

**SYSTEMY DO POMIARU SKRAJNI KOLEJOWEJ
– PRZEGLĄD I TENDENCJE ROZWOJOWE**

**RAILWAY CLEARANCE MEASUREMENT SYSTEMS
– REVIEW AND DEVELOPMENT TRENDS**

Sławomir Mikrut, Krystian Pyka, Regina Tokarczyk

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: skrajnia kolejowa, kamera cyfrowa, kalibracja kamery, skaner laserowy

STRESZCZENIE: Pomiar skrajni budowli linii kolejowej jest zagadnieniem bardzo praktycznym, realizowanym na całym świecie przy pomocy różnych systemów pomiarowych. Pomiar ten ma na celu głównie określenie granic przestrzeni, jakich nie może przekroczyć żaden obiekt (np. budynek), znajdujący się przy torze. W niniejszym artykule dokonano przeglądu wybranych, istniejących systemów pomiarowych służących do określenia skrajni budowli. Aktualnie pracujące systemy oparte są głównie na trzech grupach metod: fotogrametrycznej – wykorzystującej parę zdjęć, metodzie profili świetlnych zadawanych światłem lasera i rejestrowanych przez szybką kamerę cyfrową oraz metodzie bazującej na pomiarze dalmierzem laserowym lub skanerem laserowym. W systemach najbardziej zaawansowanych łączy się powyższe metody pomiarowe. W opracowaniu wykazano wady i zalety poszczególnych systemów oraz dokonano podsumowania technologicznego wykorzystanych urządzeń pomiarowych. Jak wynika z przeprowadzonych badań literaturowych, aktualnie w przypadku systemów dedykowanych diagnostyce skrajni dominują najczęściej rozwiązania oparte na skanerach laserowych, pozyskujących dane w postaci profili rejestrowanych prostopadle do kierunku jazdy, wsparte ewentualnie systemami wizyjnymi. Natomiast w przypadku uniwersalnych mobilnych systemów widać wyraźną dominację wspólnych konfiguracji skanerów laserowych i kamer cyfrowych wspartych rejestracją INS/GNNS. W tych systemach pomiar obiektów jest odniesiony do globalnego układu współrzędnych, a następnie, po detekcji główek szyn, odbywa się transformacja do układu osi toru. Wstępna analiza prowadzi do wniosku, że dokładność pomiaru skrajni jest wyższa dla systemów specjalistycznych niż dla uniwersalnych.

1. WSTĘP

W perspektywie kilku lat zostanie przeprowadzona kodyfikacja polskich linii kolejowych. Kodyfikacja usprawnia transport, zwłaszcza towarowy, gdyż znane są – poprzez kody – rodzaje ładunków, które można bez uzyskiwania formalnych pozwoleń przewozić na liniach kolejowych. Aby dopuścić wagony i ładunki zaklasyfikowane do określonej grupy gabarytowej do przejazdu wskazaną linią kolejową, należy uprzednio sprawdzić, czy nie nastąpi kolizja pociągu z obiektami znajdującymi się w pobliżu torów. W tym celu trzeba wykonać taki pomiar wolnej przestrzeni wzdłuż torów, który wyjaśni, czy wystarcza

ona do bezpiecznego transportu ładunku reprezentującego jedną ze standardowych grup gabarytowych. W efekcie pomiarów linia kolejowa zostaje opatrzona kodem wskazującym, jakie ładunki mogą być po niej przewożone. Ale nie wystarczy jednorazowa kwalifikacja linii, zarządca torów będzie zobowiązany do stałego monitorowania przestrzeni okołotorowej, gdyż musi gwarantować bezpieczeństwo transportu.

Wolna przestrzeń wokół toru, gwarantująca przejazd pociągu bez kolizji z kolejowymi urządzeniami technicznymi, mostami czy budynkami, nazywa się skrajnią budowli. Pomiar skrajni wykonywany jest w kolejnictwie od dawna, jednakże kodyfikacja wymaga, aby metoda pomiaru była nie tylko odpowiednio dokładna, ale także bardzo szybka. Poszukuje się takich metod pomiarowych, które są realizowane przez urządzenia zamontowane na pojeździe szynowym poruszającym się z prędkością nawet 100 km/godz.

