

Stanisław JURGA, Iwona ZWIERZYK-KLIMEK

## DIAGNOSTYKA KÓŁ POJAZDÓW SZYNOWYCH, W ASPEKCIE POPRAWY ICH TRWAŁOŚCI, W NOWOCZESNYCH SYSTEMACH TRANSPORTU MIEJSKIEGO

**Streszczenie.** Zestawy kołowe w nowoczesnych, niskopodłogowych tramwajach wymagają częściej kontroli, ponieważ należą one do tych elementów, które decydują w największym stopniu o bezpieczeństwie eksploatowanego pojazdu i jednocześnie podlegają największym obciążeniom. Skonstruowanie i zainstalowanie w zajezdniach specjalistycznego stanowiska do bezstykowego pomiaru parametrów geometrycznych układów jezdnych zastąpi dotychczasowy, ręczny pomiar kół suwmiarkami.

## RAIL VEHICLES WHEELS DIAGNOSTIC, AS REGARDS CORRECTION OF DURABILITY, IN MODERN SYSTEMS OF URBAN MEANS OF TRANSPORT

**Summary.** Wheels sets in modern, low-floor trams need regular control because they belong to a kind of elements that have the biggest impact for safety of used vehicle and also need to stand high weigh per axle. Constructing and installing special work centers in depots for measuring non-contactable geometric parameters of wheels systems will replace the present method of wheels measurement by means of a caliper.

### 1. WSTĘP

Gwałtowny rozwój sieci transportu samochodowego, lotniczego, z systemami satelitarnej kontroli wydawał się być zapowiedzią końca rozwoju transportu szynowego. Jednak mimo to, rozpoczął się nowy okres rozwoju technik przewozów szynowych. Wprowadzono przewozy kontencrowe, zwiększono dopuszczalne naciski na oś wagonów towarowych oraz zwiększono prędkości przewozów pasażerskich, co podniosło atrakcyjność transportu szynowego w stosunku do innych środków transportu.

Wszystkie te zmiany, a dodatkowo względy ekologiczne oraz bezpieczeństwa, były przyczyną renesansu transportu kolejowego jako integralnej części zsynchronizowanego systemu transportowego. Konkurencja na rynku techniki wymaga zwiększenia dokładności i trwałości produktów przy jednoczesnym podniesieniu wydajności produkcji i obniżeniu jej kosztów. Producenci prześcigają się w opracowywaniu nowych metod. Ważne jest, aby maszyny i urządzenia były użytkowane przez jak najdłuższy okres czasu oraz aby przeglądy okresowe mogły być wykonywane jak najrzadziej. Wyznaczniki te kierują wszystkimi dzia-



łami przemysłu, ponieważ każda przerwa w użytkowaniu urządzenia czy maszyny naraża właściciela na dodatkowe koszty.

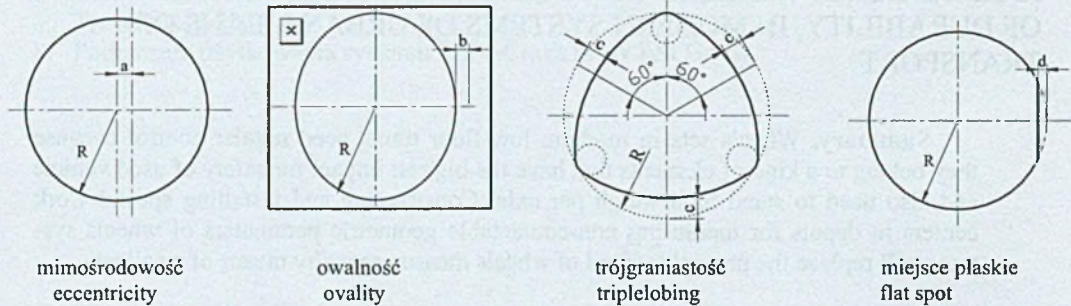
Zawężając obszar obserwacji do transportu, można stwierdzić, że na trwałość pojazdów wpływa wiele czynników, a najważniejsze z nich to: konstrukcja, technologia i system eksploatacji pojazdu. Dokładna analiza z tego zakresu opiera się na informacjach uzyskanych podczas:

- przeglądów technicznych,
- pomiarów kontrolnych,
- badań diagnostycznych, czyli rozpoznawanie problemów stanu technicznego pojazdów bez ich demontażu lub podczas częściowego demontażu, nie naruszającego zasadniczego funkcjonowania połączeń elementów.

