

Wpływ metody pomiaru średnicy tocznej koła na dokładność uzyskanych wyników

The influence of the wheel rolling diameter measurement method on the accuracy of the obtained results

ADAM MAŃKA

¹ Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, Katedra Transportu Kolejowego

Abstrakt: W artykule opisano wyniki badań wpływu wykorzystanych metody pomiaru średnicy tocznej koła kolejowego "D" oraz przyrządów pomiarowych na dokładność uzyskiwanych wyników. Przedstawiono różnice uzyskanych wyników przy zastosowaniu 5 różnych przyrządów pomiarowych. W szczególności wskazano na trudność spełnienia kryterium naprawczego $|D-D'|$ przy wykorzystaniu aktualnej metody pomiaru. W pracy przedstawiono również wyniki pomiaru kołowości badanego koła kolejowego. Artykuł obrazuje również autorską metodę pomiaru, która stanowi pomiar referencyjny dla aktualnie wykorzystywanych metod wraz z jej ograniczeniami. Autor przedstawia jednocześnie wady i zalety proponowanej metody oraz dobre praktyki projektowania przyrządów do pomiaru średnicy tocznej kół kolejowych wykorzystywanych w warunkach zakładu naprawczego lub przewoźnika kolejowego w ramach przeglądów na poziomie P3-P5. Wyniki badań wskazują jednoznacznie na potrzebę stosowania metod pomiaru o wskazanej dokładności lub niepewności pomiaru. W artykule wskazano również na potrzebę weryfikacji wpływu różnicy średnic $|D-D'|$ kół w zestawie oraz w wózku kolejowym na bezpieczeństwo w transporcie szynowym. Jako jeden z podstawowych testów dla weryfikacji zasadności stosowania tak niewielkich różnic średnic kół wskazano symulację dynamiki ruchu składu pociągu na specjalnie przystosowanej trasie przejazdu.

Abstract: The article describes the results of research on the influence of the methods used to measure the rolling diameter of a railway wheel "D" and measuring instruments on the accuracy of the obtained results. The differences in the results obtained using 5 different measuring instruments are presented. In particular, the difficulty of meeting the repair criterion $|D-D'|$ was pointed out using the current measurement method. The paper also presents the results of measuring the circularity of the tested railway wheel. The article also illustrates the original measurement method, which is a reference measurement for currently used methods, along with its limitations. The author also presents the advantages and disadvantages of the proposed method and good practices in designing devices for measuring the rolling diameter of railway wheels used in a repair plant or railway carrier as part of inspections at the P3-P5 level. The research results clearly indicate the need to use measurement methods with the indicated accuracy or measurement uncertainty. The article also indicates the need to verify the impact of the difference in diameters $|D-D'|$ of wheels in a set and in a railway bogie on safety in rail transport. One of the basic tests to verify the validity of using such small differences in wheel diameters was the simulation of the dynamics of train movement on a specially adapted route.

1. Wprowadzenie

Aby możliwa była eksploatacja pojazdów kolejowych niezbędne jest zapewnienie im wymaganego stanu technicznego. W ramach realizowanych okresowo badań stanu technicznego pojazdu realizuje się pomiary tych wielkości, które wskazują na stan zużycia elementów mających znaczenie dla bezpieczeństwa technicznego pojazdów. Wykonywanie pomiarów i zestawienie ich z zawartymi w DSU wartościami kresowymi, pozwala na jednoznaczną ocenę inżynierską stanu pojazdu i dopuszczenie lub wycofanie pojazdu z eksploatacji.

Kolejowy zestaw kołowy jako element szczególnie odpowiedzialny za bezpieczeństwo, podlegają rygorystycznemu procesowi utrzymania. Proces ten jest szczegółowo opisany w każdej dokumentacji systemu utrzymania (DSU) pojazdów kolejowych i zawiera kartę pomiarową. Ważnym elementem tej karty pomiarowej jest wskazanie wielkości, które mają być mierzone wraz z podaniem wartości odniesienia, które dla inżyniera są podstawą do podejmowania decyzji o dalszej eksploatacji tego elementu. Wielkości odniesienia, podobnie jak inne elementy DSU, są wskazane jako obowiązkowe w [1 - (§13.2 c)] tj.: wartości konstrukcyjne, wartości ponaprawcze i wartości kresowe.

