Juliusz Grabczyk Janusz Madejski Ryszard Nowicki Wojciech Rzepka Piotr Żaba

AUTOMATYCZNA KONTROLA GEOMETRII KÓŁ W ZESTAWACH KOŁOWYCH POCIĄGÓW

Streszczenie. W referacie omówiono problem pomiaru średnicy i parametrów geometrycznych profilu kół kolejowych. Przedstawiono wyniki prac nad opracowaniem skomputeryzowanego systemu pomiarowego, pozwalającego na prowadzenie pomiarów podczas ruchu pociągu. Omawia się koncepcję systemu baz danych do zarządzania wynikami pomiarów oraz możliwość wspomagania ich analizy za pomocą systemu doradczego.

AUTOMATIC MEASUREMENT OF THE WHEELS' GEOMETRY OF THE TRAIN WHEEL SETS

Summary. The paper discusses the problem of measurement of diameter and geometrical parameters of the raiways wheels'profile. The results of the work conducted on the development of the computer based measurement system for carrying out of the measurements on the moving train are presented. The concept of database system for management of the measurement results is described along with the possibility of assisting the data analysis by an expert system.

1. WSTĘP

Rosnące wymagania wobec dokładności geometrii profilu obrzeża i średnicy tocznej kół zestawów kołowych kolejowych pojazdów trakcyjnych spowodowane są rosnącymi prędkościami jazdy oraz ich wzrastającym obciążeniem. W ramach prac prowadzonych na zlecenie i przy współpracy z CNTK:

- dostosowano rozwiązania uzyskane przez CNTK w ramach RPBR 2.03. do specyfiki pomiarów bezdotykowych zużycia profili kół oraz
- uruchomiono pomiarowe stanowisko badawcze, a także oprogramowanie do akwizycji i analizy wyników pomiarów.

Pomiary postanowiono prowadzić metodami bezdotykowymi z wykorzystaniem głowic laserowych. Za decyzją taką przemawiały następujące względy:

- prostota budowy stanowiska pomiarowego i związana z tym jego odporność na uszkodzenia,
- niezawodność i zwarta budowa części laserowych głowic pomiarowych, oraz
- ich korzystne własności metrologiczne.

Metodykę pomiaru opracowano zakładając, że:

- zestaw kołowy będzie wstępnie naprowadzany na oś toru przed stanowiskiem, a w jego obrębie wszystkie mechaniczne zespoły układu pomiarowego zostaną automatycznie wypozycjonowane w wymaganym położeniu oraz
- w szynie pomiarowej wykonane zostaną niewielkie wybrania umożliwiające dostęp wiązki światła laserowego do mierzonych powierzchni profilu koła.

2. BUDOWA I DZIAŁANIE STANOWISKA POMIAROWEGO

Stanowisko pomiarowe składa się z dwu części: mechanicznej oraz sterująco-pomiarowej. Zadaniem części mechanicznej jest właściwe ustawienie głowic względem mierzonych powierzchni w trakcie pomiaru i zabezpieczenie ich przed wpływem czynników zewnętrznych. Część sterująco - pomiarowa składa się z szeregu głowic pomiarowych przetworników A/C oraz systemu komputerowego do zbierania wyników pomiarów i ich interpretacji.

Po wstępnym okresie uruchamiania części mechanicznej i sterująco-pomiarowej stanowisko zamontowano w specjalnie zaadaptowanym kanale w Kolejowych Zakładach Maszyn "KOLZAM" w Raciborzu. Wyniki pomiarów rejestrowano w pamięci komputera, a następnie przetwarzano i analizowano off-line. Pomiary prowadzono na modelach koła, zestawach kołowych o małym stopniu zużycia i zużytych.

Wielkość błędu pojedynczego pomiaru sprawia, ze w praktyce nie dokonuje się pomiarów wykorzystując pojedyncze odczyty - w czasie pomiaru odczytuje się kilkadziesiąt do kilkuset wartości wielkości mierzonej i jako wynik przyjmuje się ich średnią. Odchylenie standardowe takiej wielkości średniej o' jest oczywiście mniejsze niż odchylenie standardowe pojedynczego

pomiaru σ i wynosi $\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, gdzie *n* to liczba pomiarów wykorzystanych do wyznaczenia

średniej. Jeżeli celem pomiaru jest jedynie stwierdzenie, czy nie zostały przekroczone wartości dopuszczalne, to jako błąd pomiaru przyjmuje się zazwyczaj wartość $\pm 2\sigma$.

