ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPORT z. 49 Nr kol. 1605

Andrzej TYKA
Andrzej GÓRALCZYK

MOŻLIWOŚCI NADZOROWANIA GEOMETRII ZESTAWÓW KOŁOWYCH WÓZKÓW POJAZDÓW SZYNOWYCH W PROCESIE PRODUKCJI I EKSPLOATACJI

Streszczenie. W referacie omówiono możliwości realizacji pomiarów niezbędnych wielkości geometrycznych, wchodzących w zakres badań odbiorczych i kontroli eksploatacyjnej zestawów kołowych wózków pojazdów szynowych. Przedstawiono główne ograniczenia związane z wykorzystaniem różnych dostępnych rozwiązań metrologicznych w tym maszyn pomiarowych. Zaprezentowano własne rozwiązania sprzętowe, które umożliwiają wykorzystanie wspomagania komputerowego pomiarów. Sformułowano wnioski oraz omówiono uzyskane wyniki badań własnych.

POSSIBILITIES OF SUPERVISION OF GEOMETRY OF WHEELED SETS OF RAIL VEHICLES IN PRODUCTION AND EXPLOATATION PROCESS

Summary. Possibilities of measurements indispensable geometrical quantities, witch is included in both receiving and exploiting inspections of wheeled sets has been discussed. Main limitation connected with different accessible metrological solutions has been discussed. Own solutions of hardware making possible a computer aid has been presented. Conclusion has been formulated and an obtained result has been discussed.

1. WSTĘP

Poprawność geometryczna montażu zestawów kołowych w nowych rozwiązaniach amortyzowanych wózków pojazdów szynowych ma duże znaczenie dla utrzymania trwałości oraz bezpieczeństwa ich eksploatacji. Wózki pojazdów szynowych w procesie produkcji są traktowane jako wydzielone zespoły, które podlegają kontroli zestawów kołowych poprzez pomiar wielkości geometrycznych wyszczególnionych w specyfikacji kontrolnej, objętej procedurami odbiorczymi. W trakcie eksploatacji sprawdzanie geometrii zestawów kołowych wózków wchodzi w zakres ich diagnostyki związanej z zachowaniem bezpieczeństwa

eksploatacji. Ze względu na znaczne wymiary, zmontowany i kompletny zestaw kołowy wózka może być traktowany jako obiekt, którego pomiary wymagają zastosowania odpowiednich metod oraz przyrządów pomiarowych.

Wybór sposobu rozwiązania zadania pomiarowego objętego procedurą kontrolną może być uzależniony od wielu czynników. Do elementów mających związek z wielkością mierzoną można zaliczyć:

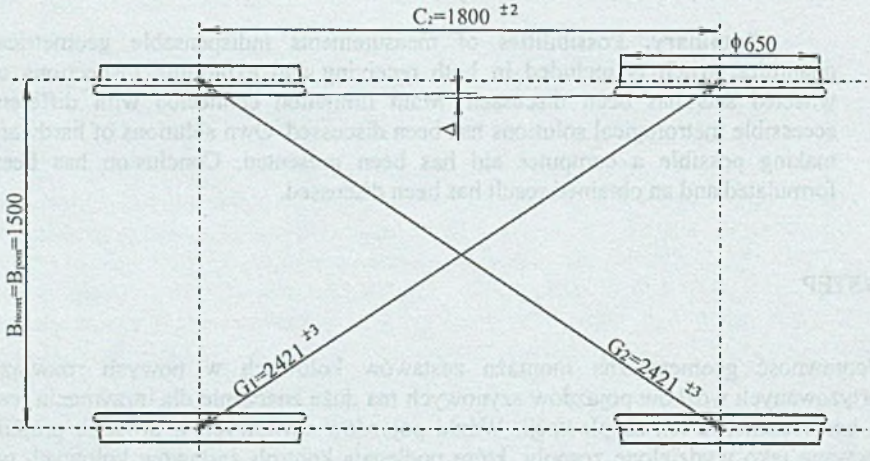
- zakres zmian wielkości mierzonej,
- oczekiwana rozdzielczość pomiarowa,
- wymagana niepewność pomiaru,
- wymagana powtarzalność i odtwarzalność.

Do czynników związanych ze specyfiką produkcji pojazdów szynowych, które ograniczają możliwość wykorzystania drogich urządzeń, można zaliczyć małe obciążenia zadaniami pomiarowymi przypadającymi na jedną zmianę. Niezależnie od kosztów i ograniczeń technicznych, ze względu na powszechność wymagań dotyczących systemów jakości, konieczne jest wdrożenie właściwych środków pomiarowych oraz dokumentowanie wyników pomiarów.