2. Analiza wymagań normatywnych w zakresie kryterium |D-D'|

Wymagania dotyczące sposobu realizacji pomiaru, procesu utrzymania, wielkości mierzonych i wartości odniesienia są również przedmiotem Dzienników Ustaw, Instrukcji kolejowych, norm i Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności (TSI) m.in. w publikacjach [2÷12].

Aktualnie, spośród wymienionych dokumentów, znaczna część jest nieobligatoryjna z uwagi na brak powołania w aktach prawnych wyższego rzędu (ustawa, dyrektywa, rozporządzenie, w tym TSI, obwieszczenie). Powoduje to pozostawienie jednostek ECM bez nadrzędnych wytycznych i konieczność bazowania na dobrych praktykach branżowych. Ważne jest podkreślenie faktu, że każde nowe wydanie TSI, norm czy innych wymagań branżowych może wprowadzać wskazane poniżej normy i wtedy zawarte w niej zapisy stają się obowiązkowe. Stanowi to kolejną przesłankę do stałego monitorowania przepisów kolejowych w zakresie utrzymania pojazdów, wprowadzania zmian i ciągłego udoskonalania DSU.

Przy analizie wymagań wybranej wielkości charakteryzującej kolejowy zestaw kołowy tj. |D-D'| wzięto pod uwagę 12 źródeł normatywnych i prawnych [1÷12]. Mając na uwadze proces utrzymania analizę wymagań prawnych rozpoczęto od rozporządzenia [1]. Rozporządzenie to jest aktualnym obligatoryjnym aktem prawnym, jednak nie definiuje precyzyjnych wymagań czy wartości w zakresie parametru |D-D'|. Analizowane TSI Loc&Pas [2] jest dokumentem aktualnym i obligatoryjnym. TSI Loc&Pas [2] nie podaje tego kryterium wprost ale wskazuje na konieczność zachowania zgodności z normami EN14363 oraz stosowania norm EN 13979-1:2003+A2:2011 jednak w zakresie punktów tej normy 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3 jak i 7.3 oraz 6. TSI Loc&Pas odwołuje się również do normy EN 13260:2009 +A1:2010 (3.2.1). Należy zaznaczyć, że norma ta ma już swoją aktualizację, ale przez wskazanie w TSI konkretnego wydania to ono jest ciągle wymagane prawnie. Samo TSI [2] w tabeli 1 i 2 zawiera wymagania dla S_R , S_d ,

S_h i q_r , ale bez $|D-D'|$. Z wymienionych w TSI norm natomiast, norma EN 14363+A2:2023-01 [3] oraz norma 13979-1:2020-12 [4] są aktualne, lecz nie definiują wprost wartości ponaprawczych parametrów geometrycznych koła kolejowego.

Istotne jest, że TSI [2] powołuje normę EN 13260:2021-02 [5] jako obligatoryjną jednak wskazuje jedynie na jej punkt 3.2.1 co powoduje, że pomimo iż w normie tej precyzyjnie zdefiniowano parametry geometryczne kół kolejowych w tym $|D-D'| \leq 0,3$ mm i $\leq 0,5$ mm, w zależności od prędkości ruchu odpowiednio dla $V \leq 120$ km/h oraz ponad 200 km/h, to elementy te nie są obowiązkowe a jedynie elementy zawarte w punkcie 3.2.1 publikacji [5]. Norma EN 15313 [6] jest aktualna i definiuje parametr $|D-D'|$, podobnie jak powyżej 0,3 i 0,5 mm odpowiednio dla $V \leq 120$ km/h oraz $V > 120$ km/h, jednak jako wartość po reprofiliacji a nie jako kryterium decyzyjne do reprofiliacji.

Analizie poddano również normę EN 13715 [7] z uwagi na zawarty nawet w tytule przedmiot normy „Zarys powierzchni tocznej”. Norma ta jest aktualna jednak również nie wskazuje wartości naprawczych mierzonych parametrów geometrycznych zarysu kół. W normie kolejowej PN-92/K-91056 [8] stanowiącej pierwowzór ww. normy również nie zawarto wartości dopuszczalnych dla wielkości geometrycznych koła. Podobnie jest też z normą EN 15302 [8] oraz normą EN 14363 [10] jak i normą EN 17095 [11].

