

Władysław Koc, Piotr Chrostowski, Paulina Grzejka, Cezary Specht, Leszek Lewiński

Ocena efektów regulacji osi toru na wybranej linii kolejowej

Na III Konferencji Naukowo-Technicznej „Projektowanie, Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szynowym INFRASZYN 2010” zaprezentowano referat pt. „Metodyka regulacji osi toru – stan obecny i perspektywy” [8]. Wykazano w nim, że liczne stwierdzone nieprawidłowości ukształtowania geometrycznego torów wskazują na konieczność zwrócenia uwagi na skuteczność stosowanej metodyki projektowania i realizacji. Istnieją przesłanki do stwierdzenia, że przyczynę występującej niekorzystnej sytuacji stanowi stosowana procedura regulacji osi torów. Radykalną poprawę w omawianym zakresie będzie można uzyskać po zastosowaniu ciągłych pomiarów satelitarnych, z antenami zainstalowanymi na poruszającym się pojeździe szynowym. Pozwoli to na odtworzenie położenia osi torów w bezwzględny układzie odniesienia.

Kolejny referat, dotyczący problemu regulacji osi torów, przedstawiono na IX Konferencji Naukowo-Technicznej *Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Kolejnictwie* w Kościelisku [10]. Zawierał on między innymi program badań dotyczący oceny efektów regulacji osi toru zrealizowanej metodą tradycyjną (poligonową), przy czym do weryfikacji zakładano wykorzystanie mobilnych technik satelitarnych. Jako odcinek testowy wybrano linię kolejową nr 227 Gdańsk Główny – Gdańsk Zaspas Towarowa, przeznaczoną dla ruchu pociągów towarowych z prędkością $V_{\max} = 70 \text{ km/h}$.

Pomiary satelitarne toru kolejowego

Efektywne wykorzystanie systemu GPS [11] do projektowania, inwentaryzacji i eksploatacji stało się możliwe w Polsce dopiero w połowie 2008 r. – po uruchomieniu narodowej Aktywnej Sieci Geodezyjnej, umożliwiającej wyznaczenie położenia w dowolnym miejscu w kraju z dokładnościami na poziomie 2–3 cm. W związku z zaistniałą możliwością realizacji bardzo precyzyjnych pomiarów z wykorzystaniem systemu GPS, już na początku 2009 r. zespół badawczy Politechniki Gdańskiej i Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni, przy współpracy z Zakładem Linii Kolejowych PKP PLK S.A. w Gdyni oraz firmą Leica Geosystems, przeprowadził eksperyment terenowy związany z wykorzystaniem mobilnych technik satelitarnych do określenia położenia osi toru kolejowego [9]. Pomiary te miały charakter pilotażowy, a ich głównym celem było sprawdzenie, czy metoda ciągłych pomiarów satelitarnych może okazać się przydatna do określania kształtu geometrycznego toru w płaszczyźnie poziomej.

Wykorzystując przyczepę (wagon-platformę) PWM-15 oraz ciągnik szynowy WM-15 stworzono pierwowzór kolejowego zestawu pomiarowego. Na podłodze przyczepy PWM-15 wyznaczono cztery punkty położone dokładnie nad miejscami przecięcia osi zestawów kołowych i toków szynowych. Zostały w nich przytwierdzone specjalnie zaprojektowane i wykonane stalowe pod-

stawy, na których umocowano spodarki, na nich zaś anteny do odbioru sygnałów satelitarnych. Wzajemne rozmieszczenie anten względem siebie oraz względem osi toru zostało ściśle określone pomiarami geodezyjnymi. Pomiary wykonywane były na linii kolejowej nr 201 od stacji Kościerzyna do stacji Somonino i dalej na linii nr 214 od stacji Somonino do stacji Kartuzy. Łącznie pomiarami objęto ponad 30 km torów.