2. PROBLEMY I OGRANICZENIA ZWIĄZANE Z POMIAREM GEOMETRII ZESTAWÓW KOŁOWYCH WÓZKÓW POJAZDÓW SZYNOWYCH

Pomiar odpowiednich wielkości geometrycznych objętych specyfikacją odbiorczą wózków stanowi podstawę ich kwalifikacji. Dla uzyskania możliwości najlepszej zdolności do bezpiecznego prowadzenia pojazdu szynowego wymogiem zasadniczym (oprócz wszelkich innych uwarunkowań) pozostaje postulat zachowania możliwie najwyższej dokładności geometrycznej zestawów kołowych w ramie wózka, zarówno w procesie produkcji (montażu), jak i w okresie jego eksploatacji.

Na rys. 1 przedstawiono ogólny widok oraz sposób wymiarowania geometrii przykładowego zestawu kołowego wózka. Określone w specyfikacji wartości tolerancji odległości osi C_1 i C_2 oraz przekątnych G_1, G_2 podlegają pomiarom z wykorzystaniem przyrządów do pomiaru długości.



Rys.1. Sposób wymiarowania zestawu kołowego wózka
Fig.1. Method of dimensioning of wheelset car

Zagadnienie pomiarów kontrolnych obejmujących zakres procedury odbiorczej lub nadzorowania eksploatacyjnego wózków w układach jezdnych pojazdów szynowych wchodzi w zakres metrologii wielkości geometrycznych dotyczącej pomiaru dużych wymiarów. Pomiar zmontowanych układów jezdnych wózków ma na celu stwierdzenie:

- zgodności lub odchyleń równoległego ustawienia osi obydwóch zestawów kołowych wózka,
- zgodności lub odchyleń związanych z nieśladowością kół w kierunku poprzecznym.

Pełna procedura odbiorcza dotycząca geometrii wózka obejmuje również pomiary kontrolne rozstawu obręczy kół oraz pomiary symetrii elementów przenoszących zasadnicze obciążenia związane z połączeniem wózka w pojeździe. W dotychczas stosowanych rozwiązaniach metrologicznych dotyczących pomiaru odbiorczego geometrii wózków, w których stosowane są metalowo-gumowe elementy resorujące, wykorzystuje się najczęściej proste przyrządy pomiarowe, gdzie pomiar wielkości liniowych jest wykonywany przy zastosowaniu liniału kreskowego lub zwijanej taśmy pomiarowej posiadającej wartość działki elementarnej We=1 mm. Charakteryzują się one znaczną niepewnością pomiaru i niedostateczną powtarzalnością pomiarów.

Dodatkowymi czynnikami komplikującymi zadanie pomiarowe są:

- brak punktów pomiarowych pokrywających się z bazami,
- nierównoległość powierzchni odniesienia obręczy kół,
- zróżnicowane wartości rzeczywistych średnic kół.

Dokonany przegląd stosowanych rozwiązań oprzyrządowania pomiarowego do pomiarów geometrycznych oraz kontroli wózków pozwala stwierdzić, że najczęściej zaniedbywane są wymogi realizacji postulatu Abbego przy pomiarze długości. Dotychczas stosowane oprzyrządowanie pomiarowe, którego zadaniem jest przejęcie położenia charakterystycznych powierzchni odniesienia elementów zestawów kołowych oraz baz pomiarowych, wykazuje szereg błędów konstrukcyjnych i wykonawczych.

3.OCENA DOKŁADNOŚCI POMIAROWEJ NIEŚLADOWOŚCI KÓŁ WÓZKA PRZY ZASTOSOWANIU PRZYRZĄDÓW DO POMIARÓW LINIOWYCH

W przypadku pomiaru błędu kąta przedniej i tylnej osi wózka, dla uproszczenia można wykorzystać istniejące nakiełki w czopach osi zestawów kołowych dla kół o osiach zespolonych lub odpowiednie elementy bazowe z nakiełkami w postaci tarcz mocujących korpusy zacisków hamulców tarczowych dla wózków o kołach łożyskowanych niezależnie.