Jedynie norma PN-K-91045 [12] z 2002 roku definiuje zarys zestawów kołowych i parametry $|D-D'| < 0,5$ mm jednak norma ta jest wycofana z użycia. Warto też zauważyć, że norma ta wymagała wartości poniżej, ale nie równej 0,5 mm (ważny znak) dla wszystkich pojazdów z prędkością eksploatacyjną V poniżej 200 km/h.

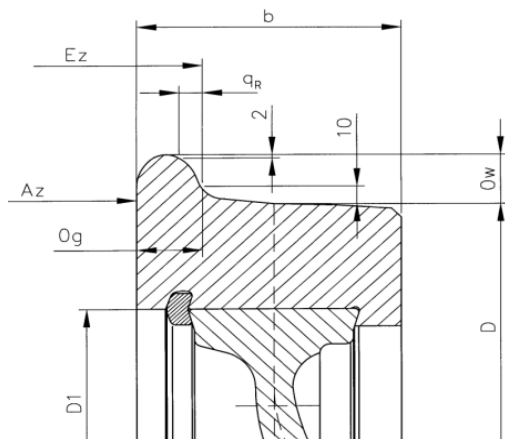
Widać zatem, że aktualnie wybrane normy wskazują wartości dopuszczalne jednak wymagania te nie są obligatoryjne. Dlatego też weryfikując instrukcje kolejowe kilku przewoźników widać znaczną rozbieżność w zakresie tego kryterium tj. $|D-D'|$ od $\leq 0,3$ mm poprzez $< 0,5$ mm do ≤ 1 mm. Nie jest to sytuacja korzystna zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa systemu kolejowego jak również argumentacji przyjętych przez poszczególne podmioty kolejowe wartości w DSU. Stan ten nie sprzyja również budowie jednolitych wymagań w zakresie utrzymania pojazdów szynowych, który na obecnym etapie rozwoju kolei w UE staje się elementem oczekiwanym i uzasadnionym z punktu widzenia ekonomicznego i zapewnienia bezpieczeństwa.

3. Dokładność pomiarów parametrów opisujących kolejowy zestaw kołowy i profil koła

Do najważniejszych parametrów stanowiących podstawę do określenia stanu technicznego kolejowych zestawów kołowych można zaliczyć: q_r , A_z (AR), E_z (SR), O_w (Sh), O_g (Sd), b (BR) oraz D i $|D-D'|$. Bazując na aktualnym doświadczeniu pomiarowym i wykorzystywanej w branży aparaturze kontrolno-pomiarowej i badawcze parametry te mierzy się z następującymi dokładnościami (niepewność pomiaru / rozdzielczość):

- q_r , stromość obrzeża, (1 mm / 1 mm),
- A_z (AR), odległość między wewnętrznymi powierzchniami obręczy lub wieńców kół w zestawach kołowych bez obciążenia { A_z' pod obciążeniem}, (1 mm/1mm)
- E_z (SR), szerokość prowadna (pomiar pośredni na bazie A_z);
- O_w (Sh) [h], wysokość obrzeża, (0,1 mm / 0,1±0,01 mm);
- O_g (Sd) [e], grubość obrzeża, (0,1 mm / 0,1±0,01 mm);

- b (BR), szerokość obręczy, ($0,1 \pm 0,05$ mm / $0,1 \pm 0,05$ mm);
- D [d], średnica okręgu toczonego, ($0,1 \pm 0,2$ ($0,08^*$) mm/ $0,1 \pm 0,01$ mm);
- $|D-D'|$, różnica średnicy toczonej koła dla jednego zestawu kołowego, (pomiar pośredni na bazie D);
- $|D_{max}-D_{min}|$ różnica średnic kół pomiędzy zestawami wózka napędowego, wózka toczonego, pomiędzy zestawami wózków napędowych, pomiędzy zestawami wózków toczonego, pomiędzy zestawami wózków toczonego i napędowego, (pomiar pośredni na bazie D).



Rys. 1. Oznaczenia elementów profilu toczonego koła, przekroju koła i geometrii zestawu kołowego [13, 14]

Widać zatem, że pomiar średnicy toczonej koła D mm, a tym bardziej wielokrotnie wyznaczanych na tej podstawie różnic $|D-D'|$ oraz szeregu $|D_{max}-D_{min}|$, jest obarczony niepewnością pomiarową, która ma istotne znaczenie dla zachowania kryterium decyzyjnego.