Uzyskane wyniki pozwoliły na weryfikację metodyki pomiarowej, zastosowanego sprzętu i jego ustawienia. Na tej podstawie podjęto decyzję, że podczas następnych pomiarów anteny odbiorcze zostaną umieszczone w osi przyczepy (a zatem w osi toru) nad osiami zestawów kołowych pojazdu. Ustalono również, że wykorzystane zostaną dwie przyczepy, na których zainstalowane będą trzy odbiorniki sygnałów satelitarnych. Przygotowanie przyczep PWM-15 do kolejnej kampanii pomiarowej polegało – podobnie jak poprzednio – na dokładnym wyznaczeniu na podłodze przyczep punktów położonych na przecięciu osi podłużnej przyczepy z osiami zestawów kołowych. W punktach tych zostały przymocowane stalowe podstawy, a na nich umieszczone spodarki i anteny odbiorcze.



Rys. 1. Przyczepy PWM-15 z trzema odbiornikami Leica systemu 1200 SmartRover podczas przejazdu na szlaku Gdańsk Główny – Gdańsk Zaspas Towarowa

Pierwszą serię pomiarów na linii kolejowej nr 227 Gdańsk Główny – Gdańsk Zaspas Towarowa przeprowadzono w kwietniu 2010 r. Odbyło się to w okresie przygotowań do naprawy głównej toru (wymiany nawierzchni). Specjalistyczna firma geodezyjna sporządziła do potrzeb tej naprawy dokumentację techniczną, obejmującą między innymi określenie położenia istniejącej osi toru, a także projekt nowej osi. Ponadto, wykorzystując konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej ustawione wzdłuż toru, założono osnowę geodezyjną, a współrzędne osadzonych znaków określono wykorzystując stacjonarne techniki satelitarne RTK [1].

Zespół pomiarowy złożony z ciągnika WM-15 z dwoma przyczepami PWM-15 zaopatrzonymi w anteny odbiorcze (rys. 1) przebył trasę z Gdańska Głównego do Zaspy Towarowej (długości ok. 5 km) dwukrotnie. Raz przyczepy były ciągnięte, a w drodze powrotnej – pchane. Dało to możliwość oceny wpływu sposobu prowadzenia zespołu z antenami satelitarnymi na wyniki pomiarów.

Po przeprowadzeniu naprawy głównej tor został wyregulowany zgodnie ze sporządzonym projektem, a układ geometryczny sprawdzony w terenie za pomocą tradycyjnych metod pomiarowych. W listopadzie 2010 r. zestaw pomiarowy zaaranżowany identycznie, jak podczas pomiarów wiosennych, przejechał ponownie odcinek linii kolejowej nr 227 od stacji Gdańsk Główny do stacji Gdańsk Zaspa Towarowa. Zrealizowane kampanie pomiarów satelitarnych pozwalają na dokonanie analizy porównawczej otrzymanych wyników z opracowanym projektem regulacji osi toru.

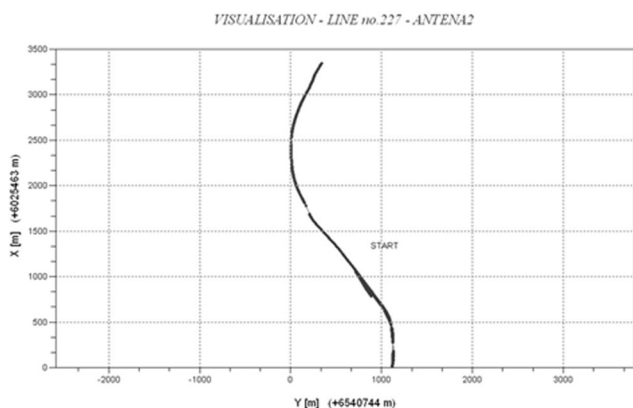
Metodyka prowadzenia analizy wyników



Rys. 2. Wiadukt kolejowy nad linią nr 227, widoczne łuki odwrotne

Objęty działaniami badawczymi odcinek toru miał bardzo skomplikowany i trudny do analizy układ geometryczny (rys. 2). Zgodnie z projektem regulacji osi toru w układzie tym występowały:

