

Janusz Madejski

# Laserowy pomiar układów geometrycznych rozjazdów

**W ostatnich latach ma miejsce istotny postęp w transporcie szynowym. Większe prędkości jazdy, krótsze odstępy między kolejnymi pociągami, dłuższe pociągi o większych naciskach na oś, są przyczyną wprowadzania zaawansowanych wymagań związanych z elementami nawierzchni kolejowej.**

Problemem jest to, że bezpieczeństwo ruchu i zwiększona niezawodność muszą być zapewnione w warunkach walki konkurencyjnej, wymagającej zmniejszenia kosztów utrzymania. Należy to osiągnąć w sytuacji, gdy awaria rozjazdu może spowodować zatrzymanie ruchu w całym systemie, ze wszystkimi wynikającymi stąd konsekwencjami, związanymi z zakłóceniami rozkładu jazdy pociągów i stratami finansowymi [19]. Jest wiele systemów monitorowania charakterystyk elektrycznych i mechanicznych rozjazdów, które mogą monitorować przestawianie zwrotnic rozjazdów, rejestrować w czasie rzeczywistym ruch iglic oraz przemieszczenia ruchomych elementów w czasie przejazdu pociągów. Istnieje możliwość ustawiania sygnałów ostrzegawczych w przypadku przekroczenia tolerancji zapobiegających wypadkom [5].

Ze względu na to, że zużycie jest krytycznym czynnikiem, decydującym o niezawodności rozjazdów, konieczne jest monitorowanie postępu zużycia, które musi obejmować kontrolę wymiarów, a także kontrolę wizualną [17]. Zgromadzone dane powinny być przechowywane w centralnej bazie danych dla określonego obszaru sieci w celu oceny bieżącego stanu rozjazdu, zmian jego stanu, planowania prac utrzymaniowych i analizy efektywności wykonanych prac utrzymaniowych [1, 8, 13].

Tolerancje parametrów rozjazdów są niezwykle istotne z punktu widzenia ich utrzymania, zgodnie ze strategią remontów według stanu. W przypadku, gdy tolerancje są zbyt duże, to rozjazd ulegnie zużyciu bez ostrzeżenia, ze wszystkimi wynikającymi stąd zagrożeniami dla bezpieczeństwa ruchu. Naprawa takiego rozjazdu będzie wtedy bardzo kosztowna. Z drugiej strony, jeżeli tolerancje będą zbyt małe, to koszt utrzymania rozjazdu będzie bardzo wysoki, a jego okres życia będzie bardzo krótki, a co więcej, jego dyspozycyjność będzie bardzo mała ze względu na fakt, że wiele czasu zabiorą jego remonty, za to jednak jego niezawodność i bezpieczeństwo ruchu pociągów będą bardzo duże [11, 15, 16]. Ocena stanu rozjazdu wymaga metody uwzględniającej jego wiele cech, w tym układu geometrycznego, wyznaczone wartości oceny jakości powinny być obiektywne, zrozumiałe i powtarzalne. Wdrażanie takich miar jakości rozjazdów umożliwia ich łatwe przechowywanie, dostęp do nich i na ich analizę [22, 26].

