

## Przenośne ramię pomiarowe do wykonywania dokładnych pomiarów wymiarów geometrycznych elementów konstrukcyjnych

Andrzej ANISZEWICZ<sup>1</sup>

### Streszczenie

W artykule opisano, użytkowane w Laboratorium Metrologii Instytutu Kolejnictwa, nowoczesne, przenośne, współrzędnościowe ramię pomiarowe, służące do szybkich i dokładnych pomiarów wymiarów geometrycznych obiektów i elementów kolejowych o skomplikowanej budowie przestrzennej. Odbiorcami wyników pomiarów mogą być klienci zewnętrzni i wewnętrzni z Instytutu Kolejnictwa. Ramię pomiarowe jest przydatne zwłaszcza do wykonywania pomiarów elementów uszkodzonych, zdeformowanych, np. wskutek wypadków. Pomiar takich elementów specjalistycznymi przyrządami kolejowymi lub przyrządami powszechnego użytku, przy żądanej niepewności pomiaru, byłby niemożliwy do wykonania. W artykule przedstawiono przykładowe zastosowania przenośnego współrzędnościowego, sześciosiowego ramienia pomiarowego oraz wyniki pomiarów wymiarów geometrycznych, wykonanych przez Laboratorium Metrologii Instytutu Kolejnictwa. Pokazano przykładowe rodzaje obiektów, do pomiarów których dotychczas zastosowano współrzędnościowe ramię pomiarowe.

**Słowa kluczowe:** ramię pomiarowe, pomiary, zestaw kołowy, wózek, koło, układ biegowy, zużycie zestawów kołowych

### 1. Wstęp

W transporcie kolejowym, pomiary są jedną z ważniejszych czynności wykonywanych w trakcie produkcji i eksploatacji obiektów. Pomiary są wykonywane w szczególności w trakcie procesów wytwarzania, badania i certyfikacji wyrobów, podczas których są mierzone poszczególne parametry techniczne, kwalifikujące je do spełniających lub niespełniających określone wymagania. Bardziej złożone pomiary mogą być wykonywane na całych zmontowanych podzespołach, jak i konstrukcjach obiektów lub pojazdów. Urządzenia i pojazdy eksploatowane w transporcie szynowym powinny bezawaryjnie pracować przez ściśle określony czas. W trakcie ich użytkowania wykonywane są okresowe przeglądy eksploatacyjne, wymiana i naprawa zużytych części. Istotne znaczenie ma wówczas wykonywanie pomiarów zużycia wybranych obiektów oraz ich powierzchni [1]. Dotychczas, na kolei powszechnie stosuje się specjalizowane suwmiarki, przyrządy, szablony i elektroniczne kolejowe przyrządy pomiarowe do wykonywania szybkiego pomiaru wybranych parametrów elementów taboru i infrastruktury kolejowej [2, 3, 4]. Konstrukcja tych przyrządów uniemożliwia jednak wykonywanie pomiarów elementów uszkodzonych, zużytych lub znacznie odkształconych. Ponieważ pomiary powinny być wykonywane w sposób wiarygodny i z żądaną dokładnością, do weryfikacji skomplikowanych

lub uszkodzonych elementów, szczególnie przydatne jest przenośne ramię pomiarowe.

### 2. Opis przyrządu

Laboratorium Metrologii Instytutu Kolejnictwa do pomiarów i wzorcowania obiektów, wykonywanych dla klientów zewnętrznych i wewnętrznych, użytkuje nowoczesne i bardzo dokładne urządzenia. Jednym z nich jest przenośne, skomputeryzowane urządzenie – współrzędnościowe sześciosiowe ramię pomiarowe o podstawowym zakresie pomiarowym 2 m i dokładności wykonywania pomiarów w tym zakresie 0,03 mm (rys. 1). Umożliwia ono wykonywanie bardzo dokładnych pomiarów stykowych wymiarów geometrycznych obiektów i elementów o skomplikowanej budowie przestrzennej. Dużą zaletą tego mobilnego urządzenia jest możliwość nieograniczonego rozszerzenia jego zakresu pomiarowego przez przenoszenie układu współrzędnych z użyciem stożków bazowych. Możliwe jest także, wykonywanie pomiarów elementów o wymiarach nawet do 100 m. Ramię pomiarowe współpracuje i jest nadzorowane przez specjalistyczne, licencjonowane oprogramowanie komputerowe, zabezpieczone kluczem USB.

