

MICHAŁ STRACH

Nowoczesne techniki pomiarowe w procesie modernizacji i diagnostyce geometrii torów kolejowych

Streszczenie

Tematyka przedstawiona w pracy związana jest z zastosowaniem skanerów laserowych i autorskiego systemu pomiarowego do badania geometrii i stanu technicznego torów kolejowych. Ocenie podlega także możliwość zastosowania technologii naziemnego skaningu laserowego do inwentaryzacji tuneli kolejowych i obiektów inżyneryjno-technicznych ze szczególnym uwzględnieniem rozjazdów kolejowych.

Geodezyjna inwentaryzacja geometrii torów kolejowych wymaga specyficznych i precyzyjnych pomiarów. Także klasyczne badania diagnostyczne geometrii torów kolejowych i ich stanu technicznego prowadzone są według ściśle określonych zasad i dokładności ustalonych w instrukcjach. W opracowaniu zostały przedstawione dotychczasowe metody i urządzenia stosowane w geodezyjnych pomiarach inwentaryzacyjnych i diagnostyce geometrii torów. Rutynowo prowadzone pomiary muszą być unowocześniane dzięki badaniom nad automatycznym pozyskiwaniem i analizą danych. W opracowaniu zostały przedstawione badania dotyczące możliwości zastosowania naziemnych skanerów laserowych do kompleksowej oceny geometrii i stanu technicznego nawierzchni kolejowej. W przeprowadzonych testach zostały zweryfikowane możliwości uzyskania wymaganych dokładności przy zapewnieniu niezawodności pomiaru i osiągnięciu założonych efektów ekonomicznych.

Prace badawcze zostały przeprowadzone na kilku reprezentatywnych odcinkach testowych torów. W doświadczeniach wykorzystano różne typy naziemnych skanerów laserowych. Były to najnowsze urządzenia dostępne w ofercie czołowych producentów sprzętu pomiarowego. W testach wzięły udział dwa stacjonarne skanery fazowe: Z+F IMAGER 5006 firmy Zoller + Fröhlich oraz HDS7000 firmy Leica, a także skaner impulsowy Leica Scan Station C10. Do analiz włączono również pomiary przeprowadzone systemem mobilnego skanowania laserowego Riegl VMX-250. W łączeniu chmur punktów pochodzących z poszczególnych stanowisk skanerów stacjonarnych zastosowano precyzyjne tarcze celownicze. Wybrane tarcze zostały umieszczone na wskaźnikach regulacji osi torów. Było to możliwe dzięki zastosowaniu autorskiego projektu adaptera tarcz. Konstrukcja i sposób jego wykorzystania zostały zgłoszone do ochrony w Urzędzie Patentowym RP. Wyniki pomiarów posłużyły do przeprowadzenia oceny dokładności określenia parametrów geometrycznych toru i skrajni budowlanej. Analizom poddano także dokładność wyznaczenia parametrów geometrycznych w diagnostyce toru i rozjazdów.

Wpływ na jakość obserwacji i dokładność prowadzonych analiz ma rodzaj powierzchni skanowanego obiektu, jego odległość od skanera oraz kąt padania wiązki lasera na obiekt. Powyższe czynniki zostały uwzględnione w testach pomiarowych weryfikujących dokładność

i jakość odwzorowania różnych typów powierzchni szyn. W pracy zaproponowano także sposoby optymalizacji pomiarów terenowych i zwiększenia dokładności późniejszych analiz geometrii toru. Przeprowadzone testy terenowe posłużyły także do oceny możliwości wykorzystania naziemnych skanerów laserowych do identyfikacji i wyznaczania wielkości usterek występujących w nawierzchni szynowej.

Okresowej kontroli stanu technicznego podlegają także budowle kolejowe. W pracy poddano analizie możliwość zastosowania stacjonarnych skanerów laserowych do inwentaryzacji tuneli kolejowych. Poczynione w testach obserwacje posłużyły do przeprowadzenia analiz skrajni budowlanej, a także parametrów geometrycznych i stanu technicznego konstrukcji tunelu. Ocenie poddano również dokładność wyznaczenia geometrii toru w badaniach diagnostycznych. Na podstawie współrzędnych osi toru, wyznaczonych dla wyselekcjonowanych przekrojów tunelu, sporządzono projekt regulacji toru. Projektowany przebieg toru został zweryfikowany z uwzględnieniem warunku zachowania skrajni budowlanej.

Liczne badania, w jakich zastosowano różne rodzaje naziemnych skanerów laserowych, potwierdzają tezę pracy o możliwości zastosowania testowanych urządzeń w pomiarach skrajni budowlanej oraz do inwentaryzacji nawierzchni kolejowej i w diagnostyce geometrii torów i rozjazdów. Uzyskanie wymaganych dokładności uzależnione jest jednak od spełnienia szeregu warunków technicznych. Dotyczą one: dokładności pomiarowej urządzeń, zdefiniowanego trybu pomiarowego oraz położenia skanera w stosunku do inwentaryzowanego obiektu.

W pracy został zaprezentowany autorski projekt systemu pomiarowego. Zbudowany z wykorzystaniem osiągnięć mechatroniki układ (zestaw pomiarowy) umożliwia automatyzację pomiarów pochylenia podłużnego i przechyłki torów kolejowych. Ideą przyświecającą jego budowie było wyznaczenie wysokości punktów reprezentujących tor z wymaganą dokładnością bez konieczności prowadzenia pomiarów niwelacyjnych. W pracy została opisana budowa układu pomiarowego opartego na inklinometrach elektronicznych oraz jego testowanie i kalibracja laboratoryjna. Terenowe badania doświadczalne zostały przeprowadzone na dwóch odcinkach toru różniących się geometrią i stanem technicznym. Dokładność określenia kształtu niwelety toru oraz wysokości punktów osi toru uzależniona jest od układu pomiarowego oraz algorytmu zastosowanej metody obliczeniowej. W pracy zostały przedstawione wyniki oceny dokładności pomiarowej inklinometrów. Zweryfikowano także pomiarowo-obliczeniową dokładność uzyskanych wyników. Algorytm wyznaczenia wysokości punktów niwelety został oparty na kilku metodach obliczeniowych. W jednym z algorytmów zastosowano model prostej łamanej na kolejnych przekrojach toru. Zastosowane zostały także interpolacyjne kubiczne oraz aproksymacyjne funkcje sklejące. Przeprowadzone testy potwierdzają tezę pracy o możliwości zastosowania nowych udoskonalonych systemów pomiarowych automatyzujących wyznaczenie pochylenia podłużnego i przechyłki torów kolejowych.

MICHAŁ STRACH

**Modern Surveying Techniques
in the Process of Modernization and Diagnostics
of Railway Track Geometry**

Summary

The subject matter presented in this dissertation is associated with the use of laser scanners and the author's original measurement system to study the geometry and technical condition of railway tracks. The possibility of using terrestrial laser scanning technology for conducting inventories of railway tunnels, as well as engineering and technical structures with particular emphasis on railway turnouts, is subject to evaluation.

Surveying inventory of railway track geometry requires specific and precise measurements. Conventional diagnostic tests of railway track geometry and their technical condition are also carried out according to strict rules set out in instructions. This monograph presents the current methods and equipment used in inventory surveying and diagnostics of the railway track geometry. The measurements carried out routinely must be upgraded and modernized by successive studies on automatic data acquisition and analysis. The dissertation presents studies on the possibilities to use terrestrial laser scanners for a comprehensive assessment of the geometry and the technical condition of railway tracks. The conducted tests verified the possibilities of obtaining the required accuracy while ensuring the reliability of the surveys and achieving the assumed economic effects.

The research tests were carried out on several representative sections of the analyzed tracks. The experiments used various types of terrestrial laser scanners. They were the latest devices available from the leading manufacturers of surveying equipment. The two stationary phase scanners: Z+F IMAGER 5006 by Zoller + Fröhlich and HDS7000 by Leica, as well as pulse scanner Leica Scan Station C10, were used in the tests. The analysis also included surveys conducted with mobile laser scanning system Riegl VMX-250. For the connecting of point clouds from different positions of stationary scanners, precision scanner targets were used. Selected targets were placed on the track axis adjustment indicators. It was made possible thanks to applying the author's original design of a target adapter. Its construction and method of use have been reported for protection at the Polish Patent Office. The results obtained from the surveys were used to assess the accuracy of determining the geometric parameters of a track and clearance. The precision of determining geometric parameters in the diagnostics of tracks and turnouts were subject to the analysis as well.

The type of surface being scanned, its distance from the scanner and the angle of incidence of the laser beam on the structure have an effect on the quality of the observation measurements and the accuracy of their analyses. These factors were taken into account in the measurement tests verifying the accuracy and quality of the projection of different types of the rail surface. The dissertation also proposes methods of field measurement optimization

and of increasing the accuracy of the subsequent analyses of the track geometry. The conducted field tests were also used to assess the possibility of using terrestrial laser scanners for identifying and determining the size of faults occurring in the rail surface.

Railway structures are subjected to periodic technical inspections as well. The dissertation has analyzed the possibility of using stationary laser scanners for railway tunnel inventories. The observations carried out in the tests were used for conducting the analysis of the clearance, as well as the geometric parameters and the technical condition of the tunnel structure. The assessment also covered the accuracy of determining the track geometry in diagnostic tests. Based on the coordinates of the track axis, determined for selected sections of the tunnel, track regulation project was prepared. The designed course of the track has been revised subject to the condition of preserving the clearance.

Numerous studies in which various types of terrestrial laser scanners were used, confirm the thesis of this dissertation about the possibility to use the studied devices for the clearance measurements and railway track inventories as well as in diagnostics of the geometry of tracks and turnouts. Obtaining the required accuracy, however, is dependent upon a number of technical conditions. They relate to: the accuracy of the surveying equipment, the defined measurement mode and the scanner position in relation to the inventoried structure.

This monograph presents the author's original project of the measurement system. The system (a test set), which was built using the achievements of mechatronics, allows to automate the measurements of the longitudinal grade and the cant of railway tracks. The idea behind its construction was to determine the height of the points representing a track with the required accuracy, without a need for conducting leveling surveys. The dissertation describes the structure of the measurement system based on electronic inclinometers, as well as its testing and laboratory calibration. Experimental field studies were conducted on two sections of the track, which differed in geometry and technical condition. The accuracy of determining the shape of the track gradeline and the height of the track axis points depends on the measurement system and the algorithm of the applied calculation method. The dissertation presents results of assessing measurement accuracy of inclinometers. The measuring and calculation accuracy of the obtained results was examined as well. The algorithm determining the height of the gradeline points was based on several methods of calculation. In one of the algorithms, a model of a polygonal line on sequential sections of the track was used. Interpolation cubic and approximation spline functions were also used. The conducted tests confirm the thesis of the dissertation of the applicability of the new, improved measurement systems, which automate the determination of longitudinal grade and cant of railway tracks.