W pracy przedstawiono przegląd współcześnie stosowanych metod pomiaru skrajni oraz zarysowano tendencje rozwojowe. Tematyka została podjęta w związku z ogłoszeniem na początku 2011 roku przez Polskie Linie Kolejowe SA zamówienia publicznego pt. „Opracowanie innowacyjne metodyki i informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej”. Ostatecznie, w wyniku przetargu, zadanie jest wykonywane przez zespół złożony z pracowników Akademii Górniczo-Hutniczej, w którym uczestniczą autorzy pracy.

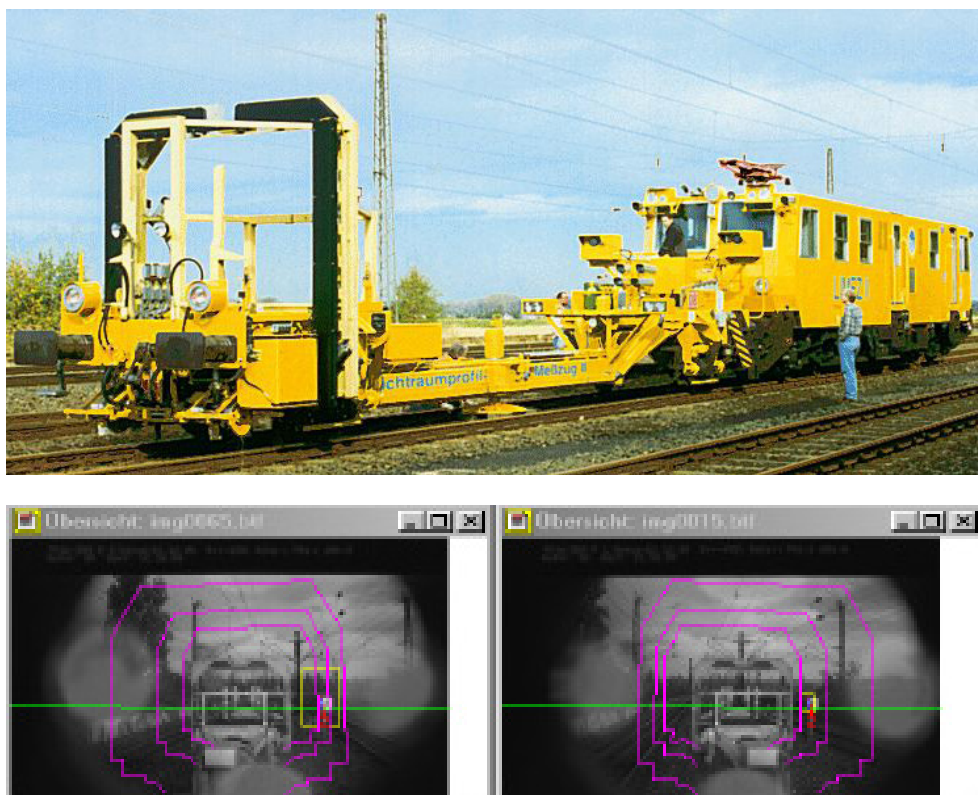
2. DWUOBRAZOWE SYSTEMY FOTOGRAMETRYCZNE

Metody fotogrametryczne jako metody zdalne wykorzystuje się przy pomiarze skrajni w wielu systemach. Zdalna rejestracja sprzężonymi kamerami o dużej prędkości akwizycji umożliwia pomiar w trakcie ruchu platformy, a dokładna znajomość modelu kamer i ich wzajemnego położenia pozwala na osiągnięcie wysokich dokładności pomiaru. Natomiast problemem jest automatyzacja pomiaru: algorytmy *matchingu* na obrazach w bliskim zasięgu nie są tak wydajne i szybkie, jak dla obrazów lotniczych.

Klasyczna metoda fotogrametryczna polega na równoczesnym wykonaniu dwóch zdjęć o osiach równoległych lub lekko zbieżnych z bazy prostopadłej do osi toru. Parametry kalibracji kamer i ich wzajemne ułożenie są znane, ewentualne elementy kontrolne pozwalają na korekcję niestabilności.

