

Jerzy Cejmer, Marcin Kowalski



INNOWACYJNA
GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPOJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Toromierz iTEC

- wyniki badań polowych toromierza inercyjnego

W artykule opisano przebieg badań polowych toromierza inercyjnego, przeprowadzonych w celu sprawdzenia zgodności otrzymanych wyników z wymaganiami normy EN13848. Artykuł opisuje otrzymane wyniki, ze szczególnym uwzględnieniem pomiaru nierówności oraz napotkane problemy związane z wpływem temperatury otoczenia na otrzymywane wyniki, jak i podjęte działania w celu wyeliminowania niezgodności.

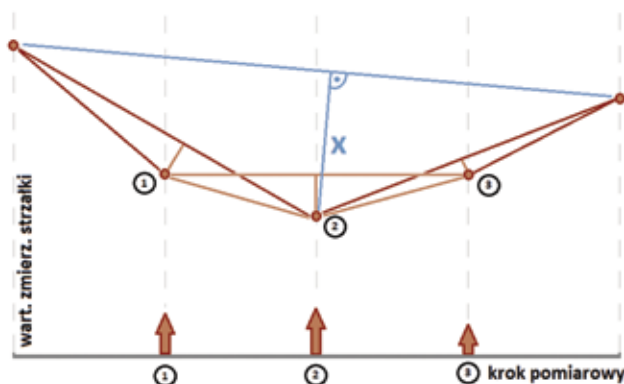
Słowa kluczowe: Toromierz inercyjny, inercyjny układ pomiarowy, pomiary toru.

W diagnostyce stanu torów, a zwłaszcza do odbioru prac remontowych coraz częściej stosowany jest toromierz inercyjny iTEC. Zasadnicza różnica pomiędzy powszechnie stosowanym toromierzem TEC, a nowym toromierzem iTEC, polega na wykorzystaniu do pomiaru nierówności poziomych i pionowych małego gabarytowego systemu inercyjnego.

Klasyczny sposób pomiaru nierówności, wykorzystywany w toromierzach typu TEC, polega na pomiarze strzałek na bazie 1 m i następnie przeliczeniu do wymaganej przez przepisy bazy 10 m, poprzez geometryczne złożenie wektorów. Metodę przeliczania nierówności obrazowano na rysunku 1.

Metoda inercyjna, stosowana dotychczas jedynie w pociągach pomiarowych, polega natomiast na rejestrowaniu przemieszczeń toromierza w przestrzeni 3D i następnie precyzyjnym odtworzeniu kształtu obu toków szynowych w przestrzeni wirtualnej. Finalne rezultaty pomiaru nierówności otrzymuje się również w symulacji komputerowej, poprzez analizę kształtu toków szynowych, w tym pomiary cięciw na dowolnie wybranej bazie pomiarowej.

Prace rozwojowe nad prototypem i jego badania były finansowane w ramach programu Innowacyjna Gospodarka (1.4). Pozytywne wyniki tych badań [1] stanowiły podstawę do opracowania wersji produkcyjnej toromierza iTEC (rys. 2).



Rys. 1. Wizualizacja geometrycznego przeliczenia nierówności na dwa razy dłuższą bazę, gdzie X oznacza wartość wyliczonej strzałki
Źródło: oprac. własne.