- jeden regularny łuk kołowy o promieniu $R = 330$ m z dwiema krzywymi przejściowymi;



Rys. 3. Trasa linii nr 227 na siatce współrzędnych układu 2000 – pomiar anteną nr 2, przejazd pomiarowy zgodny z kierunkiem kilometrażu (skala nieskażona)

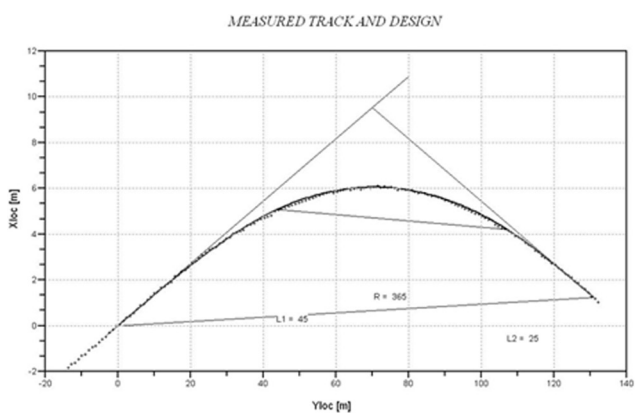
- łuk koszyowy złożony z dwóch łuków kołowych $R = 325/665$ m z trzema krzywymi przejściowymi;
- trzy łuki kołowe odwrotne o promieniach $R = 3000/3250/850$ m z sześcioma krzywymi przejściowymi;
- łuk koszyowy złożony z sześciu łuków kołowych $R = 900/935/5000/1045/1665/1000$ m z siedzioma krzywymi przejściowymi, poprzedzony łukiem kołowym odwrotnym o promieniu $R = 880$ m z dwiema krzywymi przejściowymi.

Do określenia stanu istniejącego wykorzystano pierwszą serię pomiarów satelitarnych. Na jej podstawie, za pomocą programu TRACK_VIS [7], możliwe stało się przedstawienie przebiegu całej analizowanej trasy (rys. 3).

Odcinki proste trasy oceniano wykorzystując program TRACK_STRAIGHT [5]. Podstawowe zadanie, jakim była ocena odcinków trasy położonych w łuku, wykonywano za pomocą programu TRACK_DESIGN [6], przeznaczonego zasadniczo do projektowania. Pozwalał on jednak na identyfikowanie zbioru pomierzonych punktów trasy poprzez wpisywanie łuku kołowego o odpowiednim promieniu oraz dwóch krzywych przejściowych. Stosowana metodyka projektowania została szczegółowo opisana w pracy [4].

Użytkownik określa rodzaje krzywych przejściowych oraz wprowadza długości l_1 i l_2 obydwu krzywych, jak również promień łuku kołowego R , dla których to danych program komputerowy ma wygenerować wariant przebiegu trasy między określonymi wcześniej kierunkami głównymi. Po wprowadzeniu i zatwierdzeniu danych użytkownik widzi na ekranie układ punktów w lokalnym układzie współrzędnych x, y (jak na rys. 4). Na tle punktów pomiarowych rysowany jest obliczony wariant projektowy, z wyróżnionymi zakresami krzywych przejściowych i łuku kołowego.

Na rysunku 4 pokazano rozwiązanie uzyskane po przyjęciu promienia $R = 365$ m i dwóch krzywych w postaci kłoidy o długościach $l_1 = 45$ m i $l_2 = 25$ m. Dla zwiększenia czytelności układu początki i końce obydwu krzywych przejściowych połączono ze sobą liniami prostymi.



Rys. 4. Identyfikacja połączenia dwóch kierunków głównej trasy (w skali skażonej) łukiem kołowym o promieniu $R = 365$ m oraz dwiema krzywymi przejściowymi o długościach $l_1 = 45$ m i $l_2 = 25$ m

Wartości różnic rzędnych nowo zaprojektowanych i istniejących w zakresie odciętych x (opisujących zaprojektowany łuk kołowy) użytkownik ocenia na wykresie towarzyszącym aktualnemu wariantowi. Wykres różnic odpowiadający wariantowi przedstawionemu na rysunku 4 pokazano na rysunku 5. Prezentowane

różnice Δy – pomimo tego, że nie odpowiadają ściśle wartościom potencjalnych przesunięć poprzecznych toru określanych na potrzeby etapu wykonawczego – stanowią pomocny wskaźnik przy podejmowaniu decyzji odnośnie danego wariantu podczas projektowania.