W największym uproszczeniu kąt pomiędzy osiami wózka wyniesie:

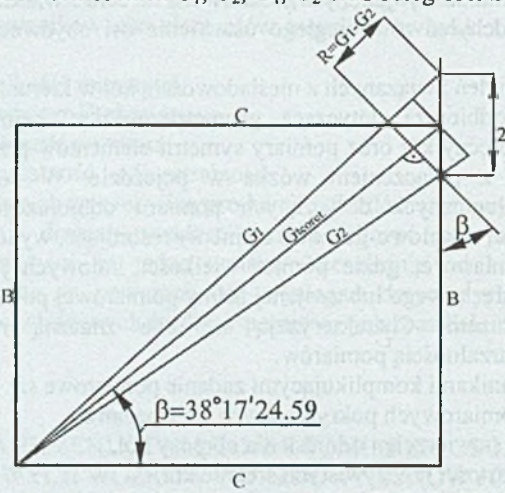
$$\varphi = 2arctg\frac{C_1 - C_2}{2B}, \tag{1}$$

zaś za oszacowanie średniego błędu wyznaczenia φ można przyjąć:

$$\Delta\varphi = \pm\left[\left|\frac{\partial\varphi}{\partial C_1}\right|\cdot|\Delta C_1| + \left|\frac{\partial\varphi}{\partial C_2}\right|\cdot|\Delta C_2| + \left|\frac{\partial\varphi}{\partial B}\right|\cdot|\Delta B|\right]. \tag{2}$$

Znacznie trudniejszym problemem jest określenie błędu nieśladowości jednoimiennych kół wózka przy zastosowaniu pomiaru wielkości liniowych. W odróżnieniu od jawnie określonych położeń C_1 i C_2, wartości przekątnych G_1 i G_2 są określane w płaszczyźnie

odniesienia leżącej znacznie powyżej średnic kół wózka równoległej do płaszczyzny odniesienia torowiska kontrolnego. Na rys. 2 przedstawiono uproszczony schemat geometrycznego wyznaczenia wartości niesładowości kół wózka oparty na znanych i określonych w pomiarze wielkościach C_1, C_2, G_1, G_2 oraz odległości B.



Rys.2. Schemat geometrycznego wyznaczenia wartości niesładowości kół wózka
Fig.2. Scheme of geometric evaluating of car wheel non-tracing

Stosując uproszczenia geometryczne dla przypadku jak na rys. 2, można obliczyć:

$$2X_p = \frac{R}{\sin\left(arctg\frac{B}{C}\right)}, \tag{3}$$

gdzie $R=|G_1-G_2|$

$$X_p = \frac{|G_1 - G_2|}{2\sin\left(arctg\frac{B}{C}\right)}. \tag{4}$$

Oszacowanie średniego błędu wyznaczenia niesładowości kół ΔX_P można uzyskać stosując zależność:

$$\Delta X_p = \pm\left[\left|\frac{\partial Xp}{\partial G_1}\right|\cdot|\Delta G_1| + \left|\frac{\partial Xp}{\partial G_2}\right|\cdot|\Delta G_2| + \left|\frac{\partial Xp}{\partial B}\right|\cdot|\Delta B| + \left|\frac{\partial Xp}{\partial C}\right|\cdot|\Delta C|\right]. \tag{5}$$

Przyjmując idealny przypadek dla pomiaru liniałem kreskowym $\Delta G1=\Delta G_2=\Delta B=\Delta C=0{,}5$ mm otrzymamy $\Delta X_P=\pm 0{,}813$ mm. W praktyce określenie rzeczywistych wartości odchyleń pomiarowych G_1 oraz G_2 wielokrotnie przekracza przyjęte wartości ΔG i ΔC, co powoduje, że błąd pomiaru pośredniego niesładowości może przekraczać znacznie wartości graniczne przewidywane dla kontroli wózków.

4. MOŻLIWOŚCI SPRZĘTOWEJ REALIZACJI POMIARÓW

W celu umożliwienia dokonania wyboru, poprawnego metrologicznie oraz uzasadnionego ekonomicznie, rozwiązania zadania pomiarowego, dokonano przeglądu następujących możliwości:

- oprzyrządowane systemy do pomiaru odchyłek długości z wykorzystaniem metod pomiaru różnicowego,
- specjalne stanowiska do pomiaru geometrii zestawów kołowych wózków z płytą pomiarową i oprzyrządowaniem,
- oprzyrządowane systemy pomiarowe z układami optycznymi,
- współrzędnościowe systemy pomiarowe:
    - współrzędnościowe maszyny pomiarowe,
    - systemy tachymetryczne,
- wizyjne systemy pomiarowe.