4. Metodyka badań

W celu identyfikacji ewentualnych problemów i różnic pomiaru parametru $|D-D'|$, wykonano szereg pomiarów średnicy toczonej koła kolejowego D wykorzystując kilka przyrządów pomiarowych w tym:

- 3 przyrządów – średnicówek trójpunktowych różnych typów i producentów,
- 1 przyrządu optycznego,
- 1 suwmiarki noniuszowej o zakresie 1000 mm i dokładności $\pm 0,02$ mm wyposażonej w zaprojektowane i wykonane bazy pomiarowe (oznaczenie w opracowaniu SN).

Dla zweryfikowania błędów pomiarowych badaniu poddano pojedyncze, wywiązane z zestawu koło pojazdu typu 22WE z materiału ER8 i średnicy nominalnej 850mm. Koło mierzono w stanie zdemontowanym z zestawu kołowego na terenie hali napraw. Średnica nominalna nowego koła badanego typu to 850 mm. Badane koło pochodzi z pojazdu przeznaczonego do jazdy z prędkością maksymalną 160 km/h. Przed pomiarami koło oczyszczono z tlenków i odtłuszczono preparatem CX80. Jeden wycinek pozostawiono surowy do dalszej weryfikacji wpływu czyszczenia na dokładność pomiaru.

5. Przebieg badań i uzyskane wyniki

Urządzeniem pomiarowym typu AA wykonano 95 pomiarów tego samego koła kolejącego. Producent urządzenia AA deklaruje dokładność pomiaru $\pm 0,1$ mm oraz rozdzielczość 0,1 mm lub 0,01 mm.

Pierwszą serię pomiarów (34 pomiary) wykonano do 5 minut po dostarczeniu przyrządu na halę, co nie gwarantowało ustalenia się temperatury przyrządu pomiarowego. Pomiary przeprowadzono w listopadzie przy temperaturze na zewnątrz ok 10°C oraz w hali ok. 19°C . Uzyskane wyniki jednoznacznie potwierdziły znaczenie zalecenia producenta, że dla uzyskania poprawności wyników pomiaru należy pomiar wykonywać dopiero po ustaleniu temperatury przyrządu i z uwzględnieniem zaleceń o trzymaniu przyrządu w wyznaczonych miejscach (nagrzewanie w punktach pomiaru temperatury). Wartość średnia (maksymalna) różnic mierzonego parametru D dla pojedynczego punktu wynosiła:

- dla pierwszej serii pomiarów: 0,47 mm (0,7 mm);
- dla drugiej serii pomiarów: 0,13 mm (0,3 mm).

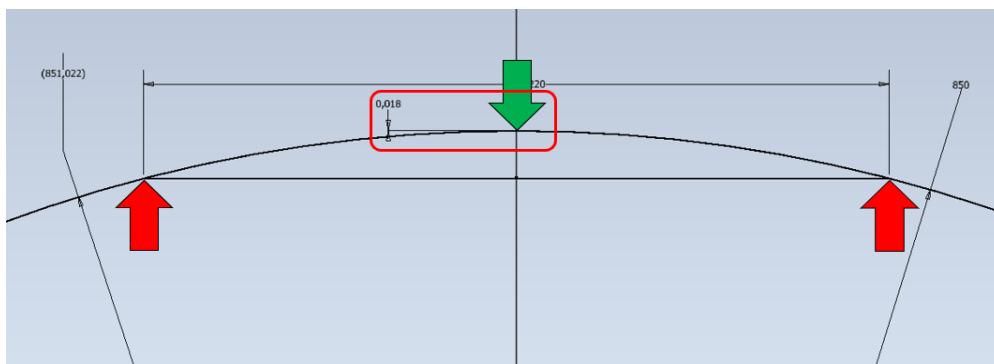
Na podstawie wykonanych pomiarów widać zatem wyraźnie, że nieuwzględnienie konieczności ustalenia i wyrównania temperatury przyrządu z temperaturą mierzonego obiektu może spowodować uzyskanie wartości średnia różnic D ponad 3,6 razy większej niż w warunkach ustalonych. Dlatego do dalszych badań bierze się pod uwagę wyłącznie drugą serię pomiarową i pomiary innymi przyrządami wykonanymi po ustaleniu się temperatury. Analizując szczegółowe wyniki pomiaru przedstawione na rys. 2 można stwierdzić, że średnia wartość średnicy koła wyniosła $D_{\text{srAA}}=797,47$ mm z rozrzutem pomiędzy wartością maksymalną i minimalną aż $d_{\text{DAA}}=1,6$ mm. Znaczne różnice wartości pomiaru pomiędzy poszczególnymi punktami mogą świadczyć o owalizacji koła lub niedoskonałości metody pomiarowej dla metody trójpunktowej.