Przebieg badań

Dzięki nowemu inercyjnemu systemowi pomiarowemu możliwe stało się określanie nie tylko wartości różnic kolejnych strzałek łuku (kształtu nierówności), ale także wartości samych strzałek oraz wyznaczanie z wystarczającą dokładnością wartości promieni łuków torów. Po uzyskaniu pozytywnych rezultatów wstępnych badań metrologicznych i eksploatacyjnych pierwszych egzemplarzy toromierza iTEC, zlecono do Instytutu Kolejnictwa przeprowadzenie badań własności metrologicznych toromierza dla oceny jego przydatności dla potrzeb diagnostyki stanu torów. Ponadto, wobec coraz szerszego zainteresowania toromierzem inercyjnym w wielu krajach zlecono dodatkowe badania na zgodność z wymaganiami Europejskiej Normy EN13848. Bardzo często bowiem wymagania tej normy przywoływane są w wymaganiach przetargowych, nie tylko dla pojazdów pomiarowych, ale także dla ręcznych urządzeń i systemów pomiarowych. Badania toromierza iTEC przeprowadzono na torze doświadczalnym w Żmigrodzie w ramach pracy Instytutu Kolejnictwa nr 5665/11. Wnioski dotyczące przydatności toromierza iTEC dla potrzeb bieżącej diagnostyki toru, jak i do odbiorów prac remontowych i modernizacyjnych są jednoznacznie pozytywne i dotyczą wszystkich parametrów decydujących o zakwalifikowaniu torów do określonej klasy prędkości. Potwierdzona została przydatność toromierza iTEC do wyznaczania wartości strzałek na łukach dla obu toków szynowych co ilustrują rysunki 3 i 4 oraz tabele 1 i 2.

Możliwe jest więc wyznaczanie wartości strzałek dla obu toków szynowych bez konieczności zmiany kierunku jazdy. Inercyjna metoda pomiaru zastosowana w toromierzu iTEC umożliwia poprawne odtwarzanie nie tylko kształtu strzałek, ale także i ich wartości, co zostało potwierdzone przez porównanie wyników pomiarów wykonanych toromierzem z wynikami pomiarów strzałkomierzem drutowym. Przykładowe wyniki porównań wartości promieni i kształtów łuków przedstawiono na rysunku 5 i zestawiono w tabeli 3.



Rys. 2. Moduł inercyjny toromierza iTEC [1]

Tab. 1. Zestawienie parametrów statystycznych dla pomiarów nierówności poziomych (strzałek) toku lewego [mm]

Nr pom.	Km	Odchylenie standardowe	Percentyl 95	
			obliczony z pomiarów	wymagany wg EN 13848-4
pomiar nr 1-3	1 600÷2 600	0,08	+0,2/-0,1	Max ±1,0
	1 600÷1 800	0,10	±0,2	
	1 800÷2 000	0,08	+0,2/-0,1	
	2 000÷2 200	0,06	±0,1	
	2 200÷2 400	0,06	±0,1	
	2 400÷2 600	0,06	±0,1	
pomiar nr 2-4	1 600÷2 600	0,11	±0,2	Max ±1,0
	1 600÷1 800	0,14	±0,3	
	1 800÷2 000	0,09	±0,2	
	2 000÷2 200	0,11	±0,2	
	2 200÷2 400	0,12	+0,2/-0,3	
	2 400÷2 600	0,09	+0,2/-0,3	

Źródło: oprac. własne.

Badaniom i ocenie podlegały także własności eksploatacyjne toromierza iTEC. Toromierze iTEC, podobnie jak toromierze TEC, są przeznaczone do diagnostyki toru czynnego, a to wymaga możliwości łatwego zdjęcia toromierza z toru, aby przepuścić nadjeżdżający pociąg oraz kontynuacji pomiaru bezpośrednio po przejechaniu pociągu. W przypadku inercyjnych systemów pomiarowych zachowanie ciągłości pomiarów, pomimo ich przerwania, wymagało opracowania odpowiednich algorytmów obliczeniowych oraz cofania toromierza o około 10 m bezpośrednio po powrocie na tor (podobnie jak należy to robić przy wykonywaniu pomiarów toromierzem TEC). W ramach badań