Dokładność pomiaru takim zestawem jest zależna w głównej mierze od rozdzielczości kamer i jakości geometrii wiązek odtwarzanych w kamerach. Na obu zdjęciach mierzone są homologiczne punkty potencjalnych obiektów kolizyjnych znajdujących się w pobliżu wrysowanego na obrazach wektora skrajni. Jest on rzutowany na obrazy na podstawie jej standardowych rzeczywistych obrysów w odniesieniu do osi toru, a „ustawianych” w zadanych odległościach od kamer. System pomiarowy posiada odrębny moduł pomiarowy do wyznaczenia osi toru, o znanym położeniu względem układu fotogrametrycznego. Ten ostatni odniesiony jest do układu zestawu elementów kontrolnych (fotopunktów) korygujących położenie kamer i nadających georeferencję.

Przykładem takiego systemu fotogrametrycznego był system LIMEZ II, utworzony dla Deutsche Bahnen przez firmę Technet ze Stuttgartu przy współdziałaniu Instytutu Geodezji i Fotogrametrii Uniwersytetu Technicznego w Berlinie (Rys. 1). Pierwsze wykorzystanie systemu datuje się na rok 1996. Nazwa systemu jest akronimem nazwy niemieckiej **L**ichttramuprofil **M**ess**Z**ug.



Rys. 1. Widok systemu pomiarowego LIMEZ II.
Poniziej zdjęcia z wczytanymi obrysami skrajni (Schewe *et al*, 1999)

Jednostka pomiarowa składała się z platformy, będącej unikalnym składnikiem systemu, na której zamontowano na stałe elementy pomiarowe. Były to: kamery video, dwie kamery cyfrowe, układ pomiaru osi toru, komputer, oprogramowanie i pulpit kontrolny.

Zsynchronizowane kalibrowane kamery niewielkiego formatu o znajdowały się w odległości około 2.5 m. Wyposażono je w obiektywy o ogniskowej 31 mm i siatkę reseau. W odległości 11 m od kamer znajdowała się rama z umieszczonymi na niej 22 punktami dostosowania, ulokowanymi w trzech płaszczyznach w stosunku do bazy fotogrametrycznej. Na zdjęciach mierzono obiekty znajdujące się w obszarze 3 m przed i 3 m za najdalszą od kamer ramą z fotopunktami, w pasie 20 cm wewnątrz i na zewnątrz rzutowanego na zdjęcia obrysu skrajni. Lokalizacja ewentualnej przeszkody odnosiła się do osi toru w odniesieniu do kilometraży trasy (odczyt z kamery video).

Pomiar zdjęć prowadzono w sposób półautomatyczny, z wykorzystaniem specjalnie dostosowanej do pomiaru skrajni wersji programu PICTRAN-L. Mierzone były krzyże reseau, sygnały punktów dostosowania na ramie oraz punkty homologiczne w obszarze zainteresowań. Ostateczną weryfikację potencjalnie kolizyjnych obiektów dokonywał operator, zaznaczając go obrysem dodawanym do wektora skrajni. Wynikiem pomiaru była baza danych, w której znajdowały się między innymi informacje o rodzaju obiektu kolizyjnego, jego lokalizacji wzdłuż toru, numery zdjęć, itd.

Na LIMEZ II wzorowano się przy konstruowaniu polskiego systemu UPS 80 firmy Graw. Pomiary fotogrametryczne wspomagane były profilomierzem laserowym, przy czym pomiary laserowe miały większą dokładność, ale prowadzone były statycznie, gdy tymczasem pomiary fotogrametryczne prowadzono w trakcie ruchu pojazdu.

Do systemów wykorzystujących fotogrametrię dwuobrazową należy również chiński system Leader2000 RMMS. Składa się on z dwóch par kamer CCD, montowanych sztywno w górnej części z przodu i z tyłu pojazdu pomiarowego. Orientacja stereogramów dokonywana jest z wykorzystaniem GPS i FOG gyro oraz wzdłuż toru za pomocą DMI. Pomiar zdjęć dokonywany jest manualnie, program komputerowy wyznacza współrzędne punktów obiektów kolizyjnych i przelicza je do układu toru.