## Gromadzenie danych

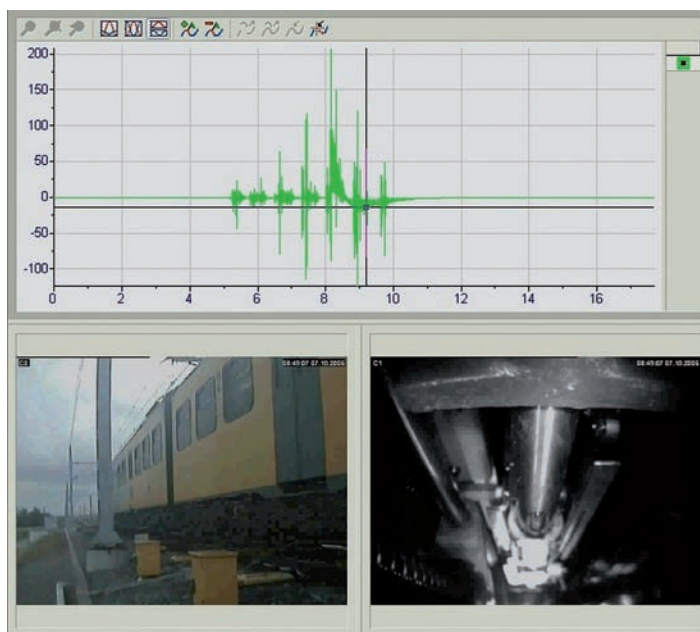
### o układzie geometrycznym rozjazdów

Dane o układzie geometrycznym rozjazdów można gromadzić korzystając z dedykowanych systemów stacjonarnych [24], przyrządów przenośnych [6, 25], toromierzy [21] i drzyn pomiarowych

[1, 3, 4, 5, 9, 14, 18, 23]. Dedykowane systemy stacjonarne mogą być wykorzystywane do szczegółowej analizy działania rozjazdu.

### Badanie wpływu zużycia rozjazdu na jego pracę

Opracowanie rzetelnego systemu oceny stanu rozjazdu wymaga dogłębnego zrozumienia sposobu jego funkcjonowania oraz wpływu, jaki jego zużycie ma na niezawodność i bezpieczeństwo ruchu. W tym celu przy budowie systemu TMS [23] wykorzystano niektóre wyniki badań prowadzonych przez firmę VolkerRail (Holandia), która prowadziła badania eksperymentalne zachowania się rozjazdów obciążonych przez przejeżdżający pociąg [24] (rys. 1).



Rys. 1. Badania zachowania się rozjazdów pod obciążeniem [24]

### Przyrządy przenośne i toromierze jako źródła danych o układach geometrycznych rozjazdów

Przyrządy te różnią się odstępem, co jaki wykonywane są pomiary wzdłuż rozjazdu. Możliwe są dwa rozwiązania: albo rozjazd jest mierzony tylko w punktach charakterystycznych, albo w sposób ciągły, na całej długości. Pomiary wykonywane tylko w punktach charakterystycznych nie dostarczają informacji na temat stanu rozjazdu między nimi, choć jest to standardowa procedura przyjęta w przepisach większości krajów.

### Przenośny przyrząd do pomiaru układu geometrycznego rozjazdu

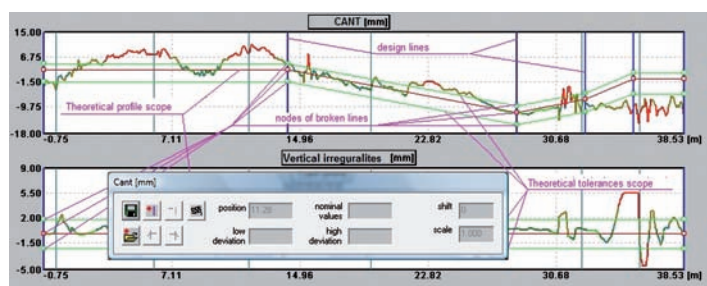
Przykładowy przyrząd [6] może być wykorzystywany do pomiaru rozjazdów nie tylko w punktach charakterystycznych, ale także – w miarę potrzeby – w dodatkowych miejscach; operator może także odnotowywać zauważone usterki rozjazdu lub toru opatrząc