Wymienione systemy pomiarowe charakteryzują się zróżnicowanym sposobem pomiaru, rozdzielczością pomiarową oraz granicznymi błędami dopuszczalnymi, a szczególnie ceną zakupu oraz kosztami instalacji i obsługi. Cechę wspólną rozważanych rozwiązań pomiarowych stanowi konieczność dokładnego usytuowania kontrolowanego zestawu kołowego wózka na odpowiednim odcinku torowiska, w punktach podparcia leżących w płaszczyźnie poziomej. Należy podkreślić, że każde z wymienionych rozwiązań wymaga wymontowania wózka z pojazdu szynowego, co w przypadku okresowej kontroli w trakcie eksploatacji może stanowić istotne utrudnienie. W większości możliwych do zastosowania rozwiązań występuje konieczność zatwierdzenia nowych kryteriów oceny z uwzględnieniem błędów pomiaru, a także opracowania nowych procedur kontrolnych.

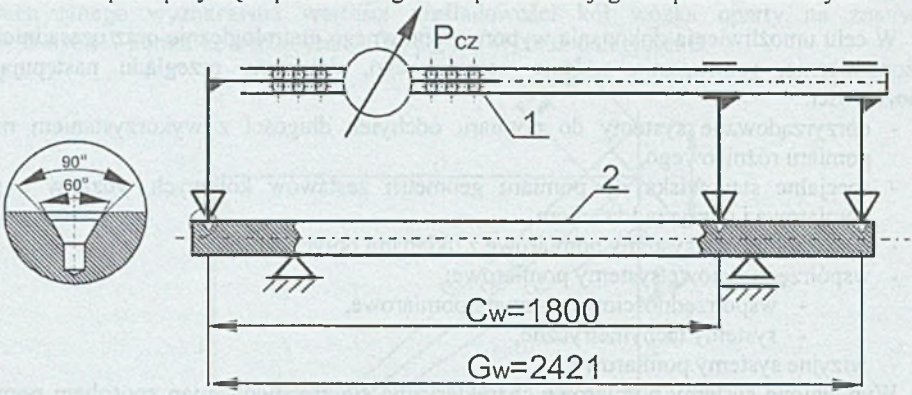
Rozwiązaniem, w którym istnieje możliwość zachowania stosowanych dotychczas procedur i specyfikacji kontrolnych, są oprzyrządowane systemy do pomiaru długości wymiarów kontrolnych, z wykorzystaniem metody pomiaru różnicowego. Realizacja tego sposobu wyznaczenia wartości wymiarów kontrolnych wymaga zastosowania nowych rozwiązań elementów składowych oprzyrządowania pomiarowego, oraz zbudowania specjalnego przyrządu z czujnikowym układem pomiarowym, którego wskazanie zerowe jest nastawiane z wykorzystaniem odpowiedniego wzorca nastawczego. Właściwości metrologiczne oraz cechy konstrukcyjne przyrządu powinny uwzględniać specyfikę uwarunkowań zadania pomiarowego.

5. ZASTOSOWANE ROZWIĄZANIE POMIAROWE

W celu uzyskania większej precyzji pomiaru kontrolowanych wielkości geometrycznych wózków zastosowano całkowicie zmieniony układ oprzyrządowania pomiarowego zawierający optyczny układ kolimatora i lunety pomiarowej oraz zaprojektowano nowy specjalizowany przyrząd do pomiaru wielkości geometrycznych C_1, C_2 oraz G_1, G_2 z rozdzielczością pomiarową We=0,001 mm, dla którego zaprojektowano i wykonano specjalny wzorzec nastawczy. Na rys. 3 przedstawiono schemat specjalizowanego przyrządu do pomiaru odchyłek wielkości liniowych C i G wraz z wzorcem nastawczym.

Ze względu na konieczność pomiaru odchyłek wartości wymiarów G i C, zastosowany przyrząd posiada równocześnie nastawione dwie wartości wzorcowe długości. W konstrukcji przyrządu czujnikowego zminimalizowano błędy wskazań związane z niedotrzymaniem postulatu Abbego, poprzez ograniczenie długości oraz odpowiednie ukształtowanie

