardość materiału obręczy jest większa (ok. 20%) od twardości szyny, wówczas zużycie obu współpracujących elementów jest najmniejsze. W tab. 3 przedstawiono zestawienie podstawowych parametrów materiałów stosowanych na obręcze i szyny pojazdów szynowych.

Tabela 3. Zestawienie podstawowych parametrów, materiałów stosowanych na obręcze i szyny w komunikacji tramwajowej

Lp.	Wyszczególnienie	Obręcze kół T i PST	Szyny		
			S49	180S,180P	Ri60N
1	Materiał (Gatunek stali)	P70	St70P	St80P	900A (260)*
2	Wytrzymałość na rozciąganie $R_a$ [MPa]	1000-1200	min 680	min 790	min 880
3	Wydłużenie $A_5$ [%]	min 10 %	min 14 %	min 10%	min 10%
4	Twardość [HB]	300 - 362	nie określa się (poniżej 300)	nie określa się (poniżej 300)	260 - 300
5	Skład chemiczny: C [%] Mn [%] Si [%] Pmax [%] Smax [%] (P+S)max [%]	0,65–0,75 0,65–0,95 0,15–0,4 0,04–0,07	0,4–0,6 0,8–1,25 0,05–0,35 0,05–0,05	0,53–0,66 0,85–1,15 max 0,4 0,04 0,04 0,06	0,6–0,8 0,85–1,15 max 0,4 0,04 0,04 0,06
6	Norma	PN-K-92016	PN-84/H-93421	PN-92/H-93440	UIC860 * wg EN 13674-1/2003

Z analizy wartości twardości materiałów zawartych w tabeli 3 wynika, że materiał P70 spełnia warunki twardości materiału obręczy w stosunku do twardości materiału szyn.

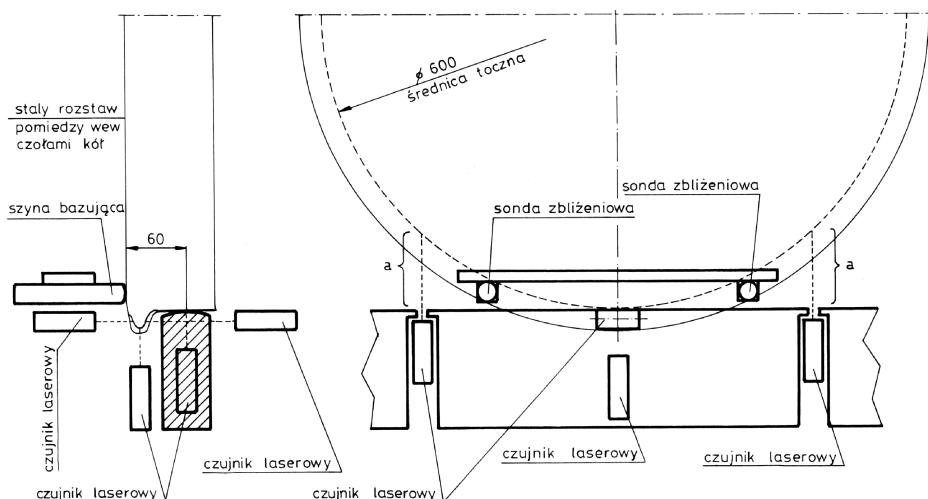
### 3. Stanowisko do monitoringu stanu zestawów kołowych

W celu wyeliminowania wykonywania pracochłonnych czynności związanych z oceną, na podstawie pomiarów przyrządami ręcznymi (klasycznymi) stanu technicznego zestawów kołowych sporządzono założenia, zaprojektowano i wykonano stanowisko laserowe do pomiarów zestawów kołowych tramwajów (PZK), umożliwiające monitoring zestawów kołowych tramwajów. Pomiar na tym stanowisku odbywa się automatycznie podczas przejazdu pociągu tramwajowego z prędkością do 5 km/h. Poglądowy schemat pomiarowy stanowiska PZK przedstawiano na rys. 3.