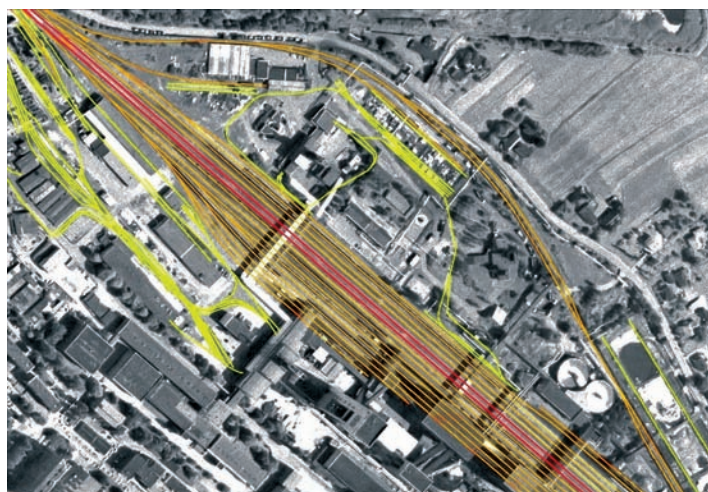
Rys. 2 – Przyrząd elektroniczny do toru i rozjazdów DTG-1435



Rys. 3 – Toromierz do pomiaru rozjazdów i toru TEE-1435



Rys. 4. Edytor profili teoretycznych rozjazdów



Rys. 5. Atrybuty sieci torów pokazane na tle zdjęcia satelitarnego

je komentarzami, które zostają zapisane wraz z wynikami pomiarów (rys. 2).

### Toromierz do pomiaru układu geometrycznego rozjazdu

Toromierz (rys. 3) zaprojektowano do prowadzenia ciągłych pomiarów układu geometrycznego rozjazdu, może także służyć do pomiarów toru [21]. *Firmware* toromierza sprawdza kompletność i poprawność wszystkich pomiarów wykonywanych dla konkretnego typu rozjazdu. Pomiary są wykonywane i rejestrowane na bieżąco co 30 mm wzdłuż drogi pomiarowej; można także wykonywać pomiary w uprzednio zdefiniowanych punktach charakterystycznych, bądź dodawać do nich w miarę potrzeby nowe punkty. Procedura oceny stanu rozjazdu, wbudowana w system, jest zgodna z wymaganiami przepisów PKP, MAV, czy DR (kolei holenderskich).

### Drezyny pomiarowe

Są to zazwyczaj pojazdy o własnym napędzie służące do pomiarów toru, prowadzonych z określoną częstotliwością. Zostały one zaprojektowane do pomiarów toru i obecnie tylko system TMS [TMS 2008] jest jedynym systemem do optycznego bezdotykowego pomiaru rozjazdów, analizy wyników pomiarów i ich rejestracji w czasie rzeczywistym. Drezyny są zazwyczaj stosowane do kontroli stanu toru, określania niezbędnych napraw, są źródłem danych do planowania prac utrzymaniowych, pozwalają także na weryfikację jakości prowadzonych prac, choć akurat to ostatnie zadanie lepiej jest realizować toromierzami elektronicznymi – przed rozpoczęciem prac, w ich trakcie, oraz po ich zakończeniu – przed odbiorem.

### Doświadczenia w ocenie stanu układu geometrycznego rozjazdów

Dane gromadzone przez wyżej wymienione urządzenia i systemy muszą być odpowiednio przetworzone dla oceny stanu układu geometrycznego rozjazdu. Na podstawie wyników ciągłego pomiaru układu geometrycznego rozjazdu wyznaczane są jego syntetyczne wskaźniki jakości [21, 22]. Wartości takich wskaźników są wyznaczane dla każdego punktu pomiarowego, zarejestrowanego podczas pomiaru ciągłego. Użytkownik może określać, które parametry mają być uwzględniane przy wyznaczaniu wskaźnika, a jego wartości przyjmują w nim wartości całkowite po normalizacji do określonego zakresu, niezależnie od rodzaju i liczby parametrów przyjętych do oceny.

Wszystkie wyniki pomiarów muszą być przechowywane w bazie danych dostępnych dla służb zajmujących się diagnostyką torów i rozjazdów. GeoTEC [10, 12] jest przykładem takiej bazy danych, wdrożonej w Holandii, Rosji, Wielkiej Brytanii i Polsce. Baza danych składa się z trzech głównych modułów – bazy danych struktury sieci, bazy danych torów i bazy danych rozjazdów. Wszystkie zgromadzone dane są następnie przetwarzane i prezentowane na mapach, wykresach i na zestawieniach tabelarycznych (rys. 5).

