

Toromierz iTEC – wyniki badań inercyjnego układu pomiarowego

iTEC measurement trolley - the results of tests of the inertial measurement system



Jerzy Cejmer

mgr inż.

Instytut Kolejnictwa w Warszawie,
Zakład Dróg Kolejowych i
Przewozów

cejmer@ikolej.pl



Marcin Kowalski

dr inż.

P.U.T. Graw sp. z o.o.

kowalski@graw.com

Streszczenie: W artykule opisano przebieg prac badawczych i rozwojowych podjętych w celu opracowania innowacyjnego inercyjnego toromierza elektronicznego do pomiaru strzałek toru. Opisany toromierz przeznaczony jest zarówno do codziennej diagnostyki toru, jak i do pomiarów odbiorowych torów z maksymalną prędkością 160 km/h i większych. Autorzy przytoczyli szczegółowe wyniki testów polowych i analiz wykonanych w celu potwierdzenia skuteczności metody pomiarowej.

Słowa kluczowe: Toromierz inercyjny; Inercyjny układ pomiarowy; Pomiar toru

Abstract: The article describes the course of research and development undertaken to develop the innovative inertial electronic trolley for measurement of track versines. Described trolley is designed both for the routine daily track diagnostics and the track acceptance measurements of tracks with the maximum line speed of 160 km/h and above. The authors set out the detailed results of field tests and analyses performed to confirm the effectiveness of this measurement method.

Keywords: Inertial trolley; Inertial measurement system; Track measurement

Toromierze samorejestrujące TEC są od wielu lat powszechnie stosowane dla potrzeb rutynowych pomiarów diagnostyki torów. Wyniki pomiarów tymi toromierzami przedstawiane są w sposób podobny do wyników pomiarów z drezyn EM120, a osiągnięte dokładności pomiarów poszczególnych parametrów oceny stanu torów są zupełnie zadowalające dla potrzeb tego rodzaju diagnostyki. Ponadto foliowe klawiatury pulpitu operatora umożliwiają łatwe notowanie wyników kontroli wizualnej toru i zapisywanie jej rezultatów w funkcji przebytej drogi w pliku z wynikami pomiarów. Takie zalety w połączeniu ze znacznym skróceniem czasu trwania pomiarów i ułatwieniem ich wykonywania, w porównaniu do pomiarów wykonywanych klasycznym toromierzem ręcznym spowodowały, że dzisiaj trudno sobie wyobrazić diagnostykę w zakładach PKP PLK SA bez wykorzystywa-

nia toromierzy TEC.

W miarę wzrostu zapotrzebowania na wykonywanie pomiarów odbiorowych prac inwestycyjnych w torach, zwłaszcza dla torów przeznaczonych do prędkości 160 km/godz. i większych, coraz powszechniejsze stało się oczekiwanie zwiększenia dokładności pomiarów wartości strzałek. Toromierze TEC umożliwia-

ją bowiem pomiar różnic wartości strzałek z dokładnością większą niż $\pm 1\text{mm}$ dzięki czemu kształt wykresów strzałek na bazie 10 m jest odtwarzany poprawnie, ale wyliczane z metody trójpunktowej wartości strzałek obciążone są błędem około $\pm 10\text{ mm}$, co w przypadku pomiarów odbiorowych jest nieakceptowalne.

Z tego powodu rozpoczęto pra-



1. Prototyp toromierza iTEC



2. Zdjęcie satelitarne toru próbnego (Gliwice) z zaznaczonym odcinkiem testowym

ce nad innowacyjnym inercyjnym systemem pomiaru strzałek przeznaczonym do instalacji na toromierzu samorejestrującym. Na prowadzenie tych prac badawczych i rozwojowych GRAW sp. z o.o. uzyskała dofinansowanie z programu Innowacyjna Gospodarka (1.4). W wyniku realizacji projektu powstał prototyp toromierza iTEC z innowacyjnym inercyjnym systemem pomiaru strzałek (rysunek 1).

Przebieg badań

W budowie inercyjnego systemu pomiarowego zastosowano najnowocześniejsze, małogabarytowe i niskoenergetyczne komponenty takie jak półprzewodnikowe akcelerometry i żyroskopy wytypowane na podstawie prób i testów prowadzonych w ramach projektu badawczego. Zasadniczą częścią innowacji jest system rejestracji i przetwarzania sygnałów pomiarowych umożliwiający

wyliczenie z sygnałów pomiarowych żądanych wartości parametrów geometrycznych toru. Pierwsze próby prowadzono na torach bocznicy, a wyniki pomiarów promieni łuków uzyskane z prototypu systemu inercyjnego porównano z wynikami pomiarów wykonanych techniką GPS-RTK.