3. FOTOGRAMETRYCZNA REJESTRACJA PROFILI ŚWIETLNYCH

Wykorzystanie profili zadawanych światłem laserowym rejestrowanych na zdjęciach z kamery cyfrowej opiera się na prostej zasadzie triangulacji. Płaszczyzna światła realizowana przez bardzo szybki skaner tworzy w przecięciu się z obiektem linię profilu. Położenie płaszczyzny względem kamery o znanych parametrach rzutowania jest stałe i wyznaczone w procesie kalibracji zestawu. Wykorzystując światło w zakresie bliskiej podczerwieni można na zdjęciach łatwo „pozbyć się” wszystkiego, oprócz profilu, którego pomiar jest przeprowadzany automatycznie, z gęstością wynikającą z rozdzielczości geometrycznej kamery.

W systemie pomiarowym profile są zadawane w płaszczyznach prostopadłych do osi toru, w odstępach zależnych od częstotliwości skaningu, częstotliwości rejestracji kamery i prędkości platformy pomiarowej.

Firma Balfour Beatty Rail Technologies skonstruowała system do pomiaru skrajni (Rys. 2), w którym połączono szybki skaner LaserFlex z kamerami HD Video.



Rys. 2. System pomiarowy Balfour Beatty Rail (BBRI 2011)

Częstotliwość pracy kamer – 1 kHz umożliwia rejestrację profili co dwa centymetry przy prędkości pociągu pomiarowego 120 km/godz. Bardzo duża gęstość chmury punktów uzyskanych z pomiaru pozwala na identyfikację obiektów.

Metoda profili świetlnych wykorzystywana jest najczęściej w różnych systemach w module do pomiaru osi toru. Nad torem na poziomej belce umieszczone są dwie pary skaner-kamera. Moduł jest skalibrowany w stosunku do pozostałych części systemu, jako że to on wyznacza oś odniesienia pomiarów skrajni.

4. SYSTEMY BAZUJĄCE NA SKANINGU LASEROWYM

Rozwinięciem systemu LIMEZ II jest LIMEZ III (Rys. 3). W założeniach konstrukcyjnych systemu pomiarowego oparto się na pomiarze metodą skaningu laserowego, w którym bazuje się na obserwacjach odległości i kąta. Współrzędne punktów zatem obliczane są metodą biegunową. Postanowiono oprzeć się o dwie (opcjonalnie trzy) głowice pomiarowe: skanery mierzące w płaszczyźnie w zasięgu 360°. Inne składniki systemu to: kamery video do dokumentacji i wsparcie systemu mierzącego, jednostka pomiaru toru, system georeferencyjny (GNSS/INS, odometr).

Jednostka pomiarowa to fazowy skaner obrotowy, skanujący w płaszczyźnie, o dokładności pomiaru odległości < 6 mm, mierzący 3600 punktów na profil. Przy zastosowaniu skanera o podwójnym lustrze profilującym, przy pojedynczej głowicy gęstość pomiarowa wynosi 300 profili na sekundę, przy 4 głowicach może osiągnąć 1200 profili, co przy prędkości maksymalnej pociągu da profile co 2÷3 cm.

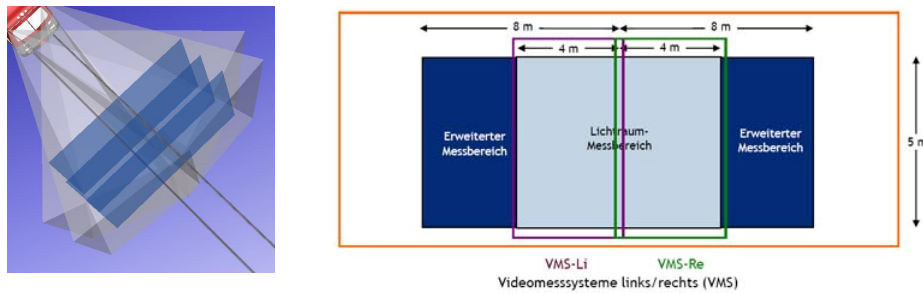
W systemie zamontowano również kamery video, które służą do dokumentacji przebiegu pomiaru i pozwalają na identyfikację elementów kolizyjnych, lokalizację profili, ewentualnie na pomiar stereo wybranych obiektów.