GeoTEC będący połączeniem bazy danych i systemu doradczego umożliwił wykrywanie słabych punktów w torach i śledzenie postępującej ich degradacji. Wyniki wieloaspektowej analizy danych opisujących układy geometryczne torów i rozjazdów, w uzupełnieniu do tradycyjnych tabel i wykresów, są udostępniane w formie zbiorczego zestawienia oraz na tle mapy, co pozwala na syntetyczną prezentację stanu rozważanego odcinka toru, czy rozjazdu. Wdrożenie w Holandii zawiera informacje o około

90% torów i około 3000 rozjazdów. Dokładność przestrzennej prezentacji danych na mapach wynosi 25 cm, a wszystkie pomiary są przechowywane w systemie GIS.

### TMS – pojazd do pomiaru rozjazdów i torów

Rozjazdy – istotny element drogi kolejowej – mające istotny wpływ na bezpieczeństwo ruchu pociągów nie były dotąd mierzone automatycznie i służby odpowiedzialne za utrzymanie ich w dobrym stanie musiały polegać na ręcznych pomiarach tylko w wybranych punktach charakterystycznych. Mimo to – „rozjazd to też tor” [22] – więc wykorzystanie wyników jego szczegółowych pomiarów w punktach położonych możliwie blisko siebie wzdłuż rozjazdu stanowi nowe podejście do poprawy bezpieczeństwa ruchu pociągów. Reagując na taką potrzebę, GRAW zaprojektował i wykonał we współpracy z firmami Volker Rail (Holandia) i LAP GmbH (Niemcy) pojazd pomiarowy z własnym napędem, wyposażony w laserowy system pomiarowy oraz DGPS (*Differential Global Positioning System*). Takie rozwiązanie pozwoliło na precyzyjną lokalizację rozjazdów, usterek toru i innych istotnych punktów (rys. 6 i 7; tabl. 1) [23]. Każdy tok szynowy jest skanowany przez systemy wizyjne, działające na zasadzie przekrojów świetlnych. W oparciu uzyskane w ten sposób obrazy możliwe jest określenie profilu szyny w obrębie jej główki oraz fragmentów stopy i szyjki.

Pojazd TMS, eksploatowany jako pociąg, może prowadzić pomiary toru z prędkością do 60 km/h co 3 m, z możliwością skrócenia tego kroku pomiarowego do 0,25 m. Jego prędkość pomiarowa w strefie rozjazdu wynosi 20 km/h z krokiem pomiarowym 3 cm, zgodnie z wymaganiami odpowiednich przepisów holenderskich (rys. 8 i 9).

System pomiarowy rozpoznaje automatycznie typy szyn, co umożliwia ocenę ich zużycia. Typy rozjazdów są wczytywane z bazy danych GeoTEC, zgodnie ze znanym bieżącym położeniem pojazdu pomiarowego. Ocena stanu układu geometrycznego rozjazdu jest prowadzona zgodnie z procedurą stosowaną w Holandii od 2000 r., która była już wcześniej dostępna w torowiskach TEE-1435 do pomiaru rozjazdów i torów. Obecnie ocena rozjazdu uwzględnia ponadto pomiar profili poprzecznych elementów rozjazdu przy pomocy wirtualnych wzorników – co stanowi symulację pomiaru ręcznego wzornikami, ujętego w odpowiednich przepisach holenderskich. W uzupełnieniu do pomiaru układu geometrycznego rozjazdów, system TMS gromadzi dane inspekcji wizualnej dla późniejszej analizy przy diagnostyce lokalizacji potencjalnie niebezpiecznych (rys. 10).