Na rysunku 2 pokazano zdjęcie satelitarne torów, na których prowadzono pomiary, a wyniki obliczeń i porównań obu metod przedstawiono w tabelach 1 oraz 2. Odcinek testowy składał się z 3 prostych oraz 2 łuków o promieniach 200 i 300 metrów. W ramach testów przeprowadzono 10 pomiarów toromierzem iTEC w obu kierunkach (w odniesieniu do kilometracji toru) oraz przy różnych prędkościach wykonywania pomiarów. Jak wynika z przedstawionych wyników uzyskano bardzo dużą powtarzalność pomiarów (odchylenie standardowe średniej wartości strzałki na obu łukach poniżej 0,2 mm), jak również zgodność wyników z niezależnymi pomiarami wykonywanymi z wykorzystaniem dokładnego odbiornika GPS/RTK.

Po zakończeniu prób własnych przeprowadzenie szczegółowych badań innowacyjnego inercyjnego systemu pomiaru strzałek zlecono Instytutowi Kolejnictwa. Badania były prowadzone zarówno na torze doświadczalnym w Żmigrodzie jak i w warunkach torów szlakowych. Na rysunku 3 pokazano charakterystyczny dla toru doświadczalnego w Żmigrodzie przebieg wartości strzałek zmierzonych kilkakrotnie badanym systemem inercyjnym. Badano zarówno powtarzalność wskazań systemu inercyjnego jak i zgodność wyników jego pomiarów z wynikami pomiarów wykonanych strzałkomierzem.

Na rysunku 4 pokazano wartości różnic wyników dwóch pomiarów wykonanych systemem inercyjnym na długości toru około 300 m z wartościami strzałek zmierzonymi strzałkomierzem. Jak widać na całej długości łuku R600 uzyskano bar-

Tab. 1. Wyniki 10 pomiarów toromierza iTEC na 2 łukach testowych (wyliczona średnia wartość strzałki, wyliczona długość promienia łuku)

Pomiar toromierzem iTEC					
Łuk 1			Łuk 2		
przejazd	Średnia strzałka [mm]	promień [m]	przejazd	Średnia strzałka [mm]	promień [m]
1	41,4	302,1	1	-62,4	200,4
2	41,3	302,9	2	-62,7	199,3
3	41,5	301,4	3	-62,5	199,9
4	41,4	302,3	4	-63	198,4
5	41,5	301,4	5	-62,6	199,7
6	41,4	301,6	6	-62,9	198,7
7	41,5	301,5	7	-62,5	199,9
8	41,4	301,8	8	-62,8	199,1
9	41,4	301,6	9	-62,9	198,8
10	41,4	302,2	10	-62,9	198,7

Tab. 2. Wyniki 3 pomiarów z użyciem odbiornika GPS/RTK na 2 łukach testowych (wyliczona średnia wartość strzałki, wyliczona długość promienia łuku)

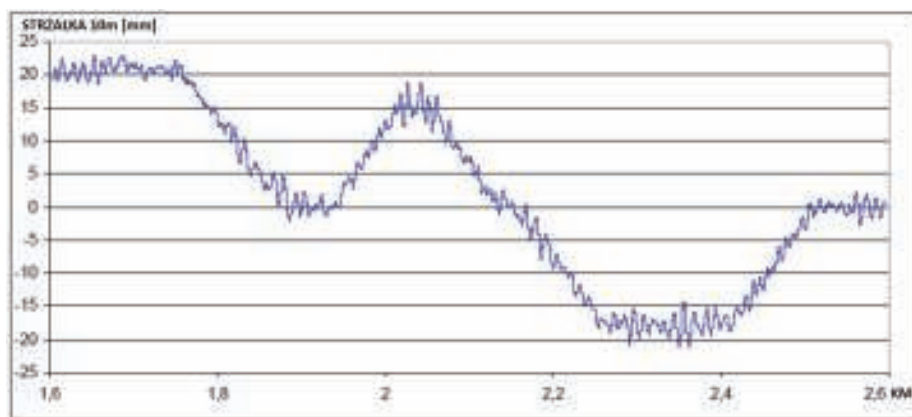
Pomiar GPS/RTK					
Łuk 1			Łuk 2		
przejazd	Średnia strzałka [mm]	promień [m]	przejazd	Średnia strzałka [mm]	promień [m]
1	42,9	291,6	1	-62,6	199,7
2	41,2	303,6	2	-62,1	201,2
3	41,6	300,6	3	-62,5	200,1

dzo dobrą zgodność wyników obu metod. Maksymalne wartości różnic strzałek na bazie 10 m są mniejsze niż 0,3, a zazwyczaj te różnice nie przekraczają wartości 0,15 mm.