Uzyskano również znaczne różnice wartości pomiaru pomiędzy stroną lewą, prawą i środkiem/punktem. Uzyskuje się to dla wszystkich punktów tj. A, B i C: $d_{\text{DA}}=1,3$ [mm]; $d_{\text{DC}}=1,2$ [mm]; $d_{\text{DD}}=1,6$ mm. Widać zatem, że zmieniając położenie punktu pomiarowego już o ok. ± 120 mm po obwodzie koła (co opisano jako strona lewa lub prawa) uzyskuje się wynik pomiaru różniący się nawet o 1,6 mm (przy bardzo dobrej powtarzalności w pojedynczym punkcie). Wskazuje to, że przyrząd pomiarowy wskazuje powtarzalne wyniki natomiast miejsce przyłożenia bazy pomiarowej na kole lub jego średnica toczna wykazuje znaczne odchylenia od wartości średniej. Tak znaczny rozrzut wyników zależny od miejsca pomiaru utrudnia jednoznaczne podejmowanie decyzji o spełnieniu wymagań w zakresie kryterium $|D-D'|$ czy $|D_{\text{max}}-D_{\text{min}}|$, tj. zarówno w zakresie $< 0,5$ mm po przetoczeniu (wymiar naprawczy), wymagań wskazanych w DSU dla pojazdu (wymiar kresowy $|D-D'| < 1$ mm. Mając dostępne powyższe wyniki pomiaru oraz jednoznaczne potwierdzenie bardzo dobrej powtarzalności wyników pomiaru w jednym punkcie świadczące o jakości przyrządu pomiarowego, należało przeanalizować, czy przyczyna tych rozbieżności nie jest spowodowana owalizacją koła czy też nierównościami na jej powierzchni tocznej. W tym celu wprowadzono model parametryczny układu pomiarowego (rys. 3) dla którego zasymulowano wpływ nierówności w miejscu styku głowicy pomiarowej z kołem na uzyskaną średnicę toczną koła D.

	Punkt A				Punkt C				Punkt D			
	Lewa	Środek	Prawa	Razem A	Lewa	Środek	Prawa	Razem C	Lewa	Środek	Prawa	Razem D
	798,1	796,8	797,6		798,1	797,5	797,1		798,3	797,0	796,9	
	798,1	796,9	797,7	-	798,0	797,4	796,9	-	798,3	797,2	796,9	-
	798,1	796,9	797,6		797,9	797,5	797,1		798,5	796,9	796,9	
Średnia	798,1	796,9	797,6	797,53	798,0	797,5	797,0	797,50	798,4	797,0	796,9	797,38
Max	798,1	796,9	797,7	798,1	798,1	797,5	797,1	798,1	798,5	797,2	796,9	798,5
Min	798,1	796,8	797,6	796,8	797,9	797,4	796,9	796,9	798,3	796,9	796,9	796,9
dD	0	0,1	0,1	1,3	0,2	0,1	0,2	1,2	0,2	0,3	0,0	1,6

Rys. 2. Zestawienie wyników pomiarów średnicą AA

Na rys. 3 strzałkami w kolorze czerwonym przedstawiono symbolicznie dwie bazy pomiarowe a kolorem zielonym miejsce pomiaru głowicą pomiarową (czujnikiem mikrometrycznym) średnicówki trójpunktowej. Z uzyskanych na podstawie tej symulacji wyników widać wyraźnie, że nawet najmniejsze lokalne wady koła powodują bardzo duże, często wręcz nieakceptowalne zmiany wyniku pomiaru. Oznacza to, że pomiar wykonywany tą metodą jest zależny od lokalnych wad na powierzchni koła kolejowego. Chcąc zminimalizować wpływ tej zależności należy wybierając miejsce pomiaru wziąć pod uwagę to wskazanie i w miarę możliwości unikać pomiaru w miejscu lokalnych nierówności powierzchni koła (choć oczywiście nie zawsze jest to możliwe).