Zdalny dostęp do systemu pomiarowego pojazdu, za pośrednictwem GPRS/EDGE/UMTS umożliwia zdalną konserwację jego oprogramowania, a także na dostęp do wyników pomiarów, w tym pomiarów aktualnie wykonywanych w danym momencie. System działa w pełni automatycznie, odnajdując swą pozycję tuż po włączeniu zasilania, a następnie rozpoczyna pomiar przełączając się między poszczególnymi trybami pomiarowymi.



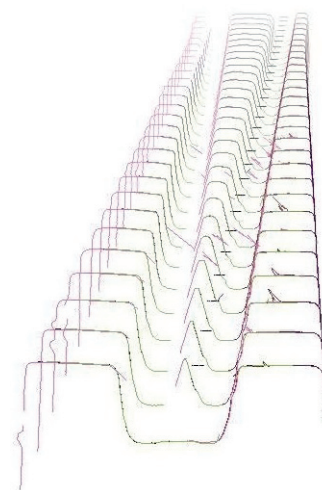
Rys. 6. Pojazd TMS



Rys. 7. Laserowy moduł pomiarowy



Rys. 8. Krzyżownica rozjazdu



Rys. 9. Obraz analizowanej krzyżownicy rozjazdu po pomiarze przez system TMS

System pomiarowy tworzy raporty, listy usterek wymagających napraw oraz służy do weryfikacji jakości prac utrzymaniowych. Zastosowanie systemu TMS stanowi przełom w ocenie stanu rozjazdów, skracając czas między kolejnymi pomiarami oraz analizą ich wyników i jej zapisaniem w centralnej bazie danych, do wykorzystania przy naprawach torów i rozjazdów (rys. 13).



Rys. 10. Przykładowy obraz z systemu inspekcji wizualnej

## Wnioski

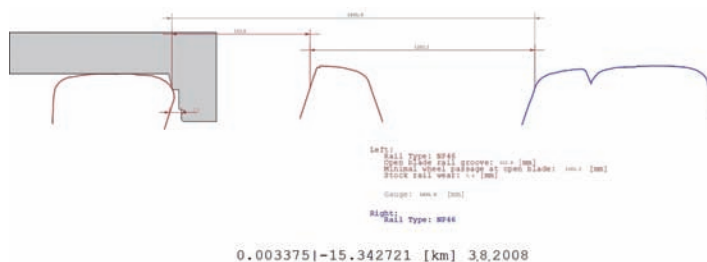
Dane pomiarowe pozyskiwane przy pomocy pojazdu TMS umożliwiają wierne odwzorowanie stanu rozjazdów dzięki dokładnym pomiarom i analizie gromadzonych wyników pomiarowych. Wyposażenie pokładowe pojazdu TMS pozyskuje dane przetwarzane w czasie rzeczywistym przez jego system komputerowy i generuje raporty, także w postaci graficznej, prezentujące stan torów i rozjazdów. Wykorzystanie ujednoczonych miar jakości pozwala na analizę parametrów rozjazdów i wykorzystanie wyników przez systemy wspomaganie decyzji o robotach utrzymaniowych rozjazdów i torów.



Tabela 1

### Parametry mierzone przez system pomiarowy pojazdu TMS

Parametr	Rozjazd	Tor	Krzyżownica
Typ szyny	✓	✓	✓
Nachylenie szyn	✓	✓	✓
Zużycie w płaszczyźnie poziomej	✓	✓	✓
Zużycie w płaszczyźnie pionowej	✓	✓	✓
Nachylenie bocznej powierzchni główki szyny	✓	✓	✓
Procentowe zużycie główki szyny	✓	✓	✓
Szerokość toru	✓	✓	✓
Zużycie opornicy	✓		
Zużycie iglicy	✓		
Szczelina pomiędzy otwartą iglicą i opornicą	✓		
Minimalna szczelina dla koła przy otwartej iglicy	✓		
Szerokość mierzona dla szyn dziobowych	✓	✓	✓
Szczelina pomiędzy szyną dziobową i toczną	✓	✓	✓
Szczelina pomiędzy szyną skrzydłową i krzyżownicą	✓	✓	✓
Szyna dziobowa - wejście	✓	✓	✓
Szyna skrzydłowa - wejście	✓	✓	✓