2.1. Budowa części mechanicznej ukladu pomiarowego

Część mechaniczna układu pomiarowego składa się z wózka mogącego przemieszczać się w poprzek toru, który jest ustawiany we właściwym położeniu przez układ automatycznej regulacji, sterowany przez wskazania dodatkowej głowicy laserowej (por.rys. 1 i 2). Przeprowadzone badania potwierdziły niezawodne i dokładne działanie takiego rozwiązania. Na wózku mocowane jest oprzyrządowanie do pomiaru profilu koła lub do pomiaru średnicy koła. Właściwe położenie głowic laserowych w trakcie pomiaru zapewniane jest przez układ dźwigni naciskanych przez koło wjeźdźające w strefę pomiaru.





Rys.2.Schemat układu pomiarowego średnicy tocznej Fig.2. Measurement system for the rolling diameter

Rys.1. Schemat układu pomiarowego obrzeża Fig.1. Measurement system for the wheel rim

2.2. Pomiar zużycia profilu bieżni kola

Schemat kinematyczny zespołu do pomiaru zużycia profilu obrzeża przedstawiono na rys. 1. Wózek pomiarowy ma możliwość przemieszczania się w kierunku prostopadłym do osi toru. Zainstalowano na nim dwie listwy pomiarowe, mogące przemieszczać się w kierunku pionowym. W czasie pomiaru są one wciskane przez obrzeże koła. Po osiągnięciu przez nie właściwego położenia ma miejsce odczyt wskazań poszczególnych głowic pomiarowych.

2.3. Pomiar średnicy koła

Badania charakterystyk głowic wykazały, że najmniejsze błędy pomiaru uzyskuje się, gdy wiązka światła lasera pada prostopadle na powierzchnię mierzonego obiektu. Uwzględniając wnioski płynące z prowadzonych wcześniej analiz opracowano metodę pomiaru średnicy tocznej za pomocą trzech głowic, z których dwie skrajne ustawione są pod kątem α do powierzchni szyny, a trzecia jest do niej ustawiona prostopadle (patrz rys.2).

3. WPŁYW BŁĘDÓW ZEROWANIA STANOWISKA NA DOKŁADNOŚĆ POMIARU

Dla zweryfikowania spodziewanego wpływu błędów zerowania stanowiska na dokładność pomiaru średnicy zbudowano model matematyczny, uwzględniający geometrię bieżni koła, główki szyny, skręcenie zestawu względem toru oraz konstrukcję stanowiska (patrz rys. 3 i 4). Założono, że zarówno powierzchnia główki szyny, jak i bieżnia kół pozbawione są wad powierzchniowych.

Przy takich założeniach dokonano obliczeń błędu wyznaczania średnicy tocznej kół w zestawach kołowych o średnicy nominalnej D=840mm. Przez pojęcie odcinka pomiarowego rozumie się dalej kolejne współrzędne punktów styku koła z szyną, które są wykorzystywane do dalszych obliczeń. Oszacowane w ten sposób spodziewane błędy parametrów geometrycznych kół można było w dalszej części pracy porównać z błędami wynikającymi jedynie z własności metrologicznych głowic z sumarycznymi zakłóceniami procesu pomiaru.





Fig.3. Measuring error of the diameter for varying disalignment of the wheel set- and track axes



Rys.4. Sumaryczny błąd pomiaru średnicy wynikły z błędów ustawienia stanowiska

Fig.4. Total measurement error resulting from the adjustment of stand

4. WYNIKI POMIARÓW

W komputerze pomiarowym zapisywane są na bieżąco wszystkie wartości odczytywane przez głowice pomiarowe uzupełnione dodatkowymi informacjami o statusie głowic (patrz rys.5). Do dalszych analiz wykorzystuje się jedynie użyteczne fragmenty tak zapisanych wskazań głowic pomiarowych. W celu usunięcia wpływu zakłóceń stosuje się filtrację danych pomiarowych. Filtrację realizowano obliczając średnią ruchomą oraz - dla niektórych zestawów danych - zakłócenia usuwano za pomocą sieci neuronowych. Ponadto prowadzono prace nad określeniem reguł pozwalających na racjonalny wybór reprezentatywnych ciągów wskazań głowic pomiarowych. Fragment przykładowego zestawu wyników pokazano na rys.6.







Rys.6. Przykładowe przebiegi wskazań głowie pomiatowyc Fig.6. Exemplary readings of the measurement probes

5. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

Badania modelowe i praktyczna weryfikacja opracowanego oprogramowania na istniejącym stanowisku modelowym potwierdziły możliwość prowadzenia pomiarów bezdotykowych geometrii kół zestawów kołowych w ruchu. Dla pomiarów zużycia profilu uzyskano dobrą powtarzalność mierzonych wartości. Różnice pomiędzy wartościami mierzonymi suwmiarką a stanowiskiem laserowym, wynoszące 0.5÷0.7mm, wynikają między innymi z faktu, że porównywane są pomiary bezdotykowe wykonywane z uśrednianiem nierówności powierzchni obręczy z pomiarami dotykowymi wykonywanymi krawędziami powierzchni pomiarowych suwmiarki. Dla pomiarów średnic kół uzyskano dobrą powtarzalność pomiarów, przy czym błąd pomiaru mieści się zazwyczaj w przedziale ±0.5mm.