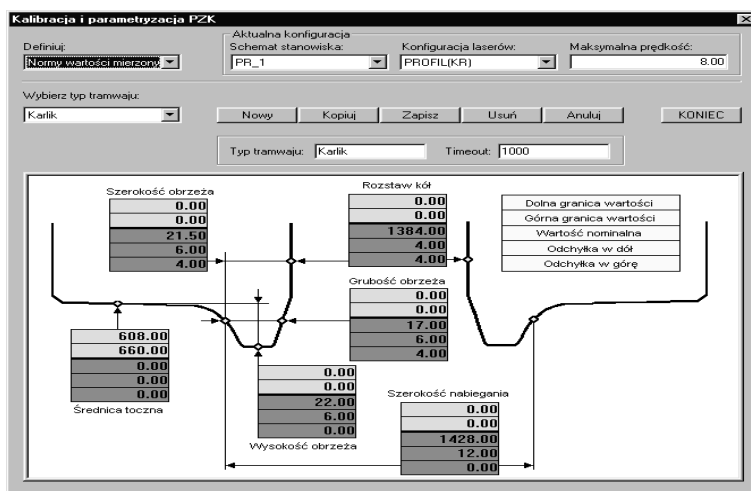
Przykładowy arkusz wyników pomiarów (na ekranie monitora stanowiska diagnostycznego PZK), uzyskanych w trakcie przejazdu tramwaju przez stanowisko pokazano na rys. 4. W trakcie pomiaru prezentowane są dane z bieżących pomiarów (podczas przejazdu tramwaju) oraz porównawczo wyniki z poprzedniego pomiaru (rys. 4).

W wyniku analizy danych pomiarów uzyskano wyniki, pozwalające na stworzenie prognozy, a w konsekwencji wykreślenie przebiegów funkcji prawdopodobieństwa poprawnej pracy, dystrybuanty, gęstości i intensywności uszkodzeń dla kół tramwajów NGT6 oraz dla porównania tramwaju 105Na.

Zamieszczone wykresy przebiegów funkcji dotyczą obręczy nie poddawanych wymianie lub reprofilacji.

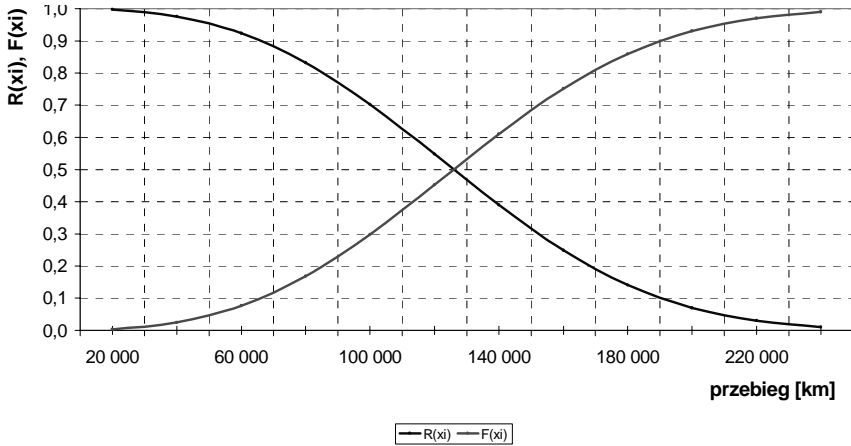


Rys. 3. Schemat poglądowy układu pomiarowego stanowiska PZK



Rys. 4. Widok arkusza pomiarowego stanowiska PZK w trakcie pomiarów zestawów kołowych