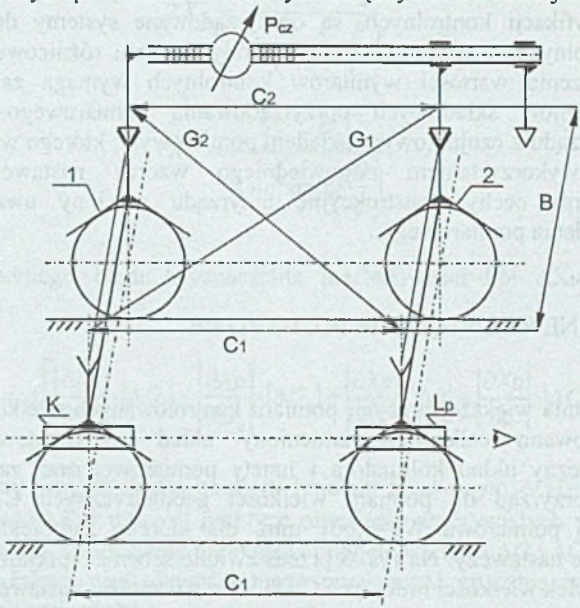
stożkowych końcówek pomiarowych, a także zapewnienie wysokich wartości wskaźnika sztywności korpusu przyrządu pomiarowego oraz prowadnic jego zespołów ruchomych.



Rys. 3. Schemat przyrządu do pomiaru odchyłek wielkości C i G, 1-czujnikowy przyrząd pomiarowy, 2- wzorzec nastawczy

Fig. 3. Schema of device of measurement of quantities C and G, 1- sensing measurement device, 2- setting standard

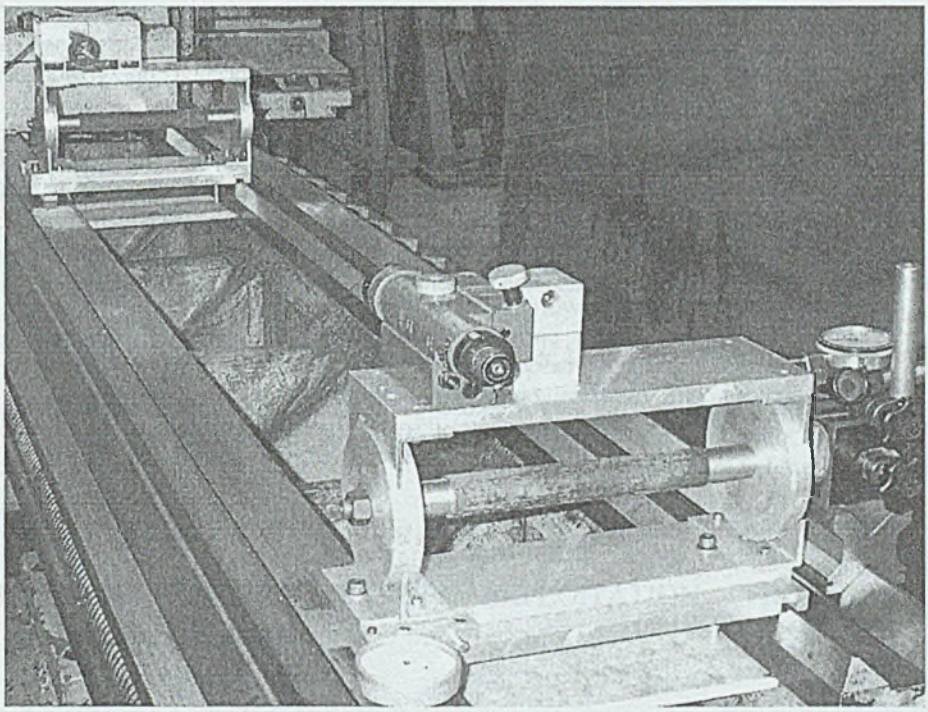
Na rys. 4 przedstawiono schemat opracowanego oprzyrządowania pomiarowego wraz z usytuowanym przyrządem kontrolnym w pozycji pomiaru odległości C_2. Oprzyrządowanie posiada odpowiednie elementy ustalające, które umożliwiają jednoznaczne przejęcie położeń kątowych w płaszczyźnie poziomej z zachowaniem warunków samonastawności położenia na powierzchniach zewnętrznych kół, przy równoczesnym ustaleniu przemieszczeń osiowych względem jednoimiennych powierzchni czołowych obręczy kół dla każdej osi.