Rys. 3. Model parametryczny układu pomiarowego średnicówki trójpunktowej (celowo zmieniono rozstaw podpór)

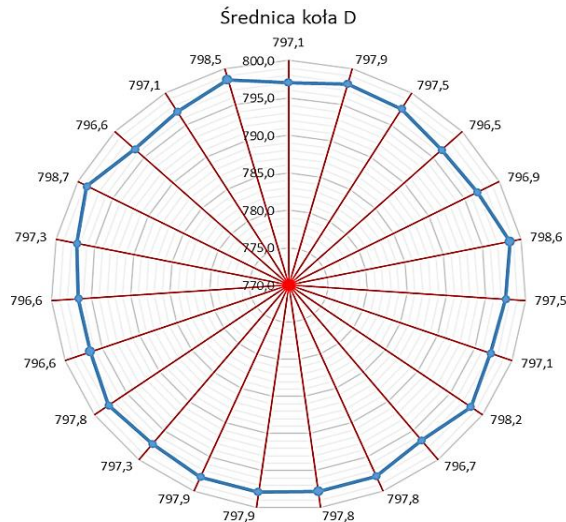
Bazując na tym modelu, celowo wprowadzono wady koła o różnej głębokości, aby zobrazować wpływ tych lokalnych wad na wynik pomiaru średnicy toczonej koła D.

Wybrany przyrządem pomiarowym wykonano również pomiaru średnicy koła w 23 miejscach co 15,7°. Pomiar ten miał na celu określenie owalizacji koła. Uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 5. Pomimo relatywnie dużej powtarzalności pomiarów w pojedynczych punktach, uzyskano znaczną różnicę pomiędzy zmierzoną średnicą D maksymalną i minimalną. W miejscach, gdzie uzyskano wartości skrajne powtórzono pomiar trzykrotnie i uzyskano bardzo dobrą powtarzalność. Uzyskana maksymalna różnica średnic koła D mierzona w 23 punktach na obwodzie wynosi $dD_{23}=2,25$ mm.



Rys. 4. Wykres zmian wskaźnika średnicy tocznicy D wynikający z lokalnej nierówności koła

Tak znaczna różnica średnic może świadczyć o owalizacji koła lub niedokładności zastosowanej metody pomiaru (rys. 4). Uzyskana średnią wartość średnicy D wynosi $D_{\text{sr}23}=797,47$ mm. W zestawieniu $D_{\text{sr}23}$ z wartością średnią uzyskaną z wykorzystaniem suwmiarki noniuszowej (SN) tj. $D_{\text{SN}}=769,68$ mm uzyskuje się różnicę 0,79 mm. Pomiar ten wskazuje jednocześnie, że uśrednianie wyników z 23 pomiarów nie gwarantuje uzyskania poprawnych wyników pomiaru, które można by zestawzić z kryterium $|D-D'|$.



Rys. 5. Wizualizacja wyników pomiaru średnicy w 23 miejscach na obwodzie koła wykonana średnicówką trójpunktową

W dalszej części prac wykonano pomiary innymi przyrządami pomiarowymi w tym przyrządem optycznym. Zweryfikowano również wpływ oczyszczenia powierzchni

przed pomiarem – rys. 6. Uzyskane wyniki wskazują, że pomiar wykonywany urządzeniem optycznym (oznaczonym na rys. 6 jako CC) przed oczyszczeniem miał mniejszy rozrzut wyników tj. $dD=0,18$ mm niż po oczyszczeniu (połyskująca powierzchnia) $dD=0,40$ mm. Po oczyszczeniu uzyskano średnicę $D_{srCC}=796,54$ mm tj. o 0,56 mm mniejszą niż dla pomiaru bez oczyszczenia. Widać zatem, że obie metody pomiaru wykazują wrażliwość na zabrudzenia powierzchni pomiarowej, jednakże w badanym przypadku urządzenie CC zawyżyło pomiar o 0,56 mm a wynik uzyskany z średnicówki trójpunktowej oznaczonej na rys. 6 jako BB był niższy o 0,48 mm w przypadku oczyszczenia powierzchni koła.