Określenie stanu wyjściowego umożliwiło wyciągnięcie wniosków na temat projektu regulacji osi toru (opracowanego w sposób tradycyjny). Druga seria pomiarów satelitarnych pozwoliła natomiast ocenić uzyskane efekty realizacyjne.

Ocena projektu regulacji osi toru i efektów realizacyjnych

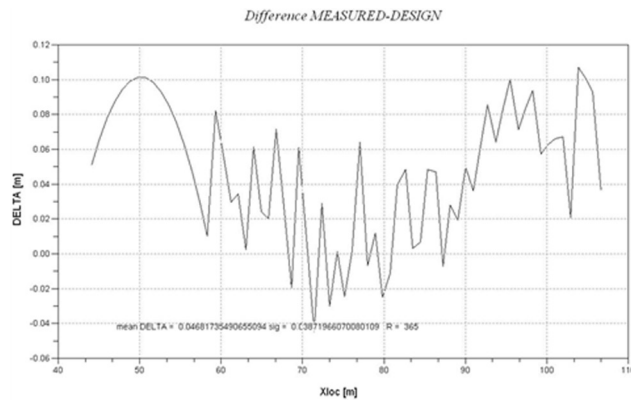
W tabelicy 1 przedstawiono zestawienie zawartych w projekcie regulacji osi toru promieni łuków kołowych i długości krzywych przejściowych na tle określonych za pomocą ciągłych pomiarów satelitarnych odpowiadających wartości wyjściowych oraz wartości uzyskanych w procesie realizacji [2].

Tablica 1

Zestawienie promieni łuków kołowych i długości krzywych przejściowych

Łuk kołowy	Faza procedury	Długość krzywej przejściowej l_1 [m]	Promień łuku kołowego R [m]	Długość krzywej przejściowej l_2 [m]
1	stan istniejący	45	365	40
	projekt regulacji	31	325	45
	realizacja	30	310	45
2	stan istniejący	40	630	45
	projekt regulacji	45	665	60
	realizacja	45	665	60
3	stan istniejący	30	2300	30
	projekt regulacji	30	3000	30
	realizacja	30	3000	30
4	stan istniejący	30	3350	30
	projekt regulacji	30	3250	30
	realizacja	30	3425	20
5	stan istniejący	20	945	30
	projekt regulacji	30	850	30
	realizacja	20	800	30
6	stan istniejący	70	350	70
	projekt regulacji	71	330	71
	realizacja	65	350	40
7	stan istniejący	60	920	30
	projekt regulacji	71	900	30
	realizacja	70	885	30
8	stan istniejący	30	900	20
	projekt regulacji	30	935	30
	realizacja	30	925	25
9	stan istniejący	90	1040	30
	projekt regulacji	30	1045	30
	realizacja	15	1035	30
10	stan istniejący	30	1720	40
	projekt regulacji	30	1709,5	30
	realizacja	30	1665	30
11	stan istniejący	40	970	20
	projekt regulacji	30	925	40
	realizacja	30	1000	40

Rozpatrując dane liczbowe zawarte w tabelicy 1, trudno byłoby wskazać wyraźne korzyści wynikające z zaprojektowanego układu geometrycznego w stosunku do stanu wyjściowego; dotyczy to



