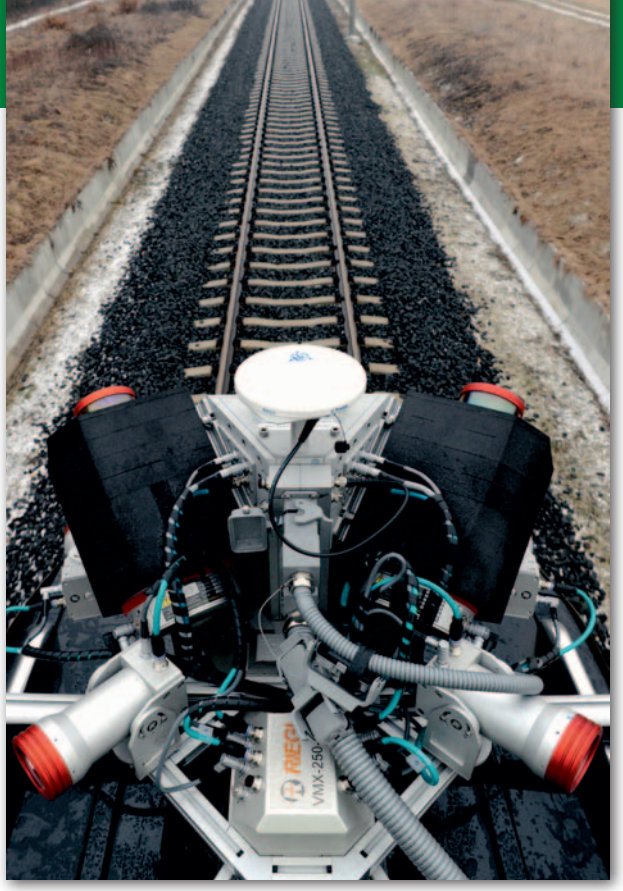
Mobilny system skanowania laserowego Riegl VMX-250 na obiektach kolejowych na Węgrzech

JAZDA PO TORACH



Riegl Laser Measurement System, wiodący producent lotniczych, naziemnych i mobilnych skanerów laserowych, oferuje kompaktowe, elastyczne i wydajne rozwiązanie do mobilnego skanowania laserowego: VMX-250. Koncepcja projektu pozwala na zastosowanie systemu prawie na każdym rodzaju pojazdu, statku lub, co opisano w tym artykule, na platformie kolejowej.

NIKOLAUS STUDNICKA,
GERALD ZACH,
CHRISTIAN SEVCIK,
IVO MILEV

Mobilny skaning laserowy jest stosunkowo nową i szybko rozwijającą się technologią pomiarową mającą różne zastosowania, na przykład w pomiarach dróg czy linii brzegowej. Ulepszenia technologiczne umożliwiają pomiar z bardzo wysoką częstotliwością i dostarczenie chmury punktów 3D o kilkucentymetrowej, a nawet lepszej dokładności. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów testowych linii kolejowej wykonanych wiosną tego roku na Węgrzech z płaskiej platformy kolejowej. Pokazano również proces przetwarzania danych obejmujący wyrównanie skanów i zdjęć do automatycznie uzyskanego układu współrzędnych toru kolejowego w połączeniu z określeniem podstawowych elementów bezpieczeństwa.

W marcu 2011 r. we współpracy z węgierską firmą usługową Geodezja Ltd. zeskanowano około 12 km linii kolejowej „Raabebahn" w pobliżu Sopron na Węgrzech. W celu minimalizacji prac przy montażu samochód z zainstalowanym systemem mobilnego skanowania laserowego VMX-250 został umieszczony na platformie kolejowej. Przy niskich temperaturach (około zera stopni) i przelotnych opadach śniegu wygodnie było obsługiwać system z wnętrza samochodu.

Wszystko gotowe do misji: Samochód z mobilnym systemem skanowania laserowego przymocowany do platformy kolejowej

OPIS ROZWIĄZANIA

System Riegl VMX-250 składa się z dwóch skanerów laserowych Riegl VQ-250 sztywno zamontowanych na głowicy pomiarowej. Głowica ta łączy jednostkę IMU/GNSS obejmującą elektronikę do pomiarów kinematycznych w czasie rzeczywistym (RTK) i trzy sensory: jednostkę pomiaru inercyjnego (IMU), antenę odbiornika globalnego systemu nawigacji satelitarnej (GNSS) i odometr (wskaźnik pomiaru odległości, DMI). Ten ostatni czujnik jest wyłączony, kiedy pojazd jest przymocowany do platformy kolejowej. Głowica pomiarowa jest podłączona do stabilnej platformy montażowej na dachu, obsługującej także modułowy podsystem aparatów VMX-250-CS6. Była ona używana w konfiguracji z czterema aparatami po 5 Mpx każdy (możliwe jest podłączenie sześciu aparatów oraz obsługa zewnętrznych sensorów).

Głowicę pomiarową z jednostką kontrolną wewnątrz samochodu łączy jeden przewód. Jednostka ta jest umieszczona w kompaktowej obudowie i zawiera zasilacz, wbudowany komputer z pakietem oprogramowania do pozyskiwania danych RiACQUIRE, wymienne dyski twarde i poręczny ekran dotykowy z wygodnym dla operatora interfejsem kontrolnym. Podczas pozyskiwania danych oba skanery laserowe działają synchronicznie, z tego powo-

Trasa projektu na zrzucie ekranowym z Google Earth

du wykonują pomiar 3D z podwójną częstotliwością pomiaru pojedynczego skanera, w sumie 600 MHz, z możliwością wielokrotnego pomiaru celu.

REJESTRACJA DANYCH

Przed przystąpieniem do pomiarów cały system został zainicjowany przy uwzględnieniu minimalnych wymagań spowodowanych ograniczeniami wynikającymi z natury transportu kolejowego w warunkach ruchu. Do rejestracji zdjęć wybrano cztery położenia kamer w ten sposób, orientując je ukośnie na zewnątrz w stosunku do systemu. Balans bieli kamer zagwarantowano poprzez użycie szarego wzorca podczas inicjalizacji systemu. Do rejestracji zdjęć wybrano automatyczny tryb dla czasu naświetlania i wzmocnienia w celu kompensacji zmiennych warunków oświetlenia. Wszystkie cztery kamery wykonywały synchronicznie zdjęcia w interwale jednej sekundy. W ciągu 30 minut trasa została przejechana dwukrotnie, po razie w każdym kierunku przy maksymalnej prędkości 60 km/h. Po pierwszym przejeździe wagon został odwrócony z wykorzystaniem pętli (patrz zrzut z ekranu z Google Earth powyżej).

W celu pierwszej, szybkiej weryfikacji jakości zebranych danych ze skaningu laserowego przetworzono je od ręki na miejscu i zwizualizowano w postaci pokolorowanych chmur punktów. Kolory reprezentują kodowany niezależny od odległości „kalibrowany poziom odbicia", który jest dostarczany bezpośrednio przez skanery dzięki analizie fali (Waveform Processing). Już w tym momencie można zauważyć zalety systemu skanowania laserowego Riegl VMX-250:

- Precyzyjny pomiar czasu przelotu impulsu, który jest używany do pomiaru odległości, pozwala na precyzyjny pomiar bardzo cienkich celów, jak przewody trakcji, nawet jeżeli system pracuje z wykorzystaniem lasera 1 klasy bezpieczeństwa.
- System oferuje znaczny margines zakresu pomiaru przekraczający 100 metrów, co oznacza, że mogą być zmierzone nawet cele o niskim współczynniku odbicia.
- Korzystanie z dwóch niezależnych skanerów laserowych – odwróconych i pochylonych skośnie do kierunku jazdy – pozwala na pomiar bezpośredniego otoczenia toru jazdy z nieznacznymi cieniami. Dlatego ważne znaki trasy są skanowane z dwóch stron.

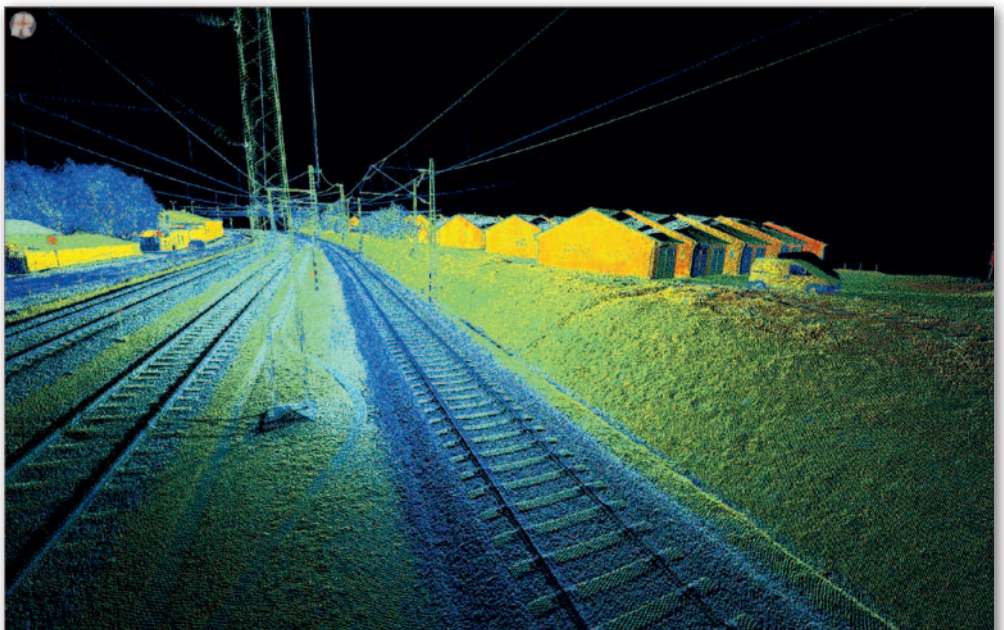
PRZETWARZANIE DANYCH

Po powrocie do biura dane trajektorii ruchu były poddane obróbce z wykorzystaniem poprawek z lokalnej stacji bazowej. Następnie skany przetworzono do chmury punktów 3D z wykorzystaniem pakietu oprogramowania Riegl dla zastosowań mobilnych i lotniczych RiPROCESS.

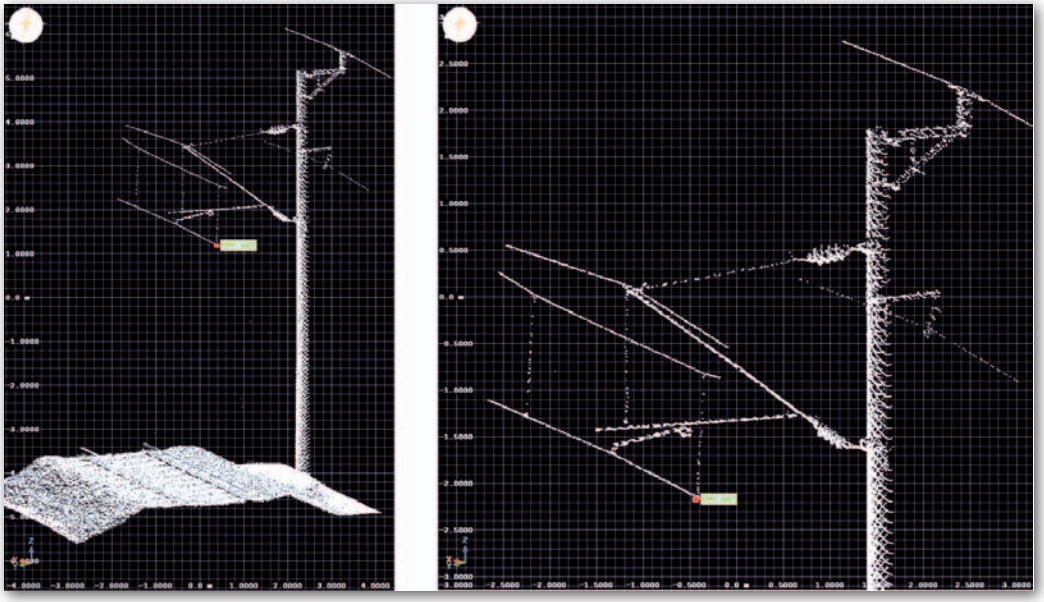
W tym projekcie zasięg ograniczono do 30 m. W rezultacie otrzymano korytarz o szerokości około 60 m. Latające punkty spowodowane opadami śniegu zostały szybko odfiltrowane przy wykorzystaniu funkcji oprogramowania. Aby skompensować wpływy małych błędów trajektorii, dwa przebiegi musiały zostać nieznacznie wyrównane. W tym celu zdefiniowano obiekty wiążące. Oprogramowanie rozróżnia trzy typy obiektów wiążących: punkty, płaszczyzny i sfery. W tym projekcie nie rozmieszczono w terenie sztucznych punktów wiążących, tak więc konieczna była do tego celu identyfikacja naturalnych obiektów w chmurze punktów wzdłuż trasy przejazdu.

- **Orientacja wzajemna chmur punktów.** W pierwszym przybliżeniu kamienie znajdujące się wzdłuż trasy w regularnych odstępach okazały się nieodpowiednie jako obiekty wiążące, z powodu ich kształtu brakowało płaskiej powierzchni dla określenia precyzyjnej powierzchni odniesienia. Ostatecznie więc jako obiekty wiążące wykorzystano przecięcia kabli napowietrznych (na rysunku na następnej stronie, oznaczone przez czerwoną kropkę i zielony napis „TPT_001"). Ponieważ pociąg był napędzany silnikiem Diesla, a wiatr znikomy, kable w pobliżu podpór można było uznać za elementy stałe w czasie dwóch pomiarów i te punkty zostały użyte jako punkty wiążące.

Wyniki pierwszego wyrównania metodą najmniejszych kwadratów pomiaru z dwóch przeciwnych kierunków pokazują resztkowe odchylenie standardowe 2,1 mm z uwzględnieniem wszystkich 3816 obserwacji odpowiadających sobie punktów, wynikających ze 180 ręcznie zdefiniowanych punktów wiążących. Oprogramowanie oblicza wartości poprawek, które są automatycznie stosowane w odpowiednich węzłach trajektorii, co znacznie poprawia dopasowanie chmur punktów.



Dane pozyskane mobilnym systemem skanowania laserowego RIEGL VMX-250



Podpora i kable nadziemne pokazujące przykład definicji punktu wiążącego

● **Orientacja bezwzględna chmury punktów.** W celu określenia bezwzględnej dokładności już stosunkowo spójnej chmury punktów wykorzystano zestaw około 30 pomierzonych naziemnych punktów kontrolnych posiadających dokładnie określone georeferencje. Punkty te zostały zaimportowane do programu RiPROCESS i połączone w pary z odpowiednikami w chmurze punktów, a następnie były wykorzystane jako obserwacje w drugim kroku wyrównania współrzędnych poziomych i wysokości. Wartości resztowe (rezydua) drugiego etapu wyrównania pokazują odchylenie standardowe 6,5 mm. System Riegl VMX-250 jest wstępnie skalibrowany fabrycznie, kalibracja systemowa pomiędzy skanerami i IMU nie była modyfikowana podczas całego procesu wyrównania.

● **Zdjęcia.** Po tej procedurze wyrównania i powtórnym przetworzeniu chmury punktów przy użyciu poprawionej trajektorii, opracowano zdjęcia z czterech aparatów. Najpierw został zoptymalizowany balans bieli kamer i dopasowanie kolorów pomiędzy kamerami. Następnie skan i zdjęcia zostały dopasowane przy użyciu kilku kliknięć myszki i poprzez znalezienie odpowiadających sobie punktów na obu typach danych. RiPROCESS oferuje odpowiednie narzędzie dla obu etapów optymalizacji do produkcji skalibrowanych zdjęć posiadających georeferencję. Do dalszego postprocessingu projekt został przekształcony do formatu LAS i globalnych współrzędnych podczas eksportu przy użyciu programu Riegl GeoSysManager.

● WYODRĘBNIENIE URZĄDZEŃ KOLEJOWYCH

Chmury punktów przeanalizowano pod kątem urządzeń kolejowych i odpowiadających im cech. Wszystkie narzędzia analiz dostępne w tym oprogramowaniu bazują na wysokiej redundancji systemów pomiaru powierzchni. Przeznaczone są w szczególności dla skanów mobilnych i zapewniają wysoką jakość oraz wiarygodne wyniki. Specjalne oprogramowanie umożliwia śledzenie osi rzeczywistej szyn przez zautomatyzowany proces modelowania bezpośrednio z chmury punktów. Rezultatem jest polilinia, która stanowi oś odniesienia dla pomiarów innych obiektów. W drugim etapie – geometrycznym – może być uzyskana reprezentacja elementu na osi i następnie używana w standardowych systemach planowania dostępnych na całym świecie.

Spektrum funkcji analitycznych obejmuje zakres od prostych porównań osi aktualnych do teoretycznych po testowanie miejsc kolizji, pomiar skrajni z zastosowaniem zdefiniowanych przez użytkownika kształtów wagonu i eksportowanie wyników modelowania (na przykład dostępna jest odległość do peronu, pozycja linii energetycznych w stosunku do osi lub są zaznaczone wszystkie punkty kolizji kinematycznej obwiedni pociągu).

● WYNIKI I WNIOSKI

Na podstawie tego testowego projektu kolejowego z wykorzystaniem systemu mobilnego skanowania laserowego Riegl VMX-250 można było zweryfikować wysoki poziom szczegółowości chmury punktów, w tym infrastruktury kolejowej. Narzędzia wyrównania w pakiecie oprogramowania systemu zostały z powodzeniem zastosowane do zebranych danych, dając w wyniku precyzyjne georeferencyjne chmury punktów i skalibrowane zdjęcia. Współrzędne szyn i elementy cechujące bezpieczeństwo można otrzymać przy użyciu oprogramowania innych firm.

Gerald Zach, menedżer produktu dla mobilnego skaningu laserowego w Rieglu, powiedział: „Korzystając z koncepcji projektu, VMX-250 może pracować na niemal każdej platformie nośnej, takiej jak pojazdy drogowe, łodzie lub wagony. Połączenie zwartości i precyzji sprzętu, dobrze dobranego oprogramowania i otwartego interfejsu dla oprogramowania innych firm pozwalają dostawcom usług generować produkty efektywnie, co podnosi ich konkurencyjność”.

Na zakończenie można więc stwierdzić, że mobilny skaning laserowy jako technologia pomiarowa ma coraz większe znaczenie. Jest to już dowiedzione dla sprzętu montowanego na pojazdach drogowych lub łodziach. Teraz projekty kolejowe – przedstawiając nowe, ciekawe obszary zastosowań – mogą stać się rozwojowym sektorem skanowania laserowego.

NIKOLAUS STUDNICKA,
GERALD ZACH,
CHRISTIAN SEVCIK,
IVO MILEV

Zdjęcia pozyskane czterema aparatami (po 5 Mpx każdy) modułowego podsystemu aparatów RIEGL VMX-250-CS6