Badania diagnostyczne w eksploatacji pojazdów obejmują nie tylko zagadnienia z zakresu kontroli i oceny stanu technicznego, ale także prognozowanie trwałości i rezerwu sprawnej pracy oraz lokalizację uszkodzeń.

W przypadku pojazdów szynowych zestawy kołowe należą do tych elementów, które decydują w największym stopniu o bezpieczeństwie eksploatowanego pojazdu i jednocześnie podlegają największym obciążeniom.

Zwiększenie prędkości i dopuszczalnych nacisków na oś spowodowało znaczny, nawet kilkakrotny, wzrost obciążenia zestawów kołowych, a także samego toru. Nierównomierny rozkład naprężeń na obwodzie koła jest przyczyną uplastycznienia i nierównomiernego zużycia, co może być przyczyną poligonizacji kół (co oznacza, że powierzchnia toczna koła przyjmuje kształt wielokąta z wieloma wgłębieniami i wzniesieniami na obwodzie, a różnica promieni na kręgu tocznym dochodzi nawet do 3 mm), a następnie zniszczenia obręczy.



Rys. 1. Poligonizacja kół pojazdów szynowych  
Fig. 1. Rail vehicles wheels traversing

Powstające w trakcie eksploatacji (np. podczas przejazdu przez krzyżownicę lub przez niegładkie połączenie szyn) nierówności powierzchni koła, płaskie miejsca lub nalepy są przyczyną uderzeń kół o szynę, co powoduje niekorzystne oddziaływania dynamiczne zarówno na szynę, jak i na samo koło. Warunkiem bezpiecznego użytkowania zestawów są ich okresowe przeglądy i remonty. Zatem, systematyczna kontrola geometrii kół tocznych jest niezbędnym elementem diagnostyki pojazdów szynowych, zapewniającym wczesne wykrywanie nadmiernego zużycia kół, a pośrednio zapobiegając zużyciu toru. Regeneracja zestawów kołowych kolejowych i tramwajowych jest niezbędnym procesem podczas długotrwałej, prawidłowej eksploatacji pojazdów szynowych.

Podstawowym problemem jest właściwa klasyfikacja zestawu i decyzja o tym, czy ma on zostać poddany regeneracji, a jeżeli tak, to w jakim stopniu (z jakimi parametrami). Racjonalne planowanie i prowadzenie prac z zakresu utrzymania taboru wymagają gromadzenia i analizy danych o przebiegu zużywania się kół tocznych. W celu uniknięcia zbędnych czynności,



zwiększenia liczby kontrolowanych pojazdów stworzono koncepcję stanowiska do ciągłego pomiaru parametrów geometrycznych pojazdów szynowych, znajdujących się w ruchu.

## 2. CELOWOŚĆ PRZEDSIĘWZIĘCIA ORAZ OCZEKIWANE EFEKTY EKONOMICZNE I SPOŁECZNE

Na podstawie przeprowadzonych badań rynku krajowego i zagranicznego (głównie zachodniego) można zaobserwować wyraźny wzrost zainteresowania ochroną środowiska naturalnego oraz ekologicznymi aspektami techniki i technologii. Szczególnym zainteresowaniem objęte są zagadnienia związane z zanieczyszczaniem środowisk miejskich, w tym spalinami pochodzącymi z silników spalinowych pojazdów samochodowych. Głównym atrybutem komunikacji miejskiej, w sensie aspektów ekologicznych i „przewagi” nad transportem samochodowym, jest bez wątpienia brak emisji spalin oraz wysoka sprawność.