Ramię umożliwia analizę i archiwizację pomiarów geometrycznych długości i kąta oraz określenie parametrów

<sup>1</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Metrologii; e-mail: aaniszewicz@ikolej.pl.

GD&T<sup>2</sup> (tolerancje kształtu, kierunku i położenia). Oprogramowanie jest zainstalowane na przenośnym laptopie, który za pośrednictwem połączenia bezprzewodowego Wi-Fi komunikuje się z urządzeniem i jego układami pomiarowymi. Własne zintegrowane zasilanie akumulatorowe czyni urządzenie mobilnym i niezależnym od zasilania sieciowego. Wewnętrzne czujniki temperatury kompensują różnice temperatur i umożliwiają realizację pomiarów zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i w halach remontowo-produkcyjnych. Parametry techniczne ramienia pomiarowego przedstawiono w tabelicy 1. Zakres temperatury pracy opisywanego urządzenia, to  $(10 \div 45)^\circ\text{C}$ . Stopień ochrony zapewnianej przez obudowy urządzenia przed dostępem do części niebezpiecznych, wnikaniem obcych ciał stałych, wnikaniem wody – IP51.



Rys. 1. Ramię pomiarowe podczas pomiaru elementu przekroju ostoi wagonu kolejowego [fot. A. Aniszewicz]

Tabela 1

Parametry techniczne sześcioościowego ramienia pomiarowego Kreon ACE-6-20

Model	Zakres pomiarowy [m]	Pomiary stykowe zgodnie z normą ASME B89 4.2	
		Powtarzalność pojedynczego punktu [mm]	Przestrzenna niepewność pomiaru [mm]
Kreon ACE-6-20	2,0	0,018	0,026

Opracowanie własne na podstawie [7].

W celu wykonywania pomiarów w Laboratorium Metrologii, ramię pomiarowe mocuje się do podstawy magnetycznej z trzema silnymi magnesami o regulowanej sile pola magnetycznego mocowania. Do mocowania ramienia

pomiarowego do płaskich powierzchni niemagnetycznych, np. do stołu kamiennego, Laboratorium stosuje płytę bazową z otworami na śruby.

W celu okresowego sprawdzenia enkoderów oraz końcówek pomiarowych ramienia pomiarowego stosuje się dodatkową kulę wzorcową i stożki pomiarowe. Urządzenie jest również wyposażone w zestaw trzech podstaw magnetycznych z precyzyjnie wykonanymi stożkami bazowymi, wykorzystywane do przenoszenia układów współrzędnych. Stożki umożliwiają zwiększenie zakresu pomiarowego (tzw. System *Leap Frog*) przez użycie dodatkowych opcji oprogramowania i przesunięcie bazy ramienia pomiarowego. Umożliwia to wykonywanie pomiarów obiektów dużych i o skomplikowanej przestrzennie budowie.

### 3. Zastosowanie przyrządu

Elementy taboru kolejowego, np.: wózki, zestawy kołowe, tarcze kół, obręcze itp., które są zużyte lub uszkodzone, np. w wyniku wykolejenia, często są tak zdeformowane, że ich wymiary graniczne są przekroczone. Ponieważ konstrukcja standardowych kolejowych przyrządów pomiarowych uniemożliwia wykonanie wiarygodnych pomiarów, w takim przypadku stosuje się przenośne współrzędnościowe ramię pomiarowe do określenia wartości wybranych parametrów i wymiarów.