Prace rozwojowe realizowane w dalszym ciągu pozwalają liczyć na dalsze podwyższenie jakości otrzymywanych wyników pomiarów. Przede wszystkim dużo większa sztywność prototypu stanowiska umożliwi wycliminowanie wiekszości zakłóceń sygnałów obserwowanych na przebiegach czasowych. Duże nadzieje należy także wiazać z pracami prowadzonymi nad wykorzystaniem sieci neuronowych do przetwarzania sygnałów pomiarowych. Po badaniach modelowych do dalszych rozważań przyjęto model sieci z propagacja wsteczna o strukturze 150-30-1. Sieć o takiej strukturze uczono na podstawie zestawu danych wygenerowanych na podstawie znajomości teoretycznego przebjegu sygnału. Zestaw danych uczących składał się z 30 elementów, a do kontroli poprawności działania sięci wykorzystano 6 - elementowy zestaw testujący. Do procesu uczenia przyjęto stałe i niezmienne wartości współczynnika uczenia $\eta=0.15$ i momentum $\alpha=0.15$. Proces uczenia sieci był śledzony - rejestrowano kolejne wartości błędów co 100 iteracji. Zgodnie z danymi literaturowymi założono, że wartość błędu względnego e<0.02 pozwala uznać, że sieć działa poprawnie. Wartość e może być w większości przypadków jednym z podstawowych kryteriów determinujących moment zakończenia procesu uczenia sieci. Tym niemniej w przypadku wyznaczania średnicy kryterium to nie dawało odpowiednich wyników, których miarą był bład bezwzględny średnicy. Stąd też krytrium to zaostrzono i przyjęto e≤0.0005 jako warunek zakończenia procesu uczenia sieci. Tak znaczne zaostrzenie wymagań spowodowało radykalny wzrost czasu uczenia sieci - do ponad 4.5 godz. na komputerze 486DX/33MHz.



Rys.7. Wyniki pomiaru średnicy bieżni koła Fig.7. Results of the measurements of the rolling diameter of the wheel

Analiza wyników uczenia wskazała na konieczność uczenia sieci rozpoznawania średnic z zakresu szerszego niż te, które będą w rzeczywistości mierzone. Błędy na skraju przedziału są bowiem większe niż w jego środku. Po procesie uczenia sieć była w stanie wyznaczać średnicę koła z błędem poniżej 0.04mm w przypadku teoretycznych danych wejściowych zakłóconych szumem σ=0.4 o rozkładzie normalnym. Obecnie trwają prace nad udoskonaleniem procesu rozpoznawania średnic na podstawie danych rzeczywistych pobrane z plików z wynikami pomiarów.

Pomiary parametrów geometrycznych profilu obrzeża kół były wyznaczane jako średnie ze 100 wartości odczytanych w czasie pomiaru. Rozrzut wyników tych wartości był tego samego rzędu co wartości parametrów obrzeża mierzonych suwmiarką w trakcie zerowania stanowiska.

Poniżej przedstawiono syntetyczne zestawienie wyników pomiarów zebranych podczas badań stanowiska doświadczalnego.

srednica:	D.	D	blad	rozstęp]
I. zestaw 1	878.40	879.98	1.58	0.69	
Р	877.80	877.58	-0.22	0.93	1
L	876.50	878.01	1.51	0.66]
Р	875.90	874.10	-1.82	0.52	
L 3	890.75	890.57	-0.17	0.66	
Р	891.10	891.07	-0.04	0.91	
np.	dla zestav zm. rec:	vu 3, koło znie zm. a	P: utoma	t. rozstep	blad
0.	28.6	21	3.43	0.04	-0.17
	27.6	31	88	0.60	0.27
0,	32.0	34		0.00	0.27

6. BAZA DANYCH POMIAROWYCH

Podstawowym zadaniem stanowiska pomiarowego jest zbieranie wyników pomiarów - ta jego funkcja została przebadana i uzyskane dokładności pomiarów uzasadniły kontynuację prac nad dalszym rozwojem systemu. Zadania bazy danych systemu pomiarowego dla zestawów kołowych można - oprócz samego procesu pomiaru - podzielić na trzy etapy:

- przetwarzanie danych pomiarowch i dokumentowanie wyników pomiarów,
- archiwizację wyników pomiarów oraz
- analizę historii zużycia zestawów.