Eksploatacja nowoczesnego taboru niesie ze sobą nowe wymagania w zakresie eksploatacji i utrzymania, co winno znaleźć odzwierciedlenie w zastosowaniu niezbędnego wyposażenia diagnostycznego w zajezdniach tramwajowych. Głównym wymaganiem, stawianym tym urządzeniom, jest zapewnienie wysokiej dokładności pomiarowej zestawów kołowych, pod warunkiem uzyskania optymalnych tolerancji wymiarowo - kształtowych tych zestawów. Jako parametry „dokładnościowe” kół jezdnych przyjmuje się:

- różnicę średnic (kręgów tocznych) zestawu kołowego,
- bicie promieniowe na kręgu tocznym,
- szerokość nabiegania (długość prowadną) - kół zestawu,
- wysokość obrzeża,
- grubość obrzeża.

Stawiane wymagania sprawiają, że zwiększa się częstotliwość diagnozowania parametrów geometrycznych kół jezdnych oraz ich regeneracji w przypadku wykrycia niedokładności. Praktyka wykazuje konieczność kontroli kół jezdnych z częstotliwością kilku razy w miesiącu. Jednym z podstawowych wymagań, wynikających z wprowadzania do eksploatacji nowoczesnego, niskopodłogowego taboru tramwajowego, jest konieczność wzmożenia kontroli parametrów geometrycznych kół jezdnych, przy zachowaniu zasady ograniczenia przestoju taboru, co jest z kolei podyktowane przesłankami ekonomicznymi.

Znajomość tej problematyki wskazała na celowość opracowania konstrukcji specjalistycznego stanowiska do bezstykowego pomiaru parametrów koła jezdnego pojazdu tramwajowego, tzn. pomiaru, który odbywać się będzie automatycznie, w trakcie przejazdu pojazdu przez stanowisko. Jednocześnie przeprowadzona w kraju i za granicą (Francja, Rosja, Niemcy, Węgry, Czechy, Słowacja) analiza wykazała, że celowy byłby zakup urządzenia praktycznie do każdej zajezdni pojazdów szynowych. Spełnienie tego warunku umożliwi częstą diagnostykę pojazdów szynowych, a w konsekwencji obróbkę mechaniczną układów jezdnych w momencie najbardziej odpowiednim – tj. w sytuacjach, gdy jest to optymalne z punktu widzenia bezpieczeństwa oraz ekonomiki eksploatacji kół pojazdów.

## 3. MECHANIZM ZUŻYWANIA SIĘ KÓŁ TRAMWAJOWYCH

Zadaniem zestawu kołowego pojazdu szynowego, w odróżnieniu od pojazdów drogowych, jest nie tylko jego unoszenie na drodze, ale także jego samoczynne prowadzenie i to bez pomocy czynnika ludzkiego. Aby zestaw mógł spełniać tego typu zadanie, musi mieć do tego



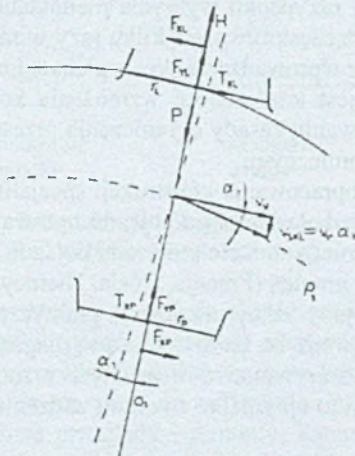
stworzony odpowiedni zarys zewnętrznej części obręczy koła nazywany **profilem tocznym**. Profil ten tworzy celowo opracowana krzywizna, składająca się z dwóch głównych części:

- **Płaszczyzna toczna:** specjalna część nośna profilu tocznego, której głównym zadaniem jest unoszenie i prowadzenie zestawu kołowego, a tym samym całego pojazdu podczas jazdy po torze prostym, charakteryzującym się określonymi odchyłkami kierunku. Dla tego zadania była ona od początku istnienia komunikacji kolejowej odpowiednio profilowana, uzyskując bardzo szybko profil powierzchni stożkowej dla umożliwienia, przy poprzecznym przesunięciu zestawu, dokładniejszego obtaczania się kół podczas przejazdu po łuku. Niewystarczająca zdolność poprzecznego prowadzenia zestawu, stożkową powierzchnią po łuku toru i na zwrotnicach, z jednoczesną potrzebą zagwarantowania bezpieczeństwa prowadzenia pojazdu, również na prostych odcinkach toru, skutkowałą wypracowaniem istotnej zmiany profilu tocznego w jego części wewnętrznej, zwanej obrzeżem.