	Urządzenie CC			Urządzenie BB		
	Przed mm	Po mm	Różnice mm	Przed mm	Po mm	Różnice mm
	797,02	796,36		795,61	796,50	
	797,20	796,69	-	795,74	796,24	-
	797,09	796,76		796,11	796,17	
Średnia	797,10	796,54	0,56	795,82	796,30	-0,48
Max	797,20	796,76	0,44	796,11	796,50	-0,39
Min	797,02	796,36	0,76	795,61	796,17	-0,56
dD	0,18	0,40	-0,22	0,50	0,33	0,17

1,7mm

Rys. 6. Zestawienie wyników pomiarów przed i po oczyszczeniu powierzchni koła kolejowego

Należy zaznaczyć, że zarówno dla urządzenia CC i BB wyniki najbardziej zbliżone do suwmiarki noniuszowej SN, uzyskuje się w przypadku pomiaru na powierzchni oczyszczonej. Biorąc średnią wartość $D_{SNsr}=796,68$ mm różnica w stosunku do pomiaru CC na powierzchni oczyszczonej wynosi $dD_{SN-CC}=0,14$ mm a względem pomiaru BB wynosi $dD_{SN-BB}=0,38$ mm a względem powierzchni nieoczyszczonej odpowiednio $dD_{SN-CC}=-0,42$ mm oraz $dD_{SN-BB}=0,86$ mm. Z przeprowadzonej próby wynika, że oczyszczenie miejsca pomiaru zarówno dla urządzenia CC jak i BB znacząco zbliża wynik pomiaru do wartości referencyjnej (SN). Warto również zauważyć, że zabrudzenie powierzchni w przypadku urządzenia CC każdorazowo zawyżało wynik pomiaru a urządzenie BB każdorazowo zaniżało wynik pomiaru względem wartości uzyskanej po oczyszczeniu.



Rys. 7. Widok na pomiar suwmiarką noniuszową wraz z bazami pomiarowymi

Do określenia wartości referencyjnej zaproponowano pomiar z wykorzystaniem specjalnie zaprojektowanych w tym celu baz pomiarowych i wykorzystanie suwmiarki noniuszowej (SN) o zakresie pomiarowym 1000 mm i dokładności $\pm 0,02$ mm – rys. 7.

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono:

- istnieje pilna potrzeba ujednoczenia wymagań w zakresie kryteriów utrzymaniowych geometrii zestawów kołowych w tym w szczególności w zakresie kryterium $|D-D'|$ oraz $|D_{\max}-D_{\min}|$, oraz potrzeba ujednoczenia procedur utrzymania w całej Unii Europejskiej na wzór wprowadzanych TSI (dla zwiększenia bezpieczeństwa i redukcji kosztów utrzymania);
- testowane metody i przyrządy pomiarowe o oznaczeniu AA, BB, CC, EE wykazały znaczne rozbieżności średnicy tocznej D. Uzyskano wartości średnicy tocznej od 796,17 mm do 798,50 mm co daje różnicę 2,33 mm (na jednym i tym samym kole);
- nawet minimalne rozbieżności realizacji pomiaru względem zaleceń producenta przyrządu pomiarowego były powodem uzyskania kilku krotnie większej rozbieżności wyników pomiarów w pojedynczym punkcie (temperatura, dokładność przyłożenia do baz, kalibracja, czyszczenie powierzchni);
- tak znaczne rozbieżności wyników przy zastosowaniu różnych metod pomiaru wykluczają jednoczesne stosowanie różnych przyrządów pomiarowych w celach wyznaczenia $|D-D'|$ dla pojazdu;
- we wszystkich kategoriach najlepsze parametry wykazywała suwmiarka noniuszowa, dla której średni rozrzut w jednym punkcie to 0,03 mm (14 razy mniejszy w porównaniu z CC (0,43 mm) i 4 razy mniejszy w porównaniu z AA (0,13 mm)).
- oczywistą wadą metody z wykorzystaniem suwmiarki i baz pomiarowych jest możliwość pomiaru na wymontowanym zestawie kołowym;
- w realizowanym przykładzie, nie wskazano jednoznacznie na przewagę któregośkolwiek przyrządu pomiarowego (poza suwmiarką naniuszową);
- uzyskano znaczne różnice wymiaru średnicy w zależności czy powierzchnia mierzona była w stanie eksploatacyjnym czy ją oczyszczono tj. średnio o wartości -0,56 mm („średnica się zmniejszyła” po oczyszczeniu) dla przyrządu optycznego i o 0,48 mm („średnica się zwiększyła” po oczyszczeniu) dla średnicówki.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można stwierdzić, że pomimo znacznego zaawansowania technicznego przyrządów pomiarowych, wykorzystywane do tej pory metody pomiaru bez wywiązywania zestawów kołowych z pojazdu są obciążone niepewnością pomiaru, która jest znacząca w odniesieniu do kryterium utrzymaniowego $|D-D'| < 1$ mm. Wskazane jest wsparcie wykonywanych pomiarów inną metodą o większej dokładności pomiaru, która w przypadku uzyskania wartości granicznej pozwoli na jednoznaczną weryfikację różnicy średnicy kół w kolejowym zestawie kołowym. Oczywiście jest, że mierzony parametr ma ważne znaczenie dla bezpieczeństwa systemu kolejowego, jak i istotny wpływ na koszty eksploatacji, dlatego zwiększenie dokładności i powtarzalności pomiaru jest w tym przypadku szczególnie uzasadnione.