Rys. 3. LIMEZ III. Widok przodu lokomotywy (Meier, 2009)

System spełnia założone wymagania dokładnościowe:

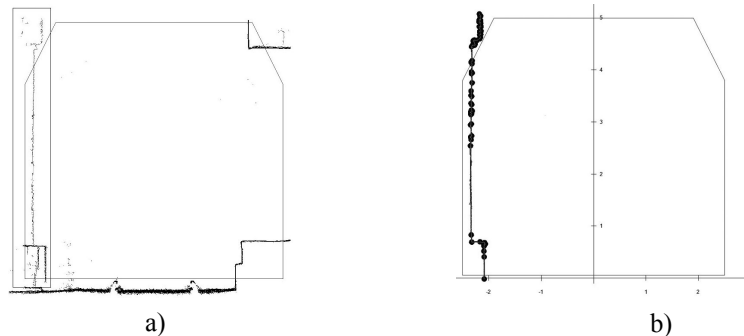
- dla pomiaru toru: dokładność pomiaru szerokości: 2 mm, wysokości: 2 mm, gradient: 1 m/1 km, promień: 1%,
- dla pomiaru otoczenia: dokładność pomiaru szerokości: 40 mm, przewyższenia: 4 mm, względna: 20 mm, Prędkość maksymalna jednostki pomiarowej: 100 km/godz.



Rys. 4. Zasięg kamer video w LIMEZ III (Meier, 2009)

W systemie LIMEZ III wykorzystuje się dwie kamery VDS (Rys. 4), dające 20 obrazów na sekundę, mające zasięg pola widzenia w terenie $16 \times 5 \text{ m}^2$, umieszczone z przodu i z tyłu jednostki jezdnej, oraz dwie kamery VMS umieszczone z przodu pojazdu, obrazujące szeroki zakres terenu do przodu, a jednocześnie ich nakładające się obrazy dają możliwość pomiaru stereo. Do pomiaru szyn wykorzystano skanowanie światłem, gdzie profil świetlny (dla każdej szyny) rejestrowany jest przez kamery CCD.

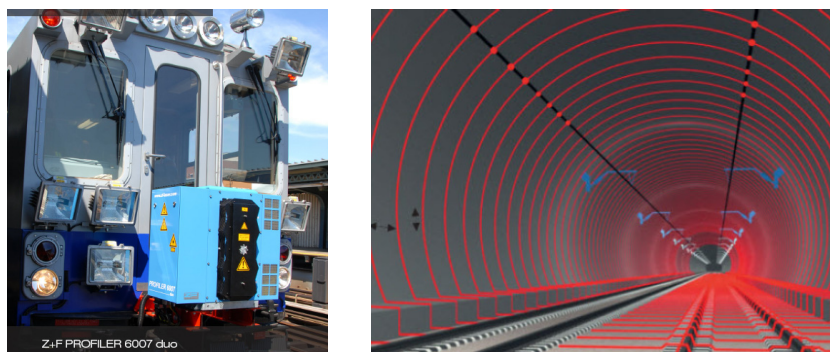
Georeferencja pozyskiwana jest z użyciem HzL1/L2-GPS/GLONASS, oraz systemu inercyjnego iNAV-RQH-Rail od iMAR. *Postprocessing* polega na filtracji pozyskanej chmury punktów przede wszystkim w oparciu o filtr odległościowy (Rys. 5).



Rys. 5. a) Filtracja chmury punktów na podstawie odległości od skrajni, b) modelowanie konturu obiektów kolizyjnych skrajni z chmury punktów (Meier, 2009)

Kolejnym przykładem bazowania na danych ze skaningu laserowego wykorzystywanym do badania skrajni jest system Z+F Profiler 6007 DUO. „The high-speed laser Canning system Z+F PROFILER 6007 DUO” to jedno z najnowocześniejszych rozwiązań firmy Zoller + Fröhlich jeśli chodzi o skanery 2D. Dedykowany jest wysokodokładnościowo-

wym pomiarom z możliwością pracy przy dużych prędkościach platformy jezdnej. Dane pozyskiwane w płaszczyźnie 2D mogą być opracowywane również w układzie 3D przy wykorzystaniu dodatkowych sensorów takich jak GPS lub INS. System bazuje na dwóch skanerach działających w płaszczyznach prostopadłych do kierunku jazdy i pozyskujących dane w formie profili (Rys. 6).