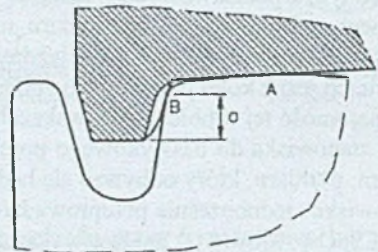
- **Obrzeże:** ta część profilu tocznego zestawu służy przede wszystkim do wykorzystania takiego poprzecznego układu sił działającego na zestaw, który powodowałby jednoznaczne prowadzenie zestawu na wszystkich wyraźnych zmianach kierunkowych toru, jakimi są łuki czy zwrotnice. Istotną rolę obrzeże pełni w miejscach przerwania krawędzi prowadzącej, w miejscach krzyżowania się torów, na zwrotnicach. W tych sytuacjach kontakt obrzeża z szyną dokonuje się z poślizgami, występują duże siły o charakterze sił tarcia.

Przejście, z powierzchni tocznej na obrzeże dokonuje się po łuku, o promieniu większym aniżeli promień zaokrąglenia krawędzi szyny. Przejście to łączy się ze stromą częścią stożkową obrzeża, charakteryzującą się dużym kątem pochylenia względem osi zestawu.

W wyniku wzajemnej współpracy, z zaokrąglonymi główkami szyn, stożkowa część powierzchni tocznej zużywa się szybko, do bardziej stałego profilu (wskutek wzdłużnych i poprzecznych poślizgów, w miejscu kontaktu). Opisane zjawiska pojawiają się nie tylko przy jeździe po łuku, ale również w czasie jazdy na wprost. Dzieje się tak w wyniku działania sił bezwładności i momentów, wywołanych niespokojnym ruchem zestawu, w płaszczyźnie szyn. Sytuację powstawania poślizgu, a tym samym poślizgowych sił pokazuje rys.2.



Rys. 2. Siły poślizgowe w zestawie kołowym  
Fig. 2. Skid forces in wheels set



Rys. 3. Dwupunktowy styk koła z szyną  
Fig. 3. Double point contact of wheel with rail

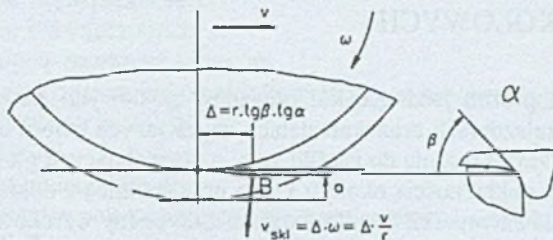
Najintensywniejsze skutki tarcia powstają na stromiznie obrzeża, w przypadku gdy geometryczny profil zarysu tocznego oraz główki szyn stwarza warunki do powstawania tzw. dwupunktowego styku koła z szyną (rys. 3). Znaczącą i często dominującą kulminacją tego zjawiska jest poślizg. Wartość relatywnego poślizgu równa się wówczas bezpośrednio wartości



kąta najazdu  $\alpha$ . Wielkość poślizgu w miejscu najbardziej stromym obrzeża jeszcze się po większa (przez pochylenie płaszczyzny styku).

Dotychczasowe rozważania miały na celu wyjaśnienie mechanizmu zużywania się kół zestawów pojazdów kolejowych, który jest uwarunkowany zasadniczymi funkcjami zestawu. Z jazdą zestawu na obrzeżach wiąże się jeszcze ważniejsze zjawisko. Znaczny średni nacisk na wierzchołek obrzeża powoduje jego spęczanie, które dodatkowo jest potęgowane nieprawidłowym ukształtowaniem dna rowka, skutkiem działania obrzeży wcześniej jadących kół. Dlatego też w obrębie wierzchołka obrzeża jest spęczane - rozszerza się.