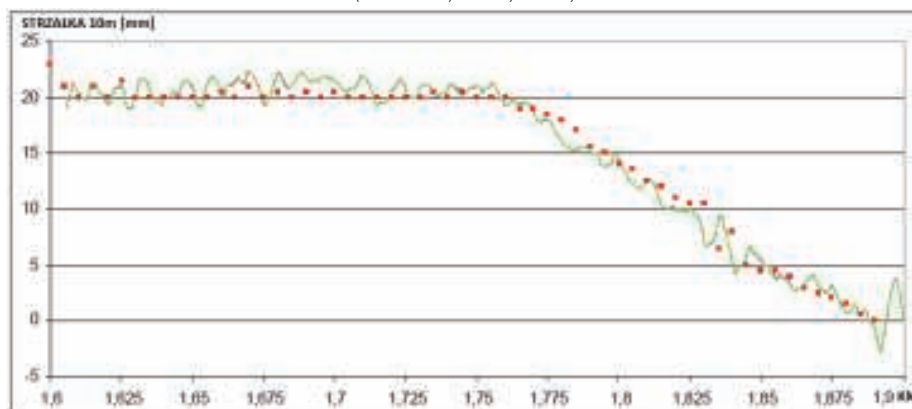
Zbiornicze wyniki badań przeprowadzonych w Żmigrodzie zestawiono w tabeli 3. Podano w niej średnie wartości strzałek i ich odchylenia standardowe oraz wyliczoną na podstawie średniej wartości strzałek rzeczywistą wartość promienia mierzonego łuku. Z zestawienia wynika, że wartości strzałek otrzymanych z pomiaru metodą inercyjną są bardzo zbliżone do wartości uzyskanych z pomiarów strzałkomierzem drutowym. Tak więc nowa metoda pomiaru strzałek, zastosowana w toromierzu iTEC, pozwala na określenie rzeczywistego promienia łuku z dużą dokładnością. O dużej dokładności pomiaru strzałek świadczy szczególnie porównanie obu metod na łukach o promieniu 150 m, gdzie – ze względu na duże wartości strzałek – pomiar strzałkomierzem drutowym jest najbardziej dokładny.

Badania własności metrologicznych prototypu systemu inercyjnego pracownicy Instytutu Kolejnictwa przeprowadzili na szlaku Konięcpol-Julianka. Badania przeprowadzono na torach prostych oraz na łukach R1050-R3000. Wyniki powtarzalności pomiarów wartości strzałek na bazie 10 m zestawiono w tabeli 4. Jak widać średnie wartości różnic są bliskie zeru, a odchylenia standardowe nie przekraczają wartości 0,4 mm.

Dla potrzeb oceny możliwości odwrotowania przez badany system pomiarowy bardziej złożonych kształtów toru przeprowadzono pomiar nietypowego odcinka toru. Zgodnie z projektem, na mierzonym odcinku tor powinien przebiegać w łuku o promieniu 674 m, ale w jego części środkowej na przejeździe kolejowym w poziomie szyn wystąpiło spłaszczenie łuku kołowego, które spowodowało, że powstał łuk koszo- wy. Pomiar strzałek metodą inercyjną oraz pomiar strzałek wykonane strzałkomierzem są zgodne, a kształt



3. Wykres rozkładu strzałek na torze testowym w Żmigrodzie na odcinku 1.6-2.6km (łuki 600m, 700m, 800m)



4. Porównanie wyników pomiarów wykonanych strzałkomierzem (czerwony) z pomiarami wykonanymi toromierzem iTEC (zielony) – łuk o promieniu 600m



5. Porównanie wyników pomiarów wykonanych strzałkomierzem (czerwony) z pomiarami wykonanymi toromierzem iTEC (zielony) na przejeździe kolejowym w okolicach 72,2 [km]