Rys. 4. Schemat układu pomiarowego z wykorzystaniem oprzyrządowania i przyrządu do pomiaru odchyłek wielkości liniowych C i G; 1, 2 – mostek, K- kolimator, L_p – luneta

Fig. 4. Schema of measurement system with instrumentation and device of linear quantities (C and G) deviations measurement; 1,2 – bridge, K-collimator, L_p – telescope

Zastosowany układ optyczny kolimator-luneta pomiarowa umożliwia uzyskanie jednoznaczności wzajemnego położenia początkowego obydwóch mostków jak również kontrolnego pomiaru odchyłki kąta pomiędzy osiami zestawów mierzonych w płaszczyźnie poziomej. Na rys. 5 przedstawiono ogólny widok modelowego stanowiska do badań geometrii wózków z wykorzystaniem metody optycznej pomiaru.



Rys. 5. Widok modelowego stanowiska do badań geometrii wózków z wykorzystaniem metody optycznej w laboratorium Metrologii i Nadzorowania Jakości KWiTM AGH.

Fig.5. View of modeling test stand for car geometry researches with using optical method in laboratory of Metallurgy and Supervising Quality KW&TM AGH.

6. OMÓWIENIE UZYSKANYCH WYNIKÓW BADAŃ I WNIOSKI

Wykonane badania układu modelowego w skali laboratoryjnej, jak również układu przeznaczonego do pomiarów w warunkach przemysłowych potwierdziły wnioski uzyskane z rozważań teoretycznych. Wielokrotne próby z powtórzeniami pomiarowymi dla wartości C=1800 mm, oraz G=2421 mm, w pomiarze specjalnie zaprojektowanym przyrządem do pomiaru długości z wykorzystaniem pomiaru różnicowego, pozwoliły uzyskać wysoką powtarzalność i odtwarzalność pomiarów przyrządem czujnikowym rzędu σ=0,005÷0,01 mm, przy uzyskaniu cyfrowej postaci wyników oraz możliwości transmisji danych pomiarowych w standardzie RS 232.

Cechą wyróżniającą przyjęte rozwiązania konstrukcyjne zbudowanego oprzyrządowania pomiarowego jest jego podział na niezależne moduły dla każdej z osi wózka oraz wyeliminowanie zespołów przesuwnych i zaciskowych. Zastosowany przyrząd do pomiaru

odchyłek wymiarów C oraz G ma cechy przyrządu specjalnego z dopasowanym wzorcem nastawczym wysokiej dokładności i stabilności termicznej. Zastosowane oprzyrządowanie pomiarowe przebadano na różnych egzemplarzach nadzorowanych wózków w warunkach eksploatacyjnych. Dokonana analiza dotychczas stosowanego rozwiązania metrologicznego pomiaru (nadzorowania) geometrii zestawów kołowych wózków pojazdów szynowych pozwala na stwierdzenie, że stosowany sposób pomiaru charakterystycznych wymiarów liniowych C_1, C_2, G_1 oraz G_2 przy stałych wartościach aparaturowych B=const, jest zasadniczo poprawny, przy wykorzystaniu zmodyfikowanej koncepcji oprzyrządowania pomiarowego w postaci sztywnych mostków dla każdej z osi wózka.

W celu uzyskania wysokiej dokładności wyznaczenia kąta skręcenia osi, a szczególnie określenia błędu niesładowości kół konieczne jest również zastosowanie wysokiej klasy specjalizowanego przyrządu pomiarowego dla wymiaru C oraz G o rozdzielczości pomiarowej We=0,001 mm i powtarzalności pomiarów charakteryzowanych wartością odchylenia standardowego eksperymentalnego $s \approx 0{,}005$ mm. Uzyskane analitycznie wnioski zostały potwierdzone zarówno w badaniach modelowych, jak i w skali przemysłowej.

Literatura

1. Bałut A, Tyka A.: Cyfrowe pomiary wielkości geometrycznych i kinematycznych w technologii maszyn - Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie Mechanika z.4, Kraków 1998.

Recenzent: Prof. dr hab. Aleksander Sładkowski

Abstract

Geometrical correctness of the assembly of wheeled sets in new solutions of absorption carts of rail vehicles is important for keeping durability and safety of their exploitation. A theoretical and practical aspect of the measurements of faults in assembling the wheeled sets of carts of rail vehicles in conditions of acceptance inspection has been discussed. As far as metrological aspect is concerned, the problem is connected with the measurements of objects of great overall dimensions that require special equipment solutions. Possibilities of measurements indispensable geometrical quantities, witch is included in both receiving and exploiting inspections of wheeled sets has been discussed. Moreover a main limitation connected with different accessible metrological solutions has been discussed. Own solutions of hardware making possible a computer aid has been presented.