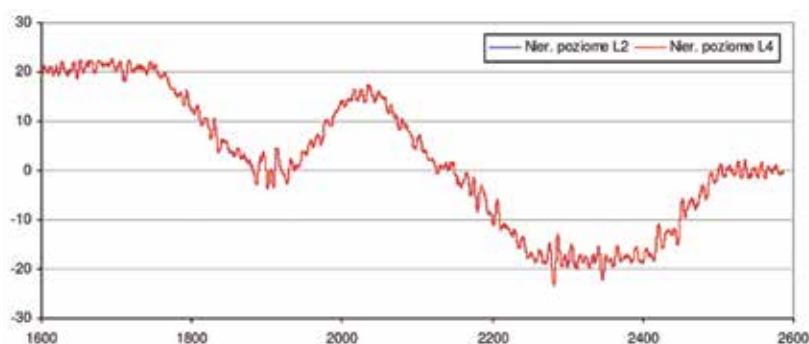
na torze w Żmigrodzie przeprowadzono testy symulujące wykonywanie pomiarów w warunkach rzeczywistych. Stwierdzono, że zdjęcie toromierza z torów i kontynuacja pomiarów nie powodują powstawania nieciągłości wykresów szerokości, przechyłki i wichrowatości torów. Natomiast dla wykresów nierówności pionowych i poziomych powstają w miejscu zejścia przerwy o długości około 1 m, nie mające wpływu na powtarzalność wyników pomiarów. Przerwanie pomiaru na prostej, łuku kołowym czy na krzywej przejściowej nie ma znaczenia dla uzyskania prawidłowego wyniku. Jeśli chodzi o spełnianie wymagań normy EN13848, to uzyskano pozytywne wyniki dla większości parametrów jednego toku szynowego. Uzyskanie pozytywnej opinii w zakresie pomiarów obu toków szynowych wzmocniłoby znacząco szanse konkurencji na rynkach międzynarodowych, ponieważ nie ma na rynku toromierza samorejestrującego, który spełniałby tak ostre wymagania. Szczegółowa analiza wyników badań przeprowadzonych przez Instytut Kolejnictwa pozwoliła wytypować główne czynniki ograniczające właściwości metrologiczne toromierza iTEC w zakresie wymagań tej normy. Okazało się, że jednym z czynników ograniczających możliwość spełnienia tak ostrych kryteriów metrologicznych dla obu toków szynowych jest wpływ zmiany temperatury. Wpływ temperatury jest szczególnie widoczny w czasie prowadzenia długotrwałych badań powtarzalności i odtwarzalności. Toromierz

Tab. 2. Zestawienie parametrów statystycznych dla pomiarów nierówności poziomych (strzałek) toku prawego [mm]

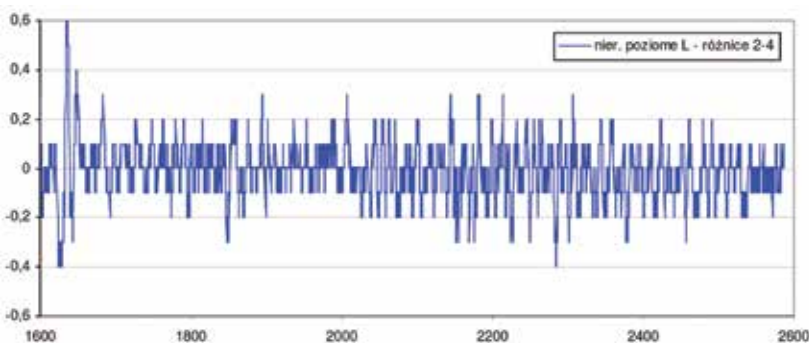
Nr pom.	Km	Odchylenie standardowe	Percentyl 95	
			obliczony z pomiarów	wymagany wg EN 13848-4
pomiar nr 1-3	1 600÷2 600	0,09	+0,2/-0,1	Max ±1,0
	1 600÷1 800	0,09	±0,2	
	1 800÷2 000	0,09	+0,2/-0,1	
	2 000÷2 200	0,11	±0,2	
	2 200÷2 400	0,08	+0,2/-0,1	
	2 400÷2 600	0,08	±0,1	
pomiar nr 2-4	1 600÷2 600	0,12	±0,2	Max ±1,0
	1 600÷1 800	0,15	+0,4/-0,3	
	1 800÷2 000	0,09	±0,2	
	2 000÷2 200	0,13	+0,3/-0,2	
	2 200÷2 400	0,12	+0,2/-0,3	
	2 400÷2 600	0,10	+0,1/-0,2	

Źródło: oprac. własne.