Rys. 6. Widok po zamontowaniu systemu Profiler 6007 DUO oraz przykład danych (Zoller+Fröhlich, 2010)

Urządzenie daje możliwość definiowania przez użytkownika poziomej i pionowej rozdzielczości. Dla przykładowej prędkości 50 km/h pozyskuje 2048 punktów na przekroju.

Aktualnie najnowszym rozwiązaniem dedykowanym dla tego typu rozwiązań jest skaner PROFILER 9000, różniący się od modelu 6007 DUO głównie tym, że miejsce dwóch skanerów zajął jeden. System był prezentowany pierwszy raz na corocznej konferencji INTERGEO 2011, jego parametry techniczne przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry techniczne systemu Profiler 9000

Parametr	dane
Metoda pomiaru	Przesunięcie fazowe
Klasa lasera	1
Prędkość skanowania	200 profili/sec.
Rozdzielczość kątowna	0.0088° (40,960 pixel/360°)
Szybkość pozyskiwania danych	max. 1.016 mln pix/sec
Wymiary (szerokość × głębokość × wysokość)	320 × 260 × 340 mm

Kolejnym rozwiązaniem służącym do określania skrajni jest system RailMapper. Jest to mobilny system dedykowany dla kolejnictwa zaprojektowany przez niemiecką firmę IGI we współpracy z firmą Nabel&Partner oraz brytyjską firmą 3D Laser Mapping. System bazuje na wcześniej testowanym i wykorzystanym rozwiązaniu mobilnego skaningu laserowego o nazwie StreetMapper. Części składowe systemu:

- dwa systemy skanerowe pozyskujące dane w zakresie 360°,
- system kamer video,
- system kamer RGB do kolorowania chmury punktów,
- kamera termalna (DigiTHERM).

System może mierzyć do 600 000 punktów na sekundę, wykorzystuje sprawdzone rozwiązanie TERRAcontrol do synchronizacji sensorów i precyzyjnego określania ich położenia dzięki jednostce GNSS/IMU, która jest również zintegrowana z optycznym odometrem. System pozwala na pozyskiwanie danych przez platformę poruszającą się z dużą prędkością (ponad 90 km/h).

W systemach do pomiarów skrajni kolejowej wykorzystywane są również systemy zaprojektowane pierwotnie dla mobilnych, drogowych zastosowań. Przykładem takiego systemu jest mobilny system skanujący RIEGL VMX-250 testowany już dwukrotnie w Polsce do realizacji zadań związanych z pozyskiwaniem danych do określania skrajni budowli (Rys.7).

System składa się z 4–6 kamer mogących rejestrować obrazy z rozdzielczością 1.4, 2 lub 5 megapikseli. System wyposażony jest również w 2 skanery VQ-250 mogące pracować przy różnej częstotliwości pomiaru (100 do 600 Hz). Prędkość skanowania linii do 200 linii/sekundę, przy maksymalnej efektywności częstotliwości pomiaru 600 000 pomiarów/sek. ($2 \times 300\,000$ pomiarów/sek.). System wyposażony jest również w urządzenie INS/GNSS zapewniające bezwzględną dokładność położenia w przedziale 20÷50 mm (Minten, 2011).



Rys. 7. System VMX-250 z dodatkowymi kamerami Nikon 700

Aktualnie wdrażana jest przez firmę RIEGL nowa platforma skanująca VMX-450 wyposażona w skanery VQ-450, pozwalające skanować z dwukrotnie większą prędkością w porównaniu do poprzedniej wersji (VQ-250), tj. 400 linii/sek.

Rozwiązania laserowe wykorzystywane do określania skrajni budowli, a bazujące na systemach mobilnych wcześniej zaprojektowanych do rozwiązań drogowych, korzystają najczęściej z dwóch skanerów ustawionych pod kątem, pozyskujących dane w postaci przecinających się profili. Jest to inne rozwiązanie niż pozyskiwanie w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku jazdy platformy pomiarowej jak ma to miejsce w przypadku systemu np. Z+F Profiler.

Jedno i drugie ma swoje wady i zalety. Sensownym wydaje się połączenie tych dwóch metod i znalezienie wspólnego rozwiązania „hybrydowego”.

Autorzy artykułu prowadzą badania w tym kierunku.

5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono trzy rozwiązania, które są aplikowane w systemach do pomiaru skrajni, instalowanych na pojazdach szynowych. Rozwiązania te omówiono w kolejności, w jakiej były wdrażane w kolejnictwie. Najstarsze, stosujące fotogrametrię dwuobrazową, są najliczniej reprezentowane w działających operacyjnie systemach. Systemy stereowizyjne stosowane są m.in. w Niemczech, i Chinach, były także wykorzystywane w Polsce. Nieco rzadziej wykorzystuje się systemy triangulacyjne, oparte na fotogrametrycznej rejestracji profilów świetlnych. Natomiast skaniny laserowe dopiero od kilku lat wkracza do zastosowań kolejowych.

Metoda fotogrametrii dwuobrazowej osiągnęła praktycznie swój kres rozwojowy. Systemy stereowizyjne cechuje wysoka dokładność, a jednocześnie brak możliwości pełnej automatyzacji pomiaru. Zdjęcia muszą być przeglądane przez człowieka, który wybiera miejsca wymagające pomiaru na modelu stereoskopowym. Ponieważ zdjęcia wykonywane są w interwale kilkumetrowym, ich liczba jest duża, a odpowiedzialność obserwatora bardzo wysoka. Do tej pory nie udało się skutecznie zautomatyzować procesu opracowania zdjęć stereoskopowych. Wynika to ze specyfiki przestrzeni pasa kolejowego, w której obiekty stanowiące przedmiot pomiaru są stosunkowo małe, często wysmukłe, pomiędzy nimi na zdjęciach rejestrowane jest względnie dalekie tło, co gwałtownie zmienia głębokość modelu stereoskopowego.

Fotogrametryczna rejestracja profilów laserowych, będąca pewnego rodzaju triangulacją, daje większe możliwości automatyzacji opracowania niż metoda fotogrametrii dwuobrazowej. Profile zarejestrowane na zdjęciach wektoryzuje się automatycznie i zestawia się je w sekwencję przekrojów, co następnie pozwala na wykrycie miejsc kolizyjnych w płaszczyźnie skrajni. Opisany w pracy system firmy angielskiej reprezentuje bardzo wysoki poziom technologiczny, prawdopodobnie najwyższy spośród systemów do pomiaru skrajni używanych w świecie.

Technika mobilnego skaningu laserowego jest dobrze rozwinięta w zastosowaniach drogowych. Służy tam do inwentaryzacji stanu i geometrii nawierzchni dróg. Możliwe jest wykorzystanie doświadczeń drogowych dla potrzeb kolejowych, co jest przedmiotem licznych eksperymentów. Ponadto podejmowane są próby połączenia metody stereowizyjnej ze skanowaniem laserowym. W rozwiązaniach hybrydowych skaniny przejmują rolę systemu wiodącego, a fotogrametria – uzupełniającego. W stosunku do metody triangulacyjnej, w której obiekty są rejestrowane tylko w profilach prostopadłych do osi toru, skaniny pozwalają na odwzorowanie obiektów z różnych perspektyw, co potencjalnie daje większe możliwości identyfikacji samego obiektu. Zaletą skaningu laserowego jest możliwość pomiaru w układzie globalnym, co zwiększa funkcjonalność systemu, gdyż poza pomiarem skrajni można modelować geometrię torów.

Każda z zaprezentowanych metod (fotogrametryczna, triangulacyjna i skaningowa) jest w stanie, przy odpowiedniej konfiguracji sprzętowej i z wykorzystaniem zaawansowanego przetwarzania danych, osiągnąć dokładności pomiaru skrajni na poziomie od kilku do kilkunastu mm. Kluczowym elementem dla dokładności skrajni jest identyfikacja szyn służąca do definiowania układu osi toru, do którego odnosi się pomiar skrajni. Dlatego w wykorzystywanych operacyjnie systemach pomiarowych instaluje się dodatkowe urządzenie, rejestrujące tylko szyny, a działające na zasadzie triangulacji fotograficzno-laserowej. Sprawia to, że działające systemy są bardzo złożone, kosztowne i wymagają częstej kalibracji.

Reasumując należy zauważyć, że fotogrametryczne systemy dwuobrazowe nie spełniają współczesnych oczekiwań stawianych pomiarom skrajni, zwłaszcza w kontekście kodyfikacji. Metoda triangulacji laserowo-fotograficznej najlepiej wypełnia obecnie potrzeby bardzo szybkiego i wydajnego pomiaru skrajni. Najbardziej przyszłościowe są systemy oparte na skaningu laserowym, które w chwili obecnej muszą być wspomagane pomiarem stereowizyjnym.

6. LITERATURA

Balfour Beatty Rail Technologies, 2011. Materiały BBRT dla AGH. "Limited Gauging Capability Overview and Consideration of Areas of Support in PKP PLK's Gauging Research Project".

Chen Z., Hu Q., Guo S., Tuan J., 2007. Application of L-MMS in Railroad Clearance Detection, <http://www.cirgeo.unipd.it/cirgeo/convegna/mmt2007/proceedings/>

GRAW, 2011, <http://www.graw.com/index.php/pl/pojazd-ups-80.html>

Meier J., 2009. Prezentacja "LIMEZ III – Der neue Lichtraummesszug der Deutschen Bahn „Railborn High-Speed Laserscanning“. 3. Hamburger Anwenderforum Terrestrisches Laser-Scanning. Hamburg.

http://www.geomatik-hamburg.de/tls/tls2009/images/14_tls2009_meier.pdf

Minten H., 2011. New from IGI. *Photogrammetric Week '11*. Wichman. Stuttgart, Niemcy. s. 27–32.

Riegl, 2011. http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/10_DataSheet_VMX-250_26-09-2011.pdf

Schewe H., Holl J., Gründig L., 1999. LIMEZ – Photogrammetric Measurement of Railroad Clearance Obstacles. Third Turkish-German Joint Geodetic Days, Istanbul/Turkey. Towards a Digital Age, Volume II, page 721–727.

Zoller+Fröhlich, 2010. <http://pdf.directindustry.com/pdf/zoller-frohlich/brochure-z-f-profiler-6007-duo/66967-187670.html>

Praca wykonana w ramach badań statutowych AGH: 11.11.150.949.

RAILWAY CLEARANCE MEASUREMENT SYSTEMS – REVIEW AND DEVELOPMENT TRENDS

KEY WORDS: railway clearances, digital camera, camera calibration, laser scanning

SUMMARY: Measuring of railway structure clearances is a very practical issue, and the operation itself is performed all over the world using various measuring systems. The measurement is aimed chiefly at determining the limits of space that no structure (e.g. a building) located close to the railway track may cross. This paper provides a review of measurement systems used to determine clearance limits of railway buildings. Systems currently in use are based mainly on three groups of measuring methods: the photogrammetric method, which employs a pair of images, the method of light profiles, which are applied by the laser light and recorded by means of a high-speed digital camera, and the method based on laser radar or laser scanner (lidar) measurements. Those most advanced systems combine the above-referenced measurement methods. The paper demonstrates flaws and advantages of particular systems and provides a technological summary of measuring equipment utilized in them. It results from literature queries performed that presently, in the case of

systems dedicated to railway clearance diagnostics, these are solutions based on laser scanners, which dominate most often, and which acquire data in the form of crosswise profiles that are recorded perpendicularly to the direction of travel, supported possibly by vision systems. On the other hand, in the case of universal mobile systems, one can notice a distinct domination of joint configurations of laser scanners and digital cameras, supported by INS/GNNS recording. In those systems the measurement of structures is referred to the global system of co-ordinates, and later, upon the detection of rail heads, a transformation to the rail axis arrangement takes place. The preliminary analysis leads to a conclusion that the accuracy of rail clearance measurement is higher in the case of specialised systems as compared to universal ones.

dr hab. inż. Krystian Pyka, prof. AGH
e-mail: krisfoto@agh.edu.pl
telefon: +48 12 617 38 26
fax: +48 12 617 39 93

dr hab. inż. Regina Tokarczyk, prof. AGH
e-mail: tokarcz@agh.edu.pl
telefon: +48 12 617 22 88
fax: +48 12 617 39 93

dr inż. Sławomir Mikrut
e-mail: smikrut@agh.edu.pl
telefon: +48 12 617 22 72
fax: +48 12 617 39 93