Rys. 5. Różnice między rzędnymi projektowanymi a istniejącymi (w skali skazonej) odpowiadające wariantowi z rysunku 4

również efektu końcowego procesu regulacji osi toru. Porównując dane projektowe ze stanem wyjściowym można stwierdzić, że w zasadzie nie różnią się one od siebie. Ukształtowanie geometryczne istniejącego toru było bardzo niekorzystne i można je było poprawić w projekcie regulacji osi toru, niestety ograniczono się tylko do wprowadzenia kosmetycznych zmian. Wykonany przy zastosowaniu tradycyjnej procedury projekt w zasadzie nie wnosi nic nowego, dostosowując się całkowicie do stanu istniejącego. Ograniczono się jedynie do niewielkiego zmniejszenia (występującego najczęściej) lub zwiększenia promienia łuku kołowego i ewentualnego nieznacznego wydłużenia krzywych przejściowych. Długości krzywych przejściowych nie wszędzie są zresztą powiązane z wielkością promienia łuku kołowego. Tymczasem właśnie faza projektowania okazuje się tutaj kluczowa. Przy tak złożonym układzie geometrycznym wymagane było całkowicie inne podejście.

Dysponując danymi z ciągłych pomiarów satelitarnych można rozwiązać problem w zupełnie inny sposób. Przykłady takiego właśnie postępowania zostały przedstawione w pracach [3] i [4]. Stosowanie metod analitycznych umożliwiłoby racjonalne ustalenie nowych parametrów geometrycznych, a także likwidację takiej kuriozalnej sytuacji, jak występująca na długości ok. 1300 m łuk kosztowy składający się z sześciu łuków kołowych.

Z tabelicy 1 wynika również, że po realizacji zgodność z projektem zachowuje jedynie część spośród analizowanych przypadków. W większości regulowanych układów geometrycznych zarówno promienie łuków kołowych, jak też długości krzywych przejściowych różnią się od wartości projektowych. Nie są to jednak różnice zbyt duże i dlatego, w związku z przyjętą przez zespół geodezyjny koncepcją projektowania, ukształtowanie poziome toru po przeprowadzonej regulacji jego osi niewiele się różni od sytuacji wyjściowej.

Stwierdzenia te wynikają przede wszystkim ze znajomości stanu wyjściowego, określonego na drodze pomiarów satelitarnych. Brak takich pomiarów praktycznie uniemożliwiłby jakąkolwiek formę oceny. Pomiar przeprowadzone po wykonanej regulacji osi toru jedynie potwierdziły niewielką efektywność całego procesu.

Podsumowanie

Niedługo minie pięć lat od uruchomienia w naszym kraju Aktywnej Sieci Geodezyjnej ASG-EUPOS, co umożliwiło efektywne wykorzystanie systemu GPS do projektowania, inwentaryzacji i eksploatacji linii kolejowych. Przez cały ten okres trwały intensywne

prace nad doskonaleniem techniki pomiarów satelitarnych. Nie wszystkie bowiem stacje referencyjne ASG-EUPOS mają odbiorniki dwusystemowe GPS/Glonass, ograniczając możliwość przesyłania poprawek wyłącznie do amerykańskiego systemu nawigacyjnego. Stosowane dodatkowo lokalne stacje referencyjne pozwalają nie tylko na odbiór poprawek dla systemów GPS i Glonass, lecz także na opracowanie zebranego dużego zbioru danych w *postprocessingu*.

Już pierwsze mobilne pomiary satelitarne toru kolejowego, przeprowadzone na początku 2009 r. przez interdyscyplinarny zespół naukowy Politechniki Gdańskiej i Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni, wykazały niezadowalający stan w zakresie ukształtowania geometrycznego torów w płaszczyźnie poziomej. Jako podstawową przyczynę takiej sytuacji wskazano małą efektywność stosowanych metod regulacji osi toru. Teza ta znalazła pełne potwierdzenie w trakcie badań będących przedmiotem niniejszej pracy.

Należy sobie także zdać sprawę, że pomiary satelitarne toru kolejowego (w wersji mobilnej) umożliwiają precyzyjną ocenę poprawności zrealizowanego układu geometrycznego. Ocenę tę można wykonać w dowolnym czasie i z tego powodu nie ma żadnej możliwości ukrycia jakichkolwiek nieprawidłowości. Fakt ten powinni brać pod uwagę zarówno projektanci, jak i wykonawcy. Dlatego też tradycyjne podejście do problemu regulacji osi toru traci obecnie rację bytu.