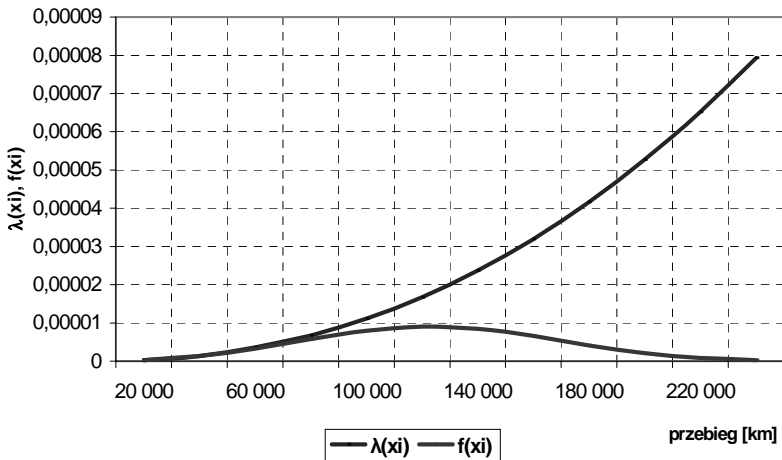
Rys. 5 przedstawia wykres przebiegu funkcji prawdopodobieństwa poprawnej pracy  $R(x)$  i dystrybuanty  $F(x)$  dla obręczy tramwajów NGT6.



Rys. 5. Wykresy funkcji prawdopodobieństwa poprawnej pracy  $R(x_i)$  i dystrybuanty  $F(x_i)$  obręczy koła tramwaju NGT6

Mediana dla przebiegów funkcji pokazanych na rys. 5 wynosi:  $m_e = 124\,188$  [km].

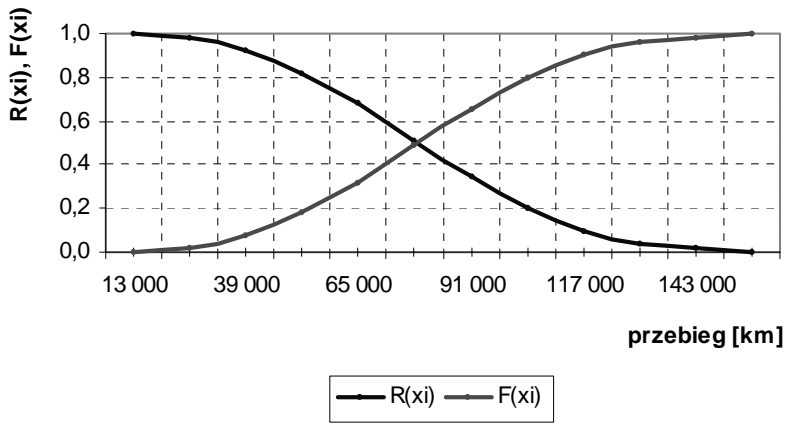
Na rys. 6 również dla tramwajów NGT6 pokazano wykres przebiegu funkcji intensywności uszkodzeń  $\lambda(x_i)$  oraz gęstości uszkodzeń  $f(x_i)$ .



Rys. 6. Wykresy funkcji gęstości  $f(x_i)$  i intensywności uszkodzeń  $\lambda(x_i)$  obręczy koła tramwaju GT6

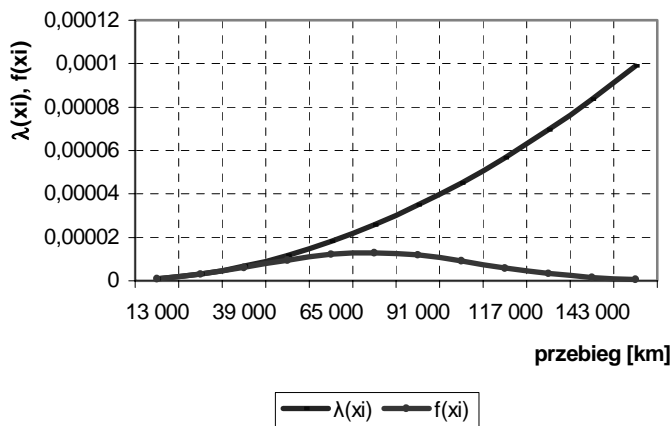
Dla tramwajów NGT6 moda wynosi:  $x_{ex} = 123\,102$  [km], natomiast wartość oczekiwana:  $E(X) = 124\,589$  [km].