Laboratorium Metrologii Instytutu Kolejnictwa stosuje ramię pomiarowe do wykonywania pomiarów wymiarów geometrycznych między innymi wyeksploatowanych elementów wagonów i lokomotyw, jak np. zestawów kołowych i ich elementów składowych – tarcz kół jezdnych i osi (parametry profilu zarysu, średnica okręgu tocznego  $O$ , rozstaw tarcz kół  $Az$ , średnice piast, podpiaścia i czopów osi, skrzywienia osi itp.), jak przedstawiono na rysunku 2. Wykonuje się kontrolne pomiary wymiarów i odkształceń pudła i ostoi lokomotyw oraz ram wózków po wykolejeniu (rys. 3). Rozmieszczenia przestrzenne elementów i zespołów składowych pojazdów trakcyjnych są sprawdzane z Dokumentacją Techniczną. Podczas badań przyczyn nierównomiernego zużywania się zestawów kołowych w wagonach towarowych [9, 10], dokonano pomiarów średnic kół zestawów, rozstawu tarcz kół zestawów kołowych, wzajemnego położenia zestawów kołowych w wózkach, odległości prowadzenia w wózkach, rozstawu odległości (liniowe i krzyżowe) w prowadzeniu widłowym wózków (różnice odległości między powierzchniami prowadzenia maźnic po jednej i drugiej stronie wózka oraz różnice odległości krzyżowych tych elementów), odległości czopów skrętu od podłużnic wagonu. Uzyskane wyniki pomiarów są wykorzystywane, jako wkład do przeprowadzonych analiz przy opracowywaniu ekspertyz powypadkowych.

<sup>2</sup> GD&T – *Geometric Dimensioning and Tolerancing* (Wymiarowanie i tolerowanie geometryczne), Standard według ASME (*The American Society of Mechanical Engineers* – Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Mechaników), podstawowa norma: ASME Y14.5M-2009.

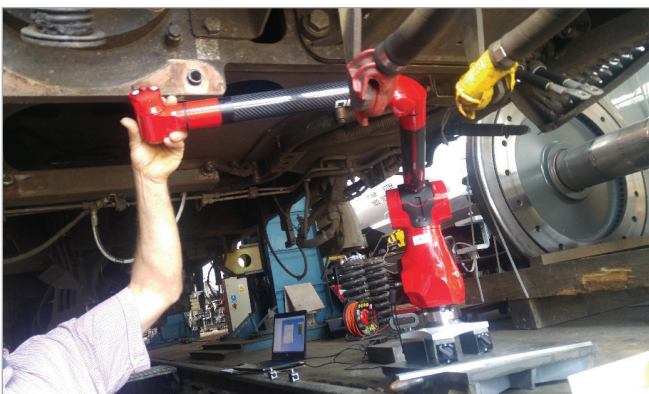




Rys. 2. Pomiary wózka jezdnego i zestawu kołowego – tarcz kół jezdnych [fot. A. Aniszewicz]



Rys. 4. Weryfikacja wymiarów podkładu strunobetonowego [fot. A. Aniszewicz]



Rys. 3. Kontrolne pomiary wymiarów i odkształceń pudła, ostoi lokomotywy oraz ram wózków po wykojeniu [fot. A. Aniszewicz]