Literatura

- [1] Gocał J., Strach M.: *RTK w zastosowaniach inżynierskich – odbiorniki GPS na torach*. Geodeta – Magazyn Geoinformacyjny 5/2004.
- [2] Grzejka P.: *Ocena efektów regulacji geometrycznej osi toru* (praca dyplomowa). Politechnika Gdańska 2012.
- [3] Koc W.: *Metoda projektowania rejonu zmiany kierunku trasy kolejowej*. Problemy Kolejnictwa 2011, zeszyt 152.
- [4] Koc W.: *Projektowanie rejonu zmiany kierunku trasy kolejowej w zapisie matematycznym*. Przegląd Komunikacyjny 7-8/2012.

- [5] Koc W., Chrostowski P.: *Ocena odcinków prostych trasy kolejowej na podstawie pomiarów satelitarnych*. Przegląd Komunikacyjny 9-10/2011.
- [6] Koc W., Chrostowski P.: *Program komputerowy do projektowania zmiany kierunku trasy kolejowej*. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne, nr 3 (zeszyt 99), Kraków 2012 (XI Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Transporcie Szynowym”. Kościelisko 2012).
- [7] Koc W., Chrostowski P.: *Wizualizacja przebiegu trasy kolejowej na podstawie pomiarów satelitarnych*. IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szynowym INFRASZYN 2011”. Zakopane 2011.
- [8] Koc W., Lewiński L.: *Metodyka regulacji osi toru – stan obecny i perspektywy*. III Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szynowym INFRASZYN 2010”. Zakopane, 2010.
- [9] Koc W., Specht C., Jurkowska A., Chrostowski P., Nowak A., Lewiński L., Bornowski M.: *Określanie przebiegu trasy kolejowej na drodze pomiarów satelitarnych*. II Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szynowym INFRASZYN 2009”. Zakopane, 2009.
- [10] Koc W., Specht C., Lewiński L., Chrostowski P.: *Regulacja osi toru w warunkach pomiarów satelitarnych* (program badań). Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne, nr 95 (zeszyt 154), Kraków 2010 (IX Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Kolejnictwie”. Kościelisko 2010).
- [11] Specht C.: *System GPS*. Wydawnictwo BERNARDINUM, Pelplin, 2007.

Władysław Koc – Politechnika Gdańska
Piotr Chrostowski – Politechnika Gdańska
Paulina Grzejka – Politechnika Gdańska
Cezary Specht – Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni
Leszek Lewiński – PKP PLK Zakład Linii Kolejowych w Gdyni



XI Międzynarodowa Konferencja MET'2013 Nowoczesna Trakcja Elektryczna 10–12 października 2013 r.

Konferencja MET'2013 stanowić będzie okazję dla specjalistów zajmujących się zelektryfikowanym transportem do przedstawienia referatów oraz wyników prac omawiających aktualne trendy rozwojowe, osiągnięcia i problemy z zakresu techniki transportu elektrycznego na naszym kontynencie.

Głównym organizatorem Konferencji jest Zakład Trakcji Elektrycznej Politechniki Warszawskiej, a współorganizatorami Katedra Inżynierii Elektrycznej Transportu Politechniki Gdańskiej i Instytut Elektrotechniki.

Informacje o tej oraz poprzednich konferencjach MET dostępne są pod adresem: <http://ztu.ime.pw.edu.pl>

Adres sekretariatu MET'2013

Instytut Maszyn Elektrycznych
Zakład Trakcji Elektrycznej
Plac Politechniki 1; 00-661 Warszawa
tel.: +48 22 234 74 35, +48 22 234 73 44, fax +48 22 629 98 17
e-mail: iwona.gryz@ee.pw.edu.pl; mirosław.lewandowski@ee.pw.edu.pl
<http://ztu.ime.pw.edu.pl>