Rys. 11. Przykład wyniku analizy układu geometrycznego rozjazdu z wykorzystaniem wzornika MAL-1

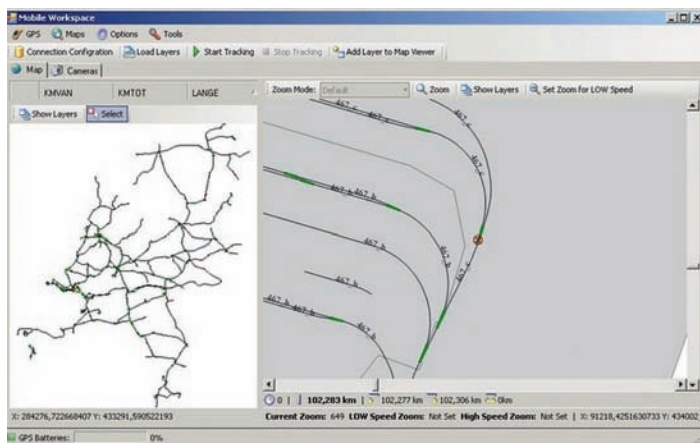


Rys. 12. Przykład zmierzonego układu geometrycznego rozjazdu przeanalizowanego przez oprogramowanie systemu TMS

## Literatura

- [1] Bałuch H.: *Zarządzanie jakością robót nawierzchniowych*. Problemy Kolejnictwa, Zeszyt 130, Warszawa (1999), s. 5–24.
- [2] Bogdan M., Fita S.: *Measurement of the Geometry of the Transverse Cross-section of a Railway*. Measurement Science Review, Volume 3, Section 3, s. 91, 2003.
- [3] Bogdaniuk B.: *Utrzymanie torów z wykorzystaniem zintegrowanego systemu ekspertowego*. Materiały Pierwszego Seminarium Diagnostyki Dróg Kolejowych, Gdańsk 18–20 maja, 1999, s. 41–66.
- [4] Burghardt J., Iwaszkiewicz M., Madejski J.: *System for the real time railway track geometry parameters evaluation*. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Signal Processing Applications & Technology, Boston, Massachusetts, USA, October 7–10, 1996, vol. 2, s. 1821–1825.
- [5] China Academy of Railway Sciences: *Comprehensive Monitoring System of Train Operating Safety for Shanghai-Nanning Line*. 2002. <http://cars.rails.com.cn/2j/gc/mj.asp?num=10>
- [6] *DTG-1435 Podręcznik użytkownika toromierza*. GRAW 2006.
- [7] Grussing M.N., U.S. Army Engineer Research and Development Center: *Railroad Track Condition Reporting And Maintenance Using A Sustainment Management System*. Proceedings of The Transportation Systems 2008 Workshop, April 21–24, 2008, Hyatt Regency Phoenix, AZ.
- [8] Jovanovic S.: *Railway Track Quality Assessment and Related Decision Making*. Proceedings of AREMA 2005 Annual Conference, September 17–20, 2005.
- [9] Lewiński L., Szczepiński D.: *Planowanie utrzymania toru w oparciu o analizę wartości współczynnika syntetycznego*. Materiały Drugiego Seminarium Diagnostyki Dróg Kolejowych, Gdańsk 24–26 maja 2000, s. 75–88.
- [10] Madejski J.: *Geotec y Equipamiento Para la Gestión de Vías y Cruces*. Proceedings of the Internacional Foro del Ferrocarril y del Transporte – Rail Forum 2008. Madrid, Spain, November 2008.
- [11] Madejski J.: *Track Geometry Analysis As Preventive Maintenance Data Source*. Proceedings of Modern Railways 2005 Conference & Exhibition; Scientific and Technological Information Research Institute, Ministry of Railways, July 5–8, 2005, Beijing, China.
- [12] Madejski J.: *Light rail and tram track and turnout geometry measurement and diagnostic tools*. Proceedings of the International Conference Urban Transport 2005, Wessex Institute of Technology, 12–14 April, 2005, Algarve, Portugal.