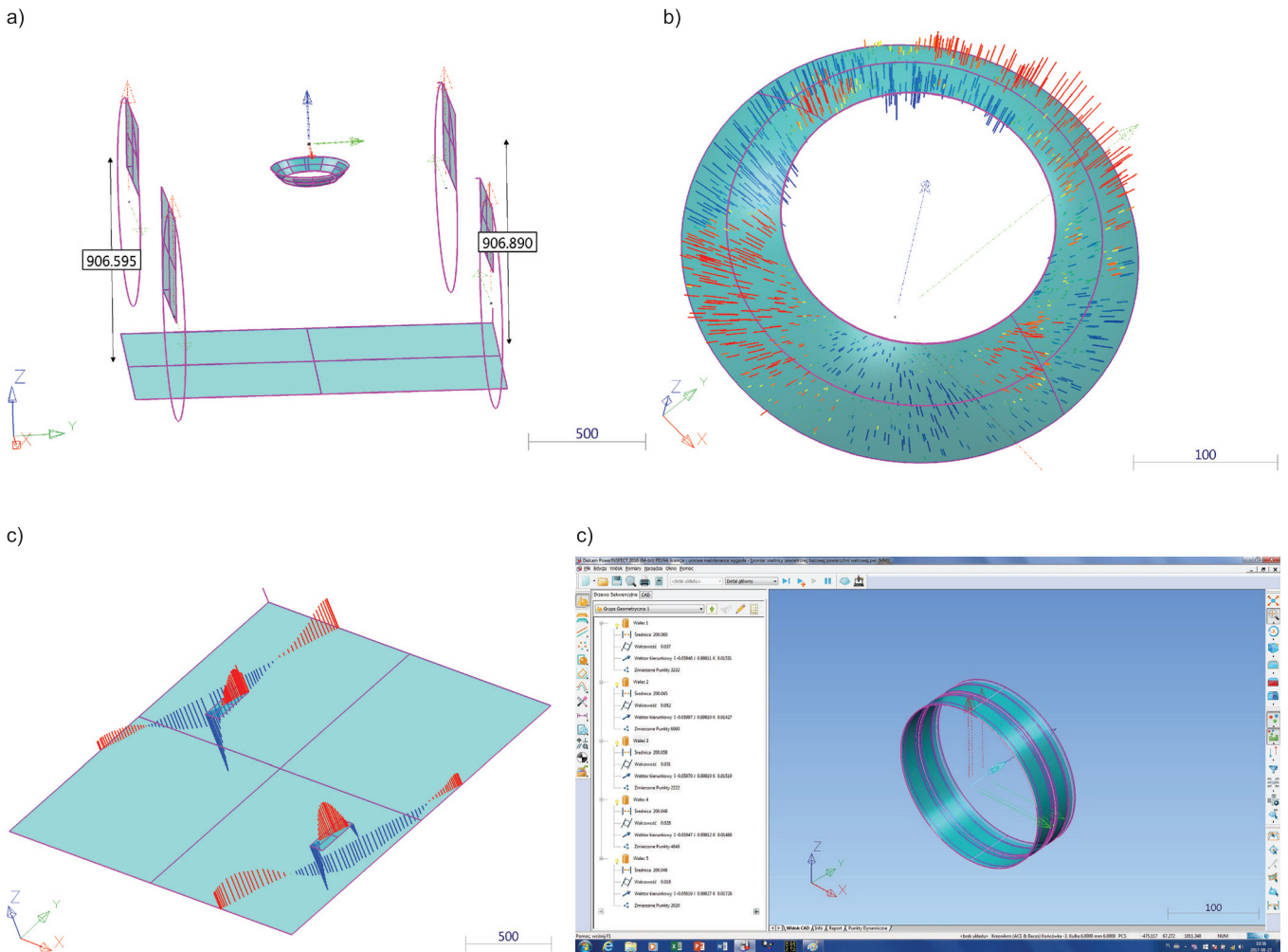


Rys. 5. Weryfikacja wymiarów sprzęgu śrubowego podczas obciążenia siłą obciążającą [fot. A. Aniszewicz]

Bardzo dokładne pomiary wykonywane za pomocą sześćoosiowego ramienia pomiarowego, były pomocne przy prowadzeniu badań nad jakością wykonania nowych elementów i obiektów taboru kolejowego, a także części składowych infrastruktury kolejowej. Między innymi zweryfikowano wymiary podkładu strunobetonowego (rys. 4), w trakcie których potwierdzono niewystarczającą dokładność jego uformowania oraz prawdopodobne zużycie formy, w której został wykonany. W trakcie badań ramieniem pomiarowym sprzęgu śrubowego, kontrolowane były wymiary przed i po obciążeniu siłą obciążającą (rys. 5). Innym zmierzonym obiektem była nowo zaprojektowana rama wózka pojazdu kolejowego, w której podczas badań wytrzymałościowych naprężeń wewnętrznych mierzono przemieszczenia wybranych punktów pomiarowych w osiach  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (rys. 6). Przykładowe wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 7.