6. Wersja produkcyjna toromierza iTEC

Tab. 3. Wyniki porównania pomiarów wykonanych strzałkomierzem z pomiarami wykonanymi toromierzem iTEC

Promień nominalny [m]	Nr pomiaru	strzałka [mm]		Promień rzeczywisty [m]
		średnia	odch. stand	
150	21	86,01	5,41	145
	22	86,92	3,06	144
	23	85,86	5,43	146
	24	86,79	3,13	144
	strzałkomierz	85,7	5,56	146
150	21	82,19	2,57	152
	22	82,83	2,28	151
	23	82,21	2,61	152
	24	82,83	2,26	151
	strzałkomierz	81,63	4,12	153
600	1	20,84	0,94	600
	2	20,75	0,77	602
	3	20,83	0,94	600
	4	20,77	0,78	602
	strzałkomierz	20,3	0,61	615
700	1	17,76	1,37	704
	2	17,69	1,54	707
	3	17,76	1,37	704
	4	17,69	1,54	707
	strzałkomierz	18,1	0,38	691
800	1	15,20	1,82	822
	2	15,23	1,14	821
	3	15,20	1,83	822
	4	15,25	1,14	820
	strzałkomierz	15,19	0,35	823
900	17	13,89	0,77	900
	18	14,02	1,55	892
	19	13,93	0,76	897
	20	13,93	1,54	897
	strzałkomierz	13,9	0,70	899

Tab. 4. Wyniki porównania pomiarów wykonanych strzałkomierzem z pomiarami wykonanymi toromierzem iTEC dla łuków R1050 – R3000

Nr pomiaru	Średnia wartość błędu [mm]	Odchylenie standardowe
1 – 3 (łuk R1050)	0,04	0,30
2 – 4 (łuk R1050)	-0,03	0,28
5 – 1 (łuk R1050)	0,00	0,27
6 – 2 (łuk R1050)	0,14	0,25
7 – 9 (łuki R1920, R2500, R3000)	-0,05	0,29
8 – 10 (łuki R1920, R2500, R3000)	-0,04	0,37

tego zniekształcenia toru pokazano na rysunku 5.

Wyniki badań systemu inercyjnego pokazują więc, że wartości strzałek mierzonych systemem inercyjnym wykazują dużą zgodność z wartościami strzałek mierzonych strzałkomierzem na bazie 10 m i co

więcej system inercyjny pozwala na odtwarzanie nawet nietypowych, skomplikowanych kształtów torów. Warto przy tym podkreślić, że badania przeprowadzone przez Instytut Kolejnictwa dotyczyły także własności eksploatacyjnych prototypowego systemu inercyjnego, w tym także

technologii wykonywania pomiarów w warunkach toru otwartego. Wykonywanie pomiarów w takich warunkach wiąże się z koniecznością przerywania pomiarów na czas przejazdu pociągu i ich wznowienia po przejechaniu pociągu. Badania te wykazały, że przy zachowaniu opracowanej w ramach projektu technologii pomiaru możliwe jest przerywanie i wznowianie pomiarów bez pogorszenia ich dokładności.

Po zakończeniu prac rozwojowych i badań prototypu objętych projektem GRAW sp. z o.o. opracowała produkcyjną wersję toromierza iTEC (rysunek 6).

Podsumowanie

Pomiar strzałek i dołków odbywa się bezdotykowo systemem inercyjnym. Dla sprostania zwiększonemu zapotrzebowaniu na energię toromierz zaopatrzony jest w zewnętrzne akumulatory, które w razie potrzeby można łatwo wymienić bez przerywania sesji pomiarowej. Ponadto toromierz zaopatrzony jest w system GPS dzięki czemu wyniki pomiarów są łatwe do zlokalizowania w czasie i przestrzeni. Uwzględniając uwagi użytkowników, którzy widzą potrzebę wykonywania pomiarów inercyjnych nie tylko w czasie prac odbiorowych, ale także w wielu przypadkach codziennej diagnostyki toromierz może się komunikować przez złącze Bluetooth ze smartfonami i tabletami. Odpowiednie oprogramowanie umożliwi duplikowanie na ekranach takich przenośnych urządzeń pulpitu operatora toromierza i wprowadzanie informacji opisowych o stanie toru przez osobę nie zajmującą się bezpośrednio obsługą toromierza. Dzięki znakomitym własnościom metrologicznym i eksploatacyjnym toromierz iTEC jest stosowany coraz szerzej w kraju i za granicą. ◀