Przetwarzanie danych pomiarowych obejmuje:

- wczytywanie opisu zbioru zestawów do pomiaru,
- przejazd składu (zbioru zestawów) przez stanowisko pomiarowe,
- obliczanie średnic i parametrów profilu dla każdego z kół poszczególnych zestawów,
- rejestracja wyników pomiarów w bazie danych,
- generowanie protokołu pomiarowego.

Baza danych realizująca zadanie archiwizacji wyników pomiarów zawiera w sobie następujące relacje - w nawiasach podano atrybuty relacji:

OPIS_SKŁADU (nazwa i symbol składu, kierunek przejazdu przez stanowisko, liczba wagonów w składzie, OPIS_KOLEJNYCH_WAGONÓW (typ, liczba osi, numer, średnica nominalna zestawu, kierunek jazdy wagonu), liczba osi lokomotywy)

HISTORIA_ZUŻYCIA(numer zestawu, kolejny numer pomiaru, parametry profilu obręczy lewej, parametry profilu obręczy prawej, średnica lewej obręczy, średnica prawej obręczy, rozstaw kół, data pomiaru)

ZESTAW (numer zestawu, numer obręczy lewej, numer obręczy prawej, numer osi, średnica nominalna)

Zadanie analizy historii zużycia zestawów kołowych najkorzystniej będzie realizować za pomocą systemu doradczego, mogącego kojarzyć szereg postępujących zmian poszczególnych parametrów geometrycznych oraz tempa tych zmian. Przykładowy przebieg zmian średnicy pokazano poniżej – prawidłowa ocena procesu zużycia koła i jego fazy wymaga przeanalizowania historii jego zużycia. Takie podejście do zgromadzonych danych zapewnia jakościowo nowy sposób nadzorowania i prognozowania procesu zużycia zestawów kołowych.

III - analiza historii zużycia zestawów



Rys.8. Zakres funkcji systemu nadzoru nad procesem zużywania się zestawów kołowych Fig.8. Tasks of the system supervising the wear out process of the wheel sets

Literatura

- [1] PN-76/K-91056: Zarysy zewnętrzne obręczy i kół bezobręczowych zestawów kołowych
- [2] PUT GRAW: Sprawozdanie z III etapu pracy nt. "Wykonanie i sprawdzenie funkcjonalnego modelu urządzenia do bezdotykowego pomiaru parametrów zarysu obrzeży kół i średnic tocznych kół wagonów i pojazdów trakcyjnych w czasie ruchu pociągów", Gliwice, 1994, praca niepublikowana
- [3] Domagała R., Krukiewicz W., Tkaczyk S.: Warstwa wierzchnia profilu tocznego obręczy kół wagonowych

Recenzent: dr hab. mż. prof. Pol. Śl. Andrzej Wilk

Wpłynęło do redakcji: 15.07.1995 r.

Abstract

The paper presents the growing demands of the wheel sets' accuracy being imposed by the increasing running speeds of the trains and their loads. The safety precautions exert a significant pressure on the railways' maintenance staff making them look for new, efficient methods of the rolling stock inspection. Wheel sets' inspection - checking the rolling diameters of wheels and their profiles is a time consuming task, moreover, it is sensitive to the carefulness of the maintenance staff. Therefore the system for non-contact measurement of the wheel sets of the rolling stock in motion was designed and tested. This system is quite independent from the maintenance staff and does not require any operator's involvement in the mesurement process. The measurement system is a stand consisting of two independent modules for the wheels' diameter measurement, and two additional ones for the measurement of the wheels' profiles. One of each modules is mounted respectively on the right and left sides of the track. Measurements are carried out using the LAP GmbH laser probes, signal processing was done using the Texas Micro industrial computers. The tests of the system included analysis of the influence of the stand adjustment error on its overall accuracy, analysis of the signals' noise and means of their efficient removal. The results of the experiments revealed that there is a good repeatability of measurements of all wheel's parameters and the differences between the manual, contact measurement methods, and the new, non-contact methods were of about $0.5 \div 0.7$ mm for the wheel profile, and ± 0.5 mm for its diameter. It should be stressed however that measurement results obtained using these two different measurement methods should not be compared directly as they represent two radically different views of the same artifact - wheel. The non-contact methods supply a series of averaged readings over an angular section of the measured surface for further processing. Computer based measurement system makes it possible to store the measurement results in a database for further use. In addition to the traditional DBMS software functions its contents may be conveniently analysed by a dedicated expert system. At present the measurement system is able to produce detailed reports regarding the separate measurement cycles - runs of the train through the stand zone.