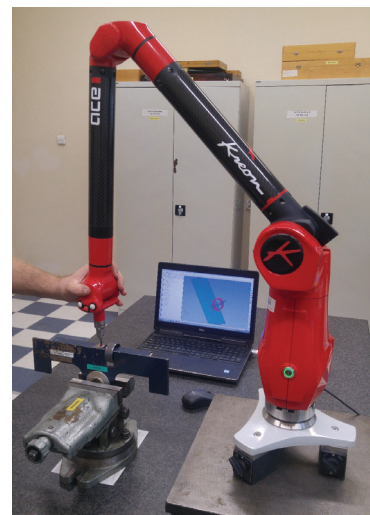


Rys. 6. Pomiary nowo zaprojektowanej ramy wózka podczas badań wytrzymałościowych: sprawdzanie naprężeń wewnętrznych i przemieszczeń w osiach  $x$ ,  $y$ ,  $z$  [fot. A. Aniszewicz]



Rys. 7. Wyniki pomiarów przedstawione w specjalistycznym oprogramowaniu ramienia pomiarowego: a) średnice okręgów toczeniowych i odległości tarcz kół zestawów kołowych oraz ich wzajemnego rozmieszczenia, b) czerwone i niebieskie szpilki odchyłek od kulistości czopa skrótu wózka, c) czerwone i niebieskie szpilki odchyłek od prostoliniowości ślizgów wózka, d) średnica czopa osi zestawu kołowego [opracowanie A. Aniszewicz]

Ramię pomiarowe wykorzystywane jest również do wzorcowania specjalistycznych kolejowych przyrządów pomiarowych. Wzorcuje się głównie przyrządy o skomplikowanej przestrzennej budowie powierzchni pomiarowych i bazowych, np. przyrząd do pomiaru rozstawu osi zderzaków, przyrząd do pomiaru mażnic typu 1XTa (rys. 8). Bez możliwości użycia ramienia pomiarowego, wzorcowanie tych i innych kolejowych przyrządów pomiarowych byłoby obciążone bardzo dużą niepewnością pomiaru. Przydatność stanowiska do wzorcowania przyrządów do pomiaru wysokości osi zderzaka nad główką szyny została potwierdzona podczas audytu PCA przez walidację stanowiska z użyciem ramienia pomiarowego oraz ocenę procesu wzorcowania z jego zastosowaniem [5, 6, 8]. W 2017 roku, w wyniku oceny PCA, Laboratorium Metrologii rozszerzyło zakres akredytacji PCA o wzorcowanie przyrządów do pomiaru wysokości osi zderzaka nad główką szyny [8].



Rys. 8. Wzorcowanie przyrządu do pomiaru mażnic typu 1XTa [fot. A. Aniszewicz]



#### 4. Podsumowanie i wnioski

Przenośne, współrzędnościowe sześciosiowe ramię pomiarowe jest uniwersalnym i przenośnym narzędziem pomiarowym. Umożliwia wykonywanie pomiarów zarówno w klimatyzowanych pomieszczeniach laboratoryjnych, jak również w halach remontowych i produkcyjnych. Dzięki zastosowaniu ramienia pomiarowego, Laboratorium Metrologii Instytutu Kolejnictwa rozszerzyło możliwości pomiarowe o sprawdzanie wymiarów konstrukcji elementów kolejowych o skomplikowanej przestrzennej budowie i kształtach o niestandardowych wymiarach rozmieszczonych w przestrzeni 3D. Laboratorium ma teraz możliwość weryfikacji zgodności wymiarów z określonymi wymaganiami technicznymi, zawartymi w mających zastosowanie dokumentach, w tym Dokumentacji Techniczno-Ruchowej, Dokumentacji Systemu Utrzymania, normach odniesienia, modelach CAD itp.