Literatura

- [1] Dz.U. 2016 poz. 226 (zastępujący Dz.U. 2005 nr 212 poz. 1771) „Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 27 stycznia 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie ogólnych warunków technicznych eksploatacji pojazdów kolejowych”;
- [2] TSI Loc&Pas „Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor — lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej”;
- [3] EN 14363+A2:2023-01 „Kolejnictwo -- Badania i symulacje modelowe właściwości dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu -- Badania właściwości biegowych i próby stacjonarne”;
- [4] EN 13979-1:2020-12 (EN 13979-1:2011 - 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3 jak i 7.3 oraz 6) „Kolejnictwo -- Zestawy kołowe i wózki -- Koła monoblokowe -- Procedura zatwierdzenia technicznego -- Część 1: Koła kute i walcowane”;
- [5] EN 13260:2021-02 (EN 13260:2009 +A1:2010 (3.2.1) „Kolejnictwo -- Zestawy kołowe i wózki -- Zestawy kołowe -- Wymagania dotyczące wyrobu”;
- [6] PN-EN 15313:2016-05E „Kolejnictwo -- Wymagania eksploatacyjne dotyczące obsługi zestawów kołowych -- Utrzymanie zestawów kołowych pojazdów w eksploatacji i wyłączonych z eksploatacji”;
- [7] PN-EN 13715:2020-12 „Kolejnictwo -- Zestawy kołowe i wózki -- Koła -- Zarys powierzchni tocznej”;
- [8] PN-92/K-91056 „Tabor kolejowy -- Zarys zewnętrzny obręczy i wieńców kół bezobrotowych zestawów kołowych”;
- [9] PN-EN 15302:2022-03 „Kolejnictwo -- Parametry geometrii styku koło-szlina -- Definicje i metody ewaluacji”;
- [10] PN-EN 14363+A2:2023-01 „Kolejnictwo -- Badania i symulacje modelowe właściwości dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu -- Badania właściwości biegowych i próby stacjonarne”;
- [11] PN-EN 17095:2019-05 „Kolejnictwo -- Utrzymanie taboru kolejowego -- Dokumentacja utrzymania”;
- [12] PN-K-91045:2002 „Tabor kolejowy – Zestawy kołowe – Wymagania i metody badań”;
- [13] Instrukcja pomiarów i oceny technicznej zestawów kołowych pojazdów trakcyjnych Bt-11. PKP Intercity, 2010 r.
- [14] S. Młynarski, R. Pilch, M. Smolnik, J. Szybka, G. Wiązania: A simulation model for regenerated objects with multiparameter evaluation of technical condition reliability estimation, Journal of KONBiN 2019, Volume 49, Issue 2, DOI 10.2478/jok-2019-0023