Rys. 7 przedstawia wykres przebiegu funkcji prawdopodobieństwa poprawnej pracy  $R(x_i)$  i dystrybuanty  $F(x_i)$  dla obręczy tramwajów typu 105Na.



Rys. 7. Wykresy funkcji prawdopodobieństwa poprawnej pracy  $R(x_i)$  i dystrybuanty  $F(x_i)$  obręczy koła tramwaju 105Na

Mediana dla przebiegów funkcji zamieszczonych na rys. 7. wynosi:  $m_e = 78\,328$ [km]. Funkcję gęstości uszkodzeń  $f(x_i)$  oraz intensywności uszkodzeń  $\lambda(x_i)$  dla tramwajów 105Na przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Wykresy funkcji gęstości  $f(x_i)$  i intensywności uszkodzeń  $\lambda(x_i)$  obręczy koła tramwaju 105Na

Dla obręczy tramwajów typu 105Na moda wynosi:  $x_{ex} = 77\,018$  [km], natomiast wartość oczekiwana:  $E(X) = 79\,169$  [km].

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania trwałości obręczy kół tramwajowych w Miejskim Przedsiębiorstwie Komunikacyjnym S.A. w Krakowie pozwoliły na optymaliza-



cję długości interwałów międzyprzebiegów, obejmujących reprofilację obręczy, dostosowując je do rzeczywistych warunków eksploatacji tramwajów. Wprowadzony system indywidualizacji zabiegów reprofilacji kół dla danego tramwaju, a nawet wózka, pozwolił również na zwiększenie ekonomiki eksploatacji zestawów kołowych tramwajów oraz dzięki utrzymywaniu właściwych parametrów profilu obręczy, uzyskano zmniejszenie oddziaływań wibroakustycznych generowanych przez tabor tramwajowy.

### **Bibliografia**

1. Jurga S.: Metoda monitoringu zużycia kół jezdnych pojazdów szynowych, Praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, Kraków 2002.
2. Zwierzyk-Klimek I.: Analiza zużycia i kosztów eksploatacji zestawów kołowych tramwajów, Praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, Kraków 2007.
3. Dokumentacja techniczna szyn tramwajowych – Warunki Techniczne, MPK S.A. w Krakowie.
4. Piec P.: Analiza zjawisk kontaktowych w elementach pojazdów szynowych. Biblioteka Problemów Eksploatacji ITeE, Radom 1999.
5. Broś J., Czapliński J., Ścieszka S.: Badania charakterystyk cierno-zużyciowych tworzyw hamulcowych w warunkach modelowych. Zagadnienia Eksploatacji maszyn 4/28 1976.

Recenzent:  
**Antoni JOHN**

### **Durability investigation of tram wheel tyres operated I the MPK Inc., Cracow**

#### **Key-words**

Wheel, wheel tyres, tyres shape, rail, monitoring, trams.

#### **Summary**

In the paper, problems dealing with the durability investigation of wheel tyres of trams operated in Cracow, Poland were brought up. A methodology and selected results of investigations and analyses carried out on the basis of tram wheel measurements were presented. The tram wheel measurements had been taken from the moment when the modern, low-floor, NGT6 trams were put into operation. The analyses were carried out against the background of 105Na tram wheel measurements. As show the wheel tyre life, tests carried out using the

Weibull distribution, the wheel tyres of drive bogies are distinguished by a greater value of their service life in comparison with the service life of the run bogie wheel tyres. Application of the test results in the system of tram technical operation of the Kracow Municipal Communication Enterprise made a choice of the optimal period between two consecutive wheel tyre tread surface re-profiling for every type of tram possible. It influenced the tram technical operation economy improvement and limited the noise generated by the wheel-rail mating pair to a considerable degree, due to the fact, that the right parameters of the wheel tyre profile and the geometry structure of the wheel-rail contact zone were maintained.