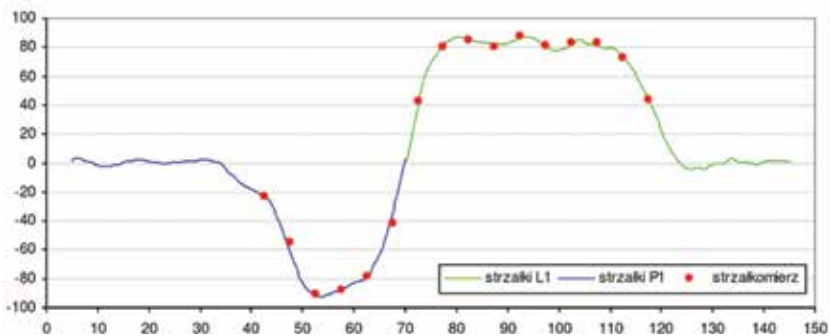
samorejestrujący reaguje na zmiany temperatury otoczenia – na przykład na skok temperatury po wyjęciu z samochodu lub pomieszczenia magazynowego i postawieniu go na torze. W takim przypadku, w zależności od gradientu temperatury, zmiany wskazań toromierza mogą być obserwowane przez czas 30–60 minut i dotyczy to zwłaszcza przechyłki. Znaczna część takiego wpływu zmian temperatury może być eliminowana przez operatora toromierza w czasie pomiarów diagnostycznych poprzez wykonywanie zerowania przechyłki, nie tylko przed rozpoczęciem pomiarów, ale także po upływie pewnego czasu od ich rozpoczęcia, jednak takiej procedury nie przewidziano



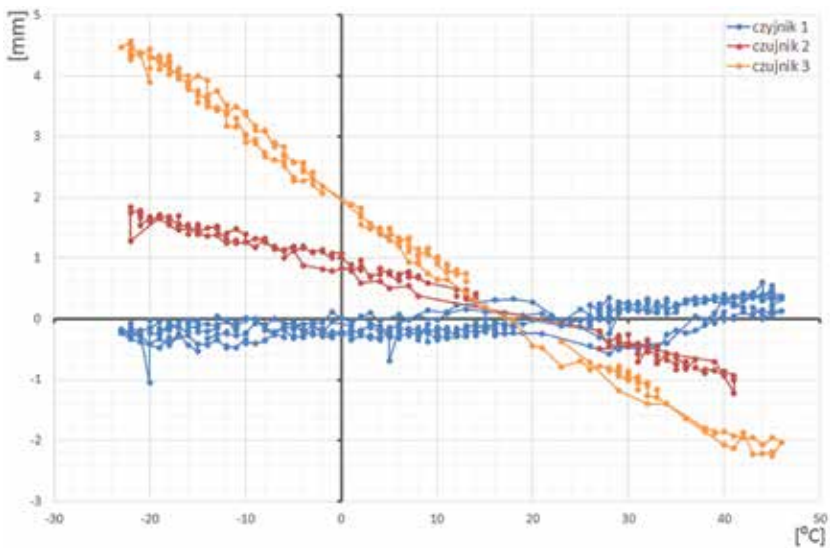
Rys. 3. Porównanie pomiarów nierówności poziomych (strzałek) toku lewego dla pomiarów nr 2 i 4 wykonywanych w tym samym kierunku na odcinku 1 600–2 600 km
Źródło: oprac. własne.



Rys. 4. Różnice pomiarów nierówności poziomych (strzałek) toku lewego dla pomiarów nr 2 i 4 wykonywanych w tym samym kierunku na odcinku 1 600–2 600 km
Źródło: oprac. własne.



Rys. 5. Porównanie pomiarów wartości strzałek na bazie 10 m wykonanych strzałkomierzem oraz toromierzem iTEC dla dwóch łuków odwrotnych o promieniach $R = 150$ m
Źródło: oprac. własne.