Związana jest z tym istotna zmiana współpracy obrzeża z szyną na łuku toru, w którym przednia oś zajmuje wobec szyny duży kąt najazdu. Powstała zmianę kształtu obrzeża zwiększa znacząco efektywne pochylenie obrzeża, które decyduje o "wyprzedzaniu" drugiego punktu styku koła z szyną (rys. 4).



Rys. 4. Siły poślizgowe występujące przy współpracy koło – szyna i dużym kącie najazdu  
Fig. 4. Skid forces during wheels work – high angle of track on for the rail

W tym punkcie pojawia się znaczna „prędkość poślizgowa” oraz siły tarcia, z którymi jest związany proces zużycia zarówno obrzeża, jak i krawędzi wodzącej szyny. Używanie zestawów, które mają różne wysokości obrzeży, a dodatkowo posiadają trwałe zmiany kształtu w rejonie ich wierzchołków, gdzie zasadniczo przebiega najszybszy proces ścierania, stwarza warunki do tworzenia drugich rowków na bokach główek szyn. Rowki te szlifują przede wszystkim koła z obniżonymi obrzeżami, których w eksploatacji jest najwięcej. W wyniku tego koła z nowymi wyższymi obrzeżami współpracują z kształtowo nie odpowiadającym im profilem główki szyny, obrzeża zaś jeżdżą po dolnej części rowka - efektem czego proces ich zużywania jeszcze się przyspiesza.

W oparciu o powyższe można stwierdzić, że w warunkach eksploatacji zestawów tramwajowych występują dalsze istotne okoliczności, wskutek których, oprócz promieniowego i bocznego zużycia profilu tocznego, mamy do czynienia również ze zużyciem wysokościowym obrzeża. Te zjawiska nasilają się szczególnie na łukach, o małych promieniach, w wyniku dużych kątów najazdu pierwszego zestawu wózka, z czym przy eksploatacji zestawów kolejowych w ogóle się nie spotykamy. Częściowym rozwiązaniem problemu jest dokładna i częsta korekta profilu tocznego. Przejście na formowane z krzywizn bieżnie toczne przynosi efekt, przede wszystkim w poprawie własności jezdnych na odcinkach prostych oraz własności wodzących w łukach o większym promieniu. Okazuje się, że istotną rolę spełnia kształt obrzeża, które jest w większości używanych profili stożkowe, prawie aż do jego wierzchołka. Decydujący udział w zużyciu zestawu przy tym mają:

- spęczanie obrzeża w wyniku jazdy po jego wierzchołku,
- zanieczyszczenia, które z rowków szyn dostają się na pracujące części obrzeża, zwiększając tym samym współczynnik tarcia,
- duże kąty najazdu zestawu przy jeździe po łukach o małych promieniach,
- różnorodność typów eksploatowanych szyn różniących się profilem główek oraz zaokrągleniem krawędzi wodzącej.



Perspektywicznym rozwiązaniem wydaje się usunięcie z eksploatacji krzyżówek szyn z obniżoną głębokością rowka, a to z kolei wymaga szerszych obręczy. Pewną poprawę przyniosłoby wkładanie w tych miejscach, do rowków, gumowych wkładek. Bieżącą eksploatacyjną naprawą może być np. czyszczenie rowków z nieczystości, które spadły z powierzchni drogi.

Istotnej poprawy należy oczekiwać jednak przez wprowadzenie smarowania obrzeża środkami grafitowymi, zmiany budowy wózków pojazdów tramwajowych, np. z zestawami, kołami, ustawianymi radialnie, a przede wszystkim przez obniżenie nacisków osi (kół) na szynę.

#### 4. METODY POMIARÓW PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH ZESTAWÓW KOŁOWYCH

Od lat do oceny profilu jezdnego kół pojazdów szynowych zarówno kolejowych, jak i tramwajowych, w zajezdniach oraz warsztatach naprawczych taboru używa się specjalnych suwmiarek, przykładanych ręcznie do profilu koła, a pozwalających głównie określić grubość i wysokość obrzeża z dokładnością około 0,1 mm oraz średnicę z dokładnością około 1 mm, w miejscu przyłożenia suwmiarki. Obok suwmiarek, do oceny wzrokowej stanu profilu jezdnego używa się blaszanych szablonów, wykonanych jako negatyw profilu nominalnego, dodatkowo zaś szczelinomierzy listkowych, bądź drutowych, za pomocą których można w przybliżeniu również określić podstawowe parametry profilu jezdnego koła.

Rozwój obrabiarek do regeneracji profilu jezdnego, a w szczególności tokarek podtorowych sterowanych numerycznie, wymusił wyposażenie ich w głowice do bazowania suportów względem powierzchni bazowych koła, a w drugiej kolejności, w możliwość „zdzjęcia” parametrów zużytego profilu koła zarówno przed, jak i po obróbce, zregenerowanego profilu. Wymaga się, aby koła znajdujące się na jednej osi miały jednakowe średnice, jak również jednakową średnicę miały wszystkie koła napędowe danej jednostki torowej (dopuszczalne średnice zależą od szybkości rozwijanej przez pojazd).

Od paru lat, również w zajezdniach i warsztatach tramwajowych w Polsce, instaluje się obrabiarki podtorowe CNC. Nowoczesne tramwaje na wydzielonych torowiskach, prostych bądź o dużych promieniach łuków, rozwijają szybkość do 80 km/h. Stąd i tutaj wymagania co do jednakowych średnic kół osadzonych na wspólnej osi i wszystkich kół napędowych składu zostały zawężone i muszą podlegać okresowej, szybkiej kontroli. Podobnie, pozostałe istotne parametry, jak grubość i wysokość obrzeża, czy rozstaw wewnętrznych powierzchni bazowych kół.

Gwałtowny rozwój elektroniki w ostatnich latach, a szczególnie techniki komputerowej, stworzył nowe możliwości z zakresu pomiarów bezdotykowych, z jednoczesnym podniesieniem jakości tych pomiarów. Pomiar z zastosowaniem głowic laserowych polega na skanowaniu mierzonej powierzchni promieniem lasera. Dzięki brakowi bezpośredniego kontaktu narzędzia pomiarowego i powierzchni mierzonej nie występuje zjawisko zużywania się narzędzia pomiarowego, co umożliwia długotrwałe posługiwanie się nim bez obaw o dokładność pomiaru.

Dotąd zainstalowano pojedyncze egzemplarze, gdyż ich koszt przekracza znacznie koszty zakupu i zabudowy ciężkiej tokarki podtorowej CNC. Są to jednak stanowiska przeznaczone w głównej mierze dla pojazdów kolejowych, co wynika ze sposobu dokonywanego pomiaru oraz rodzaju mierzonych parametrów, natomiast zasadniczą różnicą, cechującą pojazdy szynowe tramwajowe w stosunku do kolejowych, jest sposób zużycia się profilu jezdnego, wynikający z innego charakteru współpracy koła z szyną.



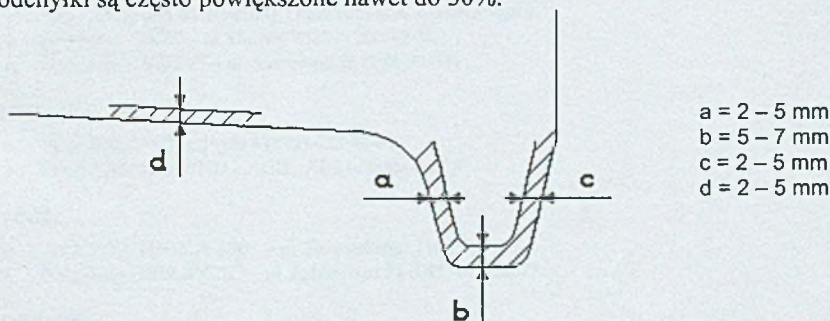
## 5. WYMAGANIA GEOMETRII I DOKŁADNOŚCI PROFILU KÓŁ JEZDNYCH NOWOCZESNEGO TABORU TRAMWAJOWEGO

O ile kola kolejowych pojazdów szynowych objęte są ścisłymi przepisami międzynarodowymi oraz opracowanymi, w oparciu o te przepisy normami krajowymi, o tyle tramwaje, obok braku przepisów międzynarodowych, nie są objęte praktycznie żadnymi, obowiązującymi normami czy obligatoryjnymi wytycznymi krajowymi. W zasadzie, tylko konstruktorzy i producenci taboru tramwajowego, kierując się doświadczeniem, wymogami bezpieczeństwa (np. materiały konferencji naukowych na temat współpracy koło/szyna i ekologii – np. pomiar hałasu) - narzucają warunki techniczne geometrii i dokładności kół.

Wymagania techniczne stawiane kołom nowym lub zregenerowanym:

- |   |                  |
|---|------------------|
| - różnica średnic kół napędowych:                                 | max 0,2 mm       |
| - różnica średnic kół wleczonych:                                 | max 1,0 mm       |
| - bicie promieniowe na okręgu tocznym:                            | max 0,2 mm       |
| - bicie osiowe, po przetoczeniu powierzchni czołowej wewnętrznej: | max 0,2 mm       |
| - owalizacja na okręgu tocznym:                                   | max 0,2 mm       |
| - dokładność profilu:   | max 0,2 mm       |
| - chropowatość powierzchni:                                       | Rz 40-60 $\mu$ m |

W warunkach warsztatowych (zajezdnie), dla przyspieszenia obróbki (skrócenie postoju pojazdu), podane odchyłki są często powiększone nawet do 50%.



Rys. 5. Dopuszczalne zużycie eksploatacyjne kół tramwajowych

Fig. 5. Acceptable wear of tram wheels

Najczęściej spotykane dopuszczalne zużycie eksploatacyjne kół tramwajowych przed kolejną obróbką przedstawia rys. 5. Wzorem profili kół kolejowych niektóre zajezdnie tramwajowe stosują w regeneracji kół tzw. profile oszczędnościowe, tzn. dopuszcza się przy regeneracji zmianę grubości obrzeża co 1 mm, do granicznych wartości, podanych jako a i b. W ten sposób przedłuża się trwałość eksploatacyjną kół.

### Literatura

1. Dżuła S.: Dynamika zestawu kołowego w zakresie średnich i wysokich częstotliwości drgań. Technika Transportu Szynowego. Nr 2/1998.
2. Hebda M., Niziński S., Pelc H.: Podstawy diagnostyki pojazdów mechanicznych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1984.
3. Hebda M., Mazur T.: Podstawy eksploatacji pojazdów samochodowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1984.

4. Iwanowski Z.: Pomiary zestawów kołowych podczas eksploatacji pojazdów trakcyjnych PKP. Technika Transportu Szynowego. Nr 2/1998.
5. Jurga S., Piec P.: Wpływ warunków eksploatacji na zużycie i trwałość kół tramwaju. Problemy Eksploatacji 1/2002.
6. Jurga S.: Metoda monitoringu zużycia kół jezdnych pojazdów szynowych. Kraków 2002. Praca doktorska.
7. Piec P.: Badania eksploatacyjne elementów i zespołów pojazdów szynowych. Politechnika Krakowska. Kraków 2004.
8. Grabczyk J., Madejski J., Sitarz M.: Nowe przyrządy i stanowiska do pomiarów kolejowych zestawów kołowych. Technika Transportu Szynowego. Nr 2/1998.
9. Badania eksploatacyjne – testowe, monitoring zużycia obręczy koła. Metodyka monitoringu. Pomiary testowe na stanowisku diagnostycznym. Praca zbiorowa Przedsiębiorstwo Projektowo-wdrożeniowe Koltech. Racibórz 2002. Opracowanie niepublikowane.