Laboratorium Metrologii wykonuje pomiary obiektów zarówno nowych, jak i uszkodzonych po wypadkach, które są odkształcone, zużyte w stopniu i w sposób uniemożliwiający wykonywanie pomiarów za pomocą standardowych specjalistycznych kolejowych przyrządów pomiarowych. Inne przyrządy pomiarowe mają za mały zakres pomiarowy oraz niewystarczającą dokładność pomiaru.

Pomiary wyrobów złożonych konstrukcyjnie, stały się łatwe w momencie pojawienia się przenośnych, dokładnych współrzędnościowych ramion pomiarowych, zdolnych do pracy w warunkach produkcyjnych oraz oprogramowania umożliwiającego zbiorcze opracowywanie wyników pomiarów uzyskanych za pomocą tych urządzeń. Możliwy jest zatem, nie tylko rzetelny i szybki pomiar, ale także zestawienie i porównanie kilku wyników pomiarów, sporządzenie wykresów błędów kształtów lub analiza zmian geometrii powierzchni postępujących w miarę zużywania się wyrobu.

Współrzędnościowe ramię pomiarowe jest przydatne na wszystkich etapach budowy i eksploatacji urządzenia. Może być zastosowane do efektywnego, szybkiego i dokładnego sprawdzania zużycia elementów oraz dokumentowania jakości wykonania nowych lub zrekonstruowanych wyrobów.

#### Bibliografia

1. Aniszewicz A., Bartoszek M.: *Problemy z pomiarem średnicy na okręgu tocznym zestawów kołowych*, Mechanik, 2016, nr 11, s. 1720–1721.
2. Aniszewicz A., Kucińska M.: *Laboratorium Metrologii Instytutu Kolejnictwa*, Prace Instytutu Kolejnictwa, 2016, z. 151, s. 12–16.
3. Aniszewicz A.: *Rozszerzenie zakresu akredytacji Laboratorium Metrologii o procedurę wzorcowania przyrządów do pomiaru wysokości osi zderzaka nad główką szyny*, Prace Instytutu Kolejnictwa, 2018, z. 159, s. 5–8.
4. Bednaruk K.: *Akredytacja procedur wzorcowania przyrządów pomiarowych stosowanych w kolejnictwie*, Problemy Kolejnictwa, 2018, z. 179, s. 7–11.
5. DAP-04. Akredytacja laboratoriów wzorcujących. Wydanie nr 10 z 24 stycznia 2019 r. [online], 2019 [dostęp 08 października 2019], dokument dostępny na: [https://www.pca.gov.pl/download/data/rep-files/userfiles/\\_public/dokumenty\\_pca/dokumenty\\_ogolne/dap-04\\_10.pdf](https://www.pca.gov.pl/download/data/rep-files/userfiles/_public/dokumenty_pca/dokumenty_ogolne/dap-04_10.pdf).
6. PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02: Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
7. Technical specifications Ace-6-axes measuring arm (Parametry techniczne ramienia pomiarowego ACE 6-osiowego) [online], 2019 [dostęp 08 października 2019], dokument dostępny na: <https://www.nyli.se/wp-content/uploads/en-Ace-6-axes-web.pdf>.
8. Zakres akredytacji Laboratorium Wzorcującego nr AP 024, wydanie nr 16, 16.09.2019 r., [online], 2019 [dostęp 08 października 2019], dokument dostępny na: <https://www.pca.gov.pl/akredytowane-podmioty/akredytacje-aktywne/laboratoria-wzorcujuce/AP%20024,podmiot.html>.
9. Zbieć A.: *Przyczyny nierównomiernego zużywania się zestawów kołowych w wagonach towarowych*, Prace Instytutu Kolejnictwa, 2017, z. 155, s. 43–47.
10. Zbieć A.: *Seminarium naukowe „Przyczyny nierównomiernego zużywania się zestawów kołowych w wagonach towarowych”*, Prace Instytutu Kolejnictwa, 2018, z. 160, s. 49–51.