Rys. 6. Wykres odchylenia pomiaru przechyłki od wartości referencyjnej przy zmianie temperatury od -20°C do $+45^{\circ}\text{C}$, dla trzech badanych czujników
Źródło: oprac. własne.

Tab. 3. Zestawienie pomiarów wartości strzałek na bazie 10 m wykonanych strzałkomierzem oraz toromierzem iTEC dla łuków o promieniach $R = 150-900$ m

Promień nominalny [m]	Urządzenie	Strzałka [mm]		Promień rzeczywisty [m]
		średnia	odch. stand.	
150 (1)	iTEC	86,9	4,24	144
		86,3	3,90	145
	strzałkomierz	85,7	5,56	146
150 (2)	iTEC	83,3	2,56	150
		84,5	2,47	148
	strzałkomierz	82,9	2,70	151
600	iTEC	21,0	1,03	595
		20,9	0,91	598
	strzałkomierz	20,7	0,86	604
700	iTEC	17,9	1,52	699
		17,9	1,11	700
	strzałkomierz	17,8	1,26	703
800	iTEC	15,2	2,05	824
		15,4	1,01	812
	strzałkomierz	15,4	0,32	810
900	iTEC	13,9	0,83	898
		14,0	1,53	895
	strzałkomierz	13,9	0,48	898

w czasie wykonywania badań. W przypadku wykonywania długotrwałych badań na zgodność własności metrologicznych toromierza iTEC z wymaganiami normy EN13848 dostrzeżono ponadto wpływ zmian nasłonecznienia na wskazania toromierza. W przypadku ekspozycji toromierza na światło słoneczne temperatura wewnątrz przestrzeni z systemami pomiarowymi rośnie, a po przystąpieniu słońca przez chmury lub po przejściu w strefę cienia temperatura systemów pomiarowych opada. Ma to szczególne znaczenie w przypadku badań odtwarzalności, kiedy parametry jednego toku szynowego są uwzględniane przy obliczeniach parametrów drugiego toku szynowego – np. nierówności pionowe. W takim przypadku uzyskanie wymaganych normą wartości odtwarzalności okazało się niemożliwe bez przeprowadzenia kompensacji temperaturowej systemów toromierza iTEC. Obecnie producent prowadzi prace rozwojowe nad systemem kompensacji temperaturowej toromierza iTEC. Na rysunku 6 pokazano charakterystyki temperaturowe kilku egzemplarzy poziomic stosowanych w toromierzu iTEC.

Podsumowanie

Prace badawcze, mające na celu eliminację negatywnego wpływu temperatury otoczenia są w końcowej fazie i toromierz po zakończeniu testów wewnętrznych zostanie przekazany do ponownych badań na zgodność z normą EN13848 dla obu toków szynowych. Jednak bazując na przeprowadzonych testach polowych i biorąc pod uwagę pozytywne wyniki z prób kompensacji czułości przechyłomierzy, można stwierdzić, że możliwe będzie osiągnięcie dokładności wymaganych przez normę EN13848 dla wszystkich mierzonych parametrów.

Bibliografia

1. Cejmer J., Kowalski M., *Toromierz iTEC – wyniki badań inercyjnego układu pomiarowego*, „Przegląd Komunikacyjny” 2016, nr 12.

Autorzy:

mgr inż. **Jerzy Cejmer** – Instytut Kolejnictwa w Warszawie, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów
dr inż. **Marcin Kowalski** – P.U.T. Graw sp. z o.o.

iTEC trolley – results of the inertial trolley field tests

The article describes the course of the field tests of the inertial trolley, carried out in order to check the conformity of the results obtained with the requirements of the EN13848 standard. The article describes the results obtained with particular emphasis on the problems encountered related to the effect of the ambient temperature on the results obtained, as well as actions taken to resolve them.

Key words: Inertial trolley, inertial measurement system, track measurement.