- [13] Madejski J.: *Map user interface development for railway infrastructure database*. Proceedings of the International Scientific Conference – Trans & MOTOAUTO'05, November 23–25, 2005, Veliko Trnovo, Bulgaria.
- [14] Madejski J.: *Autonomous track geometry diagnostics system*. Proceedings of the 11<sup>th</sup> Scientific Conference, AMME-02, Gliwice – Zakopane, 15–18 December, 2002.
- [15] Madejski J., Grabczyk J.: *Continuous geometry measurement for diagnostics of tracks and switches*. Proceedings of The International Conference on Switches: Switch to Delft 2002. Delft University of Technology, The Netherlands, March 19–22, 2002.
- [16] Madejski J., Grabczyk J.: *Track and Rolling Stock Quality Assurance Related Tools*. Proceedings of the International Conference on Computer Aided Design, Manufacture and Operation in the Railway and other Advanced Mass Transit Systems – COMPRAIL 98, Special Session on Safety of High Speed Trains, 2–4 September 1998, Lisbon, Portugal; opublikowane następnie jako rozdział w książce: „Structural Integrity and Passenger Safety”. Wessex Institute of Technology, 1999, s. 85–114.
- [17] Márquez F.P.G., Schmid F., Collado J.C.: *Wear assessment employing remote condition monitoring: a case study*. Proceedings of the 14th International Conference on Wear of Materials, Washington, DC, USA, 30 March – 3 April 2003. Volume 255, Issues 7–12, August–September 2003, s. 1209–1220.
- [18] Miura S., Takai H., Uchida M., Fukada Y.: *The Mechanism of Railway Tracks*. Railway Technology Today – Japan Railway & Transport Review, March 1998, pp 38–45.
- [19] Railroad Track Maintenance & Safety Standards: *Unified Facilities Criteria (UFC)*. UFC 4-860-03, 13 February 2008, [www.wbdg.org/ccb/DOD/UFC/ufc\\_4\\_860\\_03.pdf](http://www.wbdg.org/ccb/DOD/UFC/ufc_4_860_03.pdf)
- [20] Rogers C.: *Geometric progression*. The International Railway Journal, August 2009, s. 28–32.
- [21] *TEE-1435 Podręcznik użytkownika toromierza*. GRAW, 2008.



Rys. 13. Pozycja TMS aktualizowana w czasie rzeczywistym i pokazywana na planie sieci torów (zaznaczono na niej także rozjazdy)

- [22] Tiecken J.: *A switch is a track*. Proceedings of The International Conference on Switches: Switch to Delft 2002. Delft University of Technology, The Netherlands, March 19–22, 2002.
- [23] *TMS Turnout & Track Measurement System User Manual*. GRAW, Poland, 2008.
- [24] Volker Rail, Turnout fault detection and diagnostics: *Internal project – Volker Rail*, 2008, praca niepublikowana.
- [25] *X-Y Podręcznik użytkownika profilomierza*. GRAW, 2003.
- [26] Zaremski A.M., Bonaventura C.S., Holfeld D.: *Development of Maintenance Indices for Turnouts*. Proceedings of AREMA Conference on Railway Track and Structures, September 18–20, 2006.

**Autor**

dr inż. Janusz Madejski  
 P.U.T. GRAW Sp. z o.o.  
 Politechnika Śląska w Gliwicach

**GRAW Sp. z o.o.**

44-100 Gliwice, ul. Karola Miarki 12  
 tel./fax 32 231 70 91, [info@graw.com](mailto:info@graw.com)



[www.graw